

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7576716号
(P7576716)

(45)発行日 令和6年10月31日(2024.10.31)

(24)登録日 令和6年10月23日(2024.10.23)

(51)国際特許分類	F I
B 6 0 W 50/06 (2006.01)	B 6 0 W 50/06
B 6 0 W 60/00 (2020.01)	B 6 0 W 60/00
B 6 0 W 40/09 (2012.01)	B 6 0 W 40/09
G 0 8 G 1/00 (2006.01)	G 0 8 G 1/00 A

請求項の数 8 (全16頁)

(21)出願番号	特願2023-575508(P2023-575508)	(73)特許権者	598051819
(86)(22)出願日	令和4年4月20日(2022.4.20)		メルセデス・ベンツ グループ アクチュ ンゲゼルシャフト
(65)公表番号	特表2024-528745(P2024-528745 A)		Mercedes-Benz Group AG
(43)公表日	令和6年7月31日(2024.7.31)		ドイツ連邦共和国 7 0 3 7 2 シュツツ トガルト、メルセデスシュトラッセ 1 2 0
(86)国際出願番号	PCT/EP2022/060372		Mercedesstrasse 12 0 , 7 0 3 7 2 Stuttgart , Germany
(87)国際公開番号	WO2022/258249	(74)代理人	100176946
(87)国際公開日	令和4年12月15日(2022.12.15)		弁理士 加藤 智恵
審査請求日	令和6年2月28日(2024.2.28)	(74)代理人	110003649
(31)優先権主張番号	102021002909.7		弁理士法人真田特許事務所
(32)優先日	令和3年6月7日(2021.6.7)		最終頁に続く
(33)優先権主張国・地域又は機関	ドイツ(DE)		
早期審査対象出願			

(54)【発明の名称】 運転挙動を検出するための方法および自動運転システムの制御アルゴリズムを適合させるための方法ならびに装置

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

車両(2)の自動運転システムの運転挙動に関連して、運転者の運転挙動を検出するための方法において、

前記車両(2)の手動運転中に、

- 前記運転者からの操作コマンド(SB)および前記車両(2)の手動運転軌道(r)が記録され、

- 第1の演算パス(R1)において、仮に前記自動運転システムが作動していたとすれば、前記手動運転軌道(r)上において前記車両(2)のそれぞれの現在の実際位置で、前記自動運転システムがどの自動操作コマンドを生成したかが検出され、

- 第2の演算パス(R2)では、前記自動運転システムが作動している場合に前記車両(2)が走行したであろう軌道(、'、0~2)がシミュレートされ、

- 前記記録された前記運転者からの操作コマンド(SB)、前記自動操作コマンド、前記手動運転軌道(r)、および/または前記シミュレートされた軌道(、'、0~2)に応じて、前記運転者の前記運転挙動と前記自動運転システムの前記運転挙動との間の不一致の尺度として、少なくとも一つの採点値(SW1~SW4)が検出され、

前記採点値(SW1~SW4)は、前記手動運転軌道(r)と前記シミュレートされた軌道(、'、0~2)との間の偏差に応じて検出されるものであって、前記偏差が所定の閾値()に達するまでに、前記車両(2)が走行できる時間間隔または距離に応じて検出される

ことを特徴とする方法。

【請求項 2】

車両 (2) の自動運転システムの運転挙動に関連して、運転者の運転挙動を検出するための方法において、

前記車両 (2) の手動運転中に、

- 前記運転者からの操作コマンド (S B) および前記車両 (2) の手動運転軌道 (r) が記録され、

- 第 1 の演算パス (R 1) において、仮に前記自動運転システムが作動していたとすれば、前記手動運転軌道 (r) 上において前記車両 (2) のそれぞれの現在の実際位置で、前記自動運転システムがどの自動操作コマンドを生成したかが検出され、

- 第 2 の演算パス (R 2) では、前記自動運転システムが作動している場合に前記車両 (2) が走行したであろう軌道 ($r_0 \sim r_2$) がシミュレートされ、

- 前記記録された前記運転者からの操作コマンド (S B)、前記自動操作コマンド、前記手動運転軌道 (r)、および / または前記シミュレートされた軌道 ($r_0 \sim r_2$) に応じて、前記運転者の前記運転挙動と前記自動運転システムの前記運転挙動との間の不一致の尺度として、少なくとも一つの採点値 (S W 1 ~ S W 4) が検出され、

前記採点値 (S W 1 ~ S W 4) は、前記自動運転システムが、前記手動運転軌道 (r) に少なくともほぼ一致する軌道 ($r_0 \sim r_2$) を、前記手動運転軌道 (r) と前記シミュレートされた軌道 ($r_0 \sim r_2$) との間の偏差が所定の閾値 (θ) を上回る時点より早い時点 (t_0, t_1, t_2) で目標軌道として特定していたであろう確率に

応じて検出される

ことを特徴とする方法。

【請求項 3】

前記採点値 (S W 1 ~ S W 4) は、前記記録された前記運転者からの操作コマンド (S B) と前記自動操作コマンドとの間の偏差に応じて検出される

ことを特徴とする、請求項 1 又は 2 に記載の方法。

【請求項 4】

前記採点値 (S W 1 ~ S W 4) は、前記手動運転軌道 (r) と前記シミュレートされた軌道 ($r_0 \sim r_2$) との間の前記偏差が所定の閾値 (θ) に達するまでに、前記車両 (2) が走行できる時間間隔または距離に応じて検出される

ことを特徴とする、請求項 2 に記載の方法。

【請求項 5】

前記手動運転軌道 (r) と前記シミュレートされた軌道 ($r_0 \sim r_2$) との間の前記偏差は、少なくとも一つの目的関数 (f) に基づいて検出される

ことを特徴とする、請求項 4 に記載の方法。

【請求項 6】

前記採点値 (S W 1 ~ S W 4) は、前記自動運転システムが、前記手動運転軌道 (r) に少なくともほぼ一致する軌道 ($r_0 \sim r_2$) を、前記偏差が前記所定の閾値 (θ) を上回る時点より早い時点 (t_0, t_1, t_2) で目標軌道として特定していたであろう確率に応じて検出される

ことを特徴とする、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 7】

車両群の車両 (2) の自動運転システムの制御アルゴリズムを適合させるための方法において、

- 前記車両群の複数の車両 (2) の採点値 (S W 1 ~ S W 4) が収集され、前記採点値 (S W 1 ~ S W 4) は前記車両 (2) によって検出され、各々の前記採点値は前記車両 (2) のそれぞれの位置において前記車両 (2) の運転者の運転挙動と自動運転システムの運転挙動との間の不一致の尺度を示すものであり、

- 前記収集された採点値 (S W 1 ~ S W 4) は統計的に評価され、前記統計的評価では、前記運転者の前記運転挙動と前記自動運転システムの前記運転挙動との間で統計的に関

10

20

30

40

50

連のある不一致が頻繁に発生している位置が検出され、

- 検出された、統計的に関連のある不一致の頻度に基づいて、前記自動運転システムの
前記制御アルゴリズムのパラメータ (P) が前記不一致を軽減するために適合され、

- 前記適合されたパラメータ (P) が前記車両群の前記車両 (2) に提供され、

それぞれの採点値 (S W 1 ~ S W 4) は、請求項 1 または 2 に記載の、車両 (2) の自動
運転システムの運転挙動に関連して、運転者の運転挙動を検出するための方法において
検出される

ことを特徴とする方法。

【請求項 8】

請求項 7 に記載の方法を実行するために構成されている装置 (1 2) 。

10

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【 0 0 0 1】

本発明は、車両の自動運転システムの運転挙動に関連して、運転者の運転挙動を検出す
るための方法に関する。

【 0 0 0 2】

さらに、本発明は、車両群の車両の自動運転システムの制御アルゴリズムを適合させる
ための方法にも関する。

【 0 0 0 3】

さらに、本発明は、車両群の車両の自動運転システムの制御アルゴリズムを適合させる
ための装置にも関する。

20

【背景技術】

【 0 0 0 4】

独国特許出願公開第 1 0 2 0 1 5 2 1 8 3 6 1 号明細書から、車両を前後方向と左右方
向とに自律的に操縦することを目的とした車両機能を検証するための方法が公知である。
この方法は、

- 車両の周囲に関するデータに基づいて、車両のアクチュエータに対する車両機能の試
験制御指示を検出する工程と、

- 車両の運転者が、試験制御指示とは異なる実際の制御指示を行い、その制御指示がア
クチュエータによって実際に実行されていることを検出する工程と、

30

- 仮に、実際の制御指示の代わりに、周囲に関するデータに基づいて試験制御指示が実
行された場合、想定される架空の交通状況をシミュレートする工程と、

- 架空の交通状況が、車両の周囲にいる道路利用者にとって、または車両にとって、関
連のある事象となるかどうかを特定する工程と、

- 架空の交通状況が、車両の周囲にいる道路利用者にとって、または車両にとって、関
連のある事象になることが特定された場合、架空の交通状況に関する試験データを準備す
る工程と

を含んでいる。

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

40

【 0 0 0 5】

本発明は、車両の自動運転システムの運転挙動に関連して、運転者の運転挙動を検出す
るための新しい方法を提供するという目的に基づいている。さらに、本発明は、車両群の
車両の自動運転システムの制御アルゴリズムを適合させるための新しい方法を提供する
という目的にも基づいている。さらに、本発明は、車両群の車両の自動運転システムの制御
アルゴリズムを適合させるための新しい装置を提供するという目的にも基づいている。

【課題を解決するための手段】

【 0 0 0 6】

この目的は、本発明によれば、請求項 1 に記載の特徴を有する、運転挙動を検出するた
めの方法によって、請求項 7 に記載の特徴を有する、自動運転システムの制御アルゴリズ

50

ムを適合させるための方法によって、また請求項 9 に記載の特徴を有する、自動運転システムの制御アルゴリズムを適合させるための装置によって、解決される。

【0007】

本発明の有利な実施形態は、従属請求項の主題である。

【0008】

本発明による、車両の自動運転システムの運転挙動に関連して、運転者の運転挙動を検出するための方法では、車両の手動運転中に、運転者からの操作コマンドおよび車両の手動運転軌道が記録される。第 1 の演算パスにおいて、仮に自動運転システムが作動していたとすれば、手動運転軌道上において車両のそれぞれの現在の実際位置で、自動運転システムがどの自動操作コマンドを生成したかが検出される。第 2 の演算パスでは、自動運転システムが作動している場合に車両が走行したであろう軌道がシミュレートされる。記録された運転者からの操作コマンド、自動操作コマンド、手動運転軌道、および / またはシミュレートされた軌道に応じて、運転者の運転挙動と自動運転システムの運転挙動との間の不一致の尺度として、採点値が検出される。

10

【0009】

一般に、自動運転車、特に高度自動運転車、または自律運転車の開発では、いわゆる模倣プロセスによって自動運転システムを最適化するアプローチが知られている。この場合、運転者の運転スタイルが理想的なものとして仮定され、運転者の挙動を記録することによって、挙動アルゴリズムが学習される。その目的は運転者の運転挙動を模倣することである。次世代の自動運転システムにおいては、運転システムの性能が、安全な平均的運転者の能力を上回るであろう。本方法を用いることにより、運転者の運転挙動と自動運転システムの運転挙動との間で上記のようにして生じる不一致を、確実かつ正確に特定することができる。

20

【0010】

このとき、自動運転システムの異なる機能範囲、例えばエントリーレベルのバリエーションとすべての機能範囲を持つバリエーションとを区別することができる。従って、さまざまな機能範囲を持つ自動運転システムの運転挙動と運転者の運転挙動との間に高い相関関係が形成され得る。運転挙動をメトリクスで計算する本方法により、運転者の運転挙動に関する分類を作成することが可能になる。この場合、自動運転システムの性能と運転者の能力とを区別する記録を作成することができ、この記録により、特に運転状況ごとに、不一致の計算が可能になる。この計算された不一致は、運転者についての概要を生成するために使用することができる。

30

【0011】

運転者と自動運転システムとのそれぞれの運転挙動間の不一致の正確な計算および特定は、以下の用途に必要である。例えば、運転者が自動運転システムの縮小された基本バージョンもしくはエントリーレベルのバリエーションしか使用していない場合、どの運転状況において、運転者が完全な運転システム、すなわちより広い機能範囲の備わった運転システムを利用できたかを計算することができる。同様に、どの交通状況において、またはどの走行区間において、運転システムがより安全に、または同等に運転できたかを示し、それによって自動運転システムへの信頼性を高めることも可能である。さらに、運転者の能力に関する情報は、いわゆる安全支援システムをそれぞれの運転者に合わせて最適化するために使用することができる。運転者とシステムとの能力に関する完全な情報は蓄積され、採点システムに利用することができる。

40

【0012】

本方法の考えられる形態では、採点値が、記録された運転者からの操作コマンドと自動操作コマンドとの間の偏差に応じて検出される。このことにより、採点値の簡単かつ確実な検出が可能になる。

【0013】

本方法のさらに考えられる形態では、採点値が手動運転軌道とシミュレートされた軌道との間の偏差に応じて検出される。このことによっても、採点値の簡単かつ確実な検出が

50

可能になる。

【0014】

本方法のさらに考えられる実施形態において、採点値は、手動運転軌道とシミュレートされた軌道との間の偏差が所定の閾値に達するまで、車両が走行できる時間間隔または距離に応じて検出される。このことによっても、採点値の簡単かつ確実な検出が可能になり、手動運転軌道とシミュレートされた軌道との間の偏差の時点および/または位置が検出されることで、運転者の運転挙動と自動運転システムの運転挙動との間で統計的に関連のある不一致が頻繁に発生している位置を検出することができる。

【0015】

本方法のさらに考えられる形態では、手動運転軌道とシミュレートされた軌道との間の偏差が、少なくとも1つの目的関数に基づいて検出される。この場合、さまざまな目的関数を個別に、または組み合わせて使用することができ、それらの目的関数は、例えば、2乗誤差、絶対誤差、速度加重絶対誤差、累積速度加重絶対誤差、量子化分類誤差および/または閾値処理相対誤差を考慮する。少なくとも1つの目的関数によって、偏差およびその結果としての採点値を、簡単かつ確実に検出することができ、その際、それぞれの目的関数は、拡張によって簡単にタスクの複雑性に適合することが可能である。

10

【0016】

本方法のさらに考えられる形態において、採点値は、自動運転システムが、手動運転軌道に少なくともほぼ一致する軌道を、より早い時点で目標軌道として特定していたであろう確率に応じて検出される。このことによっても、採点値の簡単かつ確実な検出が可能になる。

20

【0017】

本方法のさらに考えられる形態では、採点値が、前述した形態の一つによりそれぞれ検出された複数の採点値の合計、例えば加重合計に基づいて合計された採点値として検出される。この合計された採点値は、特に、運転者の運転スタイルが自動運転システムの運転スタイルからどれだけ逸脱しているかを示すものである。この情報は、運転者の現在の運転能力を検出するため、特に、運転者が集中していない、および/または危険な運転をしていないかどうかを検出するために用いることができる。このことにより、必要に応じて運転者の運転能力の低下に車両のアクティブセーフティシステムを適合させることが可能になる。自動運転システムが運転者自身よりも現在の運転タスクをより上手くこなせるという理由で、自動運転システムの作動を運転者に提案することもできる。

30

【0018】

本発明による、車両群の車両の自動運転システムの制御アルゴリズムを適合させるための方法では、車両群の複数の車両の採点値が収集される。採点値は、車両によって検出され、車両のそれぞれの位置において車両の運転者の運転挙動と自動運転システムの運転挙動との間の不一致の尺度をそれぞれ示すものである。収集された採点値は統計的に評価され、この統計的評価では、運転者の運転挙動と自動運転システムの運転挙動との間で統計的に関連のある不一致が頻繁に発生している位置が検出される。検出された、統計的に関連のある不一致の頻度に基づいて、自動運転システムの制御アルゴリズムのパラメータが不一致を軽減するために適合され、適合されたパラメータが車両群の車両に提供される。このことにより、自動運転システムの制御アルゴリズムの簡単かつ確実な適合が可能になり、それによって、自動運転システムの性能および信頼性を向上させることができる。

40

【0019】

自動運転システムの制御アルゴリズムを適合するための本方法の考えられる形態では、それぞれの採点値が、車両の自動運転システムの運転挙動に関連して、運転者の運転挙動を検出するための上述の方法において、または本方法の考えられる形態において検出される結果、採点値の検出が特に簡単かつ確実なものとなる。

【0020】

以下では、本発明の例示的な実施形態を、図面に基づき詳細に説明する。

【図面の簡単な説明】

50

【 0 0 2 1 】

【図 1】車両の自動運転のための装置の例示的な実施形態の概略的ブロック図である。

【図 2】車両の自動運転のための装置のさらなる実施形態の概略的ブロック図である。

【図 3】車両の自動運転のための装置のさらなる実施形態の概略的ブロック図である。

【図 4】車両の自動運転システムの運転挙動に関連して、運転者の運転挙動を検出するための装置の概略的ブロック図である。

【図 5】交通状況を上から見た概略図である。

【図 6】手動運転中の車両の実際の軌道と、この運転中にシミュレートされた軌道とを概略的に示した図である。

【図 7】手動運転中の車両の実際の軌道と、この運転中にシミュレートされた複数の軌道とを概略的に示した図である。

10

【図 8】手動運転中の車両の実際の軌道と、この運転中にシミュレートされた複数の軌道とを概略的に示した図である。

【図 9】車両の実際の軌道に対する確率の再シミュレーションを概略的に示した図である。

【発明を実施するための形態】

【 0 0 2 2 】

いずれの図においても、相互に対応する部分には、同一の参照符号を付している。

【 0 0 2 3 】

図 1 には、図 5 に示されている車両 2 の自動運転、特に高度自動運転または自律運転のための装置 1 の考えられる例示的な実施形態のブロック図が示されている。

20

【 0 0 2 4 】

ここで、車両 2 は、自動運転のための完全なハードウェアを備えており、このハードウェアの性能は、ソフトウェア側で、さまざまな拡張レベルに制限されていてよい。それは、少なくとも 2 つの拡張レベル、例えば基本拡張レベルと高度拡張レベルとに制限され得る。ここで、これらの拡張レベルには、異なる性能があらかじめ定義されており、この性能はさまざまな使用事例、いわゆるユースケースの制御力によって区別される。

【 0 0 2 5 】

装置 1 は、周囲を記録するために構成された複数のセンサ 3 . 1 ~ 3 . x と、いわゆる制御装置レベルで構成された少なくとも 2 つの演算器 4 . 5 とを備え、各演算器 4 . 5 はそれぞれもう一方の演算器 4 . 5 に対して冗長性を形成する。さらに、装置 1 は、コンパレータ 6 およびアクチュエータ 7 . 1 ~ 7 . z を備えている。

30

【 0 0 2 6 】

センサ 3 . 1 ~ 3 . x は、車両周囲を検知するために設けられている。

【 0 0 2 7 】

演算器 4 . 5 は、複数の考えられる軌道、 γ (図 5 に示す) を持つ軌道ツリーを検出かつ生成するために互いに独立して構成されており、最適化アルゴリズムを用いて目標軌道を軌道ツリーから選択する。さらに、演算器 4 . 5 は、選択された目標軌道に沿ってセンサ 3 . 1 ~ 3 . x により記録されたセンサデータに基づき、自動運転で車両 2 を制御するための運転コマンドを検出かつ生成するために互いに独立して構成されており、冗長性の形成によって、車両 2、特に高度な自動化レベルを持つ車両 2 の自動運転のために規定された安全要件の実現を可能にする。ここで、演算器 4 . 5 はそれぞれ演算パス R 1、R 2 内にある。

40

【 0 0 2 8 】

アクチュエータ 7 . 1 ~ 7 . z は、演算器 4 . 5 によって生成された運転コマンドを実行するために構成されている。

【 0 0 2 9 】

ここで、演算器 4 . 5 は、すべてのセンサ 3 . 1 ~ 3 . x に連結されており、コンパレータ 6 は両方の演算器 4 . 5 に連結されている。従って、センサデータから両方の演算器 4 . 5 によって計算された運転コマンドをコンパレータ 6 に提供して、演算器 4 . 5 で重複して実行された計算を比較することができる。この場合、コンパレータ 6 は、一般に知

50

られている安全アルゴリズムを使用して、入力データから安全な運転コマンドまたは安全な制御信号を特定し、それらをアクチュエータ 7.1 ~ 7.z に送信する。ここで、コンパレータ 6 は、ハードウェアとは無関係に、例えば ASIL-D (Automotive Safety Integrity Level、自動車安全水準) の規格 ISO 26262 に従って構成されている。

【0030】

図 2 は、車両 2 の自動運転のための装置 1 のさらに考えられる例示的な実施形態のブロック図を示している。

【0031】

図 1 に示した例示的な実施形態とは異なり、演算器 4、5 およびコンパレータ 6 は、共通の制御装置 8 の中に構成されており、チップレベルで互いに独立した少なくとも 2 つが重複して作動する演算コア、例えば別個の半導体、プロセッサ、システムオンチップ等から形成されている。

10

【0032】

図 3 には、車両 2 の自動運転のための装置 1 のさらに考えられる実施形態のブロック図が示されている。

【0033】

図 2 に示されている例示的な実施形態とは異なり、共通の制御装置 8 内の演算器 4、5 は、冗長マルチコアアーキテクチャとしての共通の演算コア 9 上に、センサデータを受信して演算器 4、5 に出力する共通の入出力 10 と、インターフェブリックとも呼ばれる通信ユニット 11 と共に、システムオンチップとして構成されている。

20

【0034】

ここで、各演算器 4、5 は、特に CPU 4.1、5.1、GPU 4.2、5.2、NPU 4.3、5.3 およびメモリ 4.4、5.4 をそれぞれ 1 つ備えている。

【0035】

車両 2 の自動運転システムの運転挙動に関連して、運転者の運転挙動を検出するための方法を実行するために、装置 1 に設けられている冗長性が使用され、これは以下のステップに従って変更される。ここで、これらのステップは、装置 1 の前述の実施形態およびその他の適合する例示的な実施形態のすべてに対して有効である。

【0036】

ここで、本方法の目的は、車両 2 の自動運転のための装置 1 を使って、運転タスクに関連する運転者の能力を検出し、定量化することである。

30

【0037】

図 4 は、車両 2 の自動運転システムの運転挙動に関連して、運転者の運転挙動を検出するための装置 12 のブロック図を示しており、この装置 12 は、図 1 ~ 3 による車両 2 の自動運転のための装置 1 を備えている。

【0038】

ここで、装置 12 は、運転者によって車両 2 の手動運転が実行されている間も、装置 1 によって実行される支援システム (基本拡張レベル) または高度自動化システム (高度拡張レベル) が、アクチュエータ 7.1 ~ 7.z の制御とは完全に別にバックグラウンドで実行されるように構成されている。すなわち、すべてのセンサ 3.1 ~ 3.x、およびその他のハードウェア、ならびにソフトウェアアルゴリズムは、あたかもそれらが自動運転で車両 2 を制御しているかのように実行される。但し、制御そのものは実行されない。正確に言えば、駆動装置およびアクチュエータ 7.1 ~ 7.z は、装置 1 によってではなく、運転者によって制御される。従って、そのようなバックグラウンドモードまたはパッシブモードでは、車両 2 が運転者によって制御されており、運転者は、操舵システム、ペダル、および必要に応じてその他の入力手段を介して、操作コマンドをアクチュエータ 7.1 ~ 7.z 及び駆動装置に伝達する。多くのシナリオにおいて、運転者の運転スタイルは装置 1 の運転スタイルとは異なっているであろう。

40

【0039】

50

ここで、装置 1 は、パッシブモードにおいて、第 1 の演算パス R 1 内の第 1 の演算器 4 を使って、信号形成 S 1 において操作および操舵コマンド、ならびに図 5 に詳しく図示されている軌道 r 、 r' をリアルタイムで計算する。そのための入力信号は、センサ 3.1 ~ 3.x、例えばレーダセンサ、ライダセンサ、カメラ、慣性測定ユニット、測位システム等が提供する。ここで、装置 1 は、リアルタイムで自身の位置を決定し、車両 2 の操舵、制動および駆動のための操作コマンド、ならびに計画された軌道 r 、 r' を計算する。

【 0 0 4 0 】

すなわち、第 1 の演算パス R 1 において、仮に自動運転システムが作動していたとすれば、図 5 に詳しく図示されている手動運転軌道 r 上において車両 2 のそれぞれの現在の実際位置で、自動運転システムがどの自動操作コマンドを生成したかが検出される。

10

【 0 0 4 1 】

信号形成 S 1 の結果は、コンパレータ 6 に転送される。これは、恒久的初期化に従って、最初からすべての時間ステップにおいて行われる。

【 0 0 4 2 】

パッシブモードの結果、システムが計画された軌道 r 、 r' を走行できないことから、運転者が実際に運転した位置と、システムが予測した位置との間に差が生じる。この誤差は時間の経過とともに積み重なり、システムの誤動作につながるおそれがある。この理由から、システムは、すべての時間ステップで、第 1 の演算パス R 1 においてリアルタイム情報を修正し、新たに生成した操作コマンドを実際に走行した状況に従って適合する。

【 0 0 4 3 】

20

パッシブモードで冗長性は不要であるという理由から、第 2 の演算器 5 は、第 2 の演算パス R 2 において、車両 2 が出発点から開始して、運転者の軌道ではなく、第 1 の演算パス R 1 で検出された軌道 r 、 r' をあたかも走行したかのように、車両 2 の軌道 r 、 r' をシミュレーションモード S 2 でシミュレートするために使用される。シミュレーション結果は、同様にコンパレータ 6 に転送される。

【 0 0 4 4 】

つまり、第 2 の演算パス R 2 では、自動運転システムが作動している場合に車両 2 が進んだであろう軌道 r 、 r' がシミュレートされる。

【 0 0 4 5 】

実際に走行した軌道 r と第 1 の演算パス R 1 で検出された軌道 r 、 r' との間の偏差から得られる累積誤差は、シミュレートされた入力によって閾値まで補正され、続いて運転者の能力と比較される。

30

【 0 0 4 6 】

コンパレータ 6 内では、アルゴリズムが運転者の採点値 S W 1 ~ S W 4 を計算し、その結果を両方の演算器 4、5 に戻す。採点値 S W 1 ~ S W 4 の計算 S 3 は、記録された運転者からの操作コマンド S B およびナビゲーションデータ N D と、自動操作コマンドと、手動運転された軌道 r と、シミュレートされた軌道 r 、 r' とに応じて行われ、このとき、採点値 S W 1 ~ S W 4 は、運転者の運転挙動と自動運転システムの運転挙動との間の不一致の尺度を示す。つまり、特に、実施された手動操作コマンドと実施されていない自動操作コマンド、ならびに走行した軌道 r とシミュレートされた軌道 r 、 r' とが評価され、これにより、同じ環境において自動運転した場合に生じるであろう運転挙動から、運転者の運転挙動がどの程度逸脱しているかを検出する。

40

【 0 0 4 7 】

さらに、コンパレータ 6 を使って検出された採点値 S W 1 ~ S W 4 はバックエンド 1 3 に転送される。このバックエンド 1 3 において、車両群の多数の車両 2 の採点値 S W 1 ~ S W 4 が収集され、このとき、採点値 S W 1 ~ S W 4 は、特に前述の説明に従って、車両 2 によって検出される。さらに、収集された採点値 S W 1 ~ S W 4 は統計的に評価され、この統計的評価では、運転者の運転挙動と自動運転システムの運転挙動との間で統計的に関連のある不一致が頻繁に発生している位置が検出される。次に、検出された、統計的に関連のある不一致の頻度に基づいて、自動運転システムの制御アルゴリズムのパラメータ

50

P が不一致を軽減するために適合され、その適合されたパラメータ P が車両群の車両 2 に提供される。

【 0 0 4 8 】

図 5 には、車両 2 が障害物 1 4 に接近している交通状況を上から見た様子が図示されている。

【 0 0 4 9 】

このとき、車両 2 は、図 3 の説明に従って、運転者によって手動運転で制御され、軌道 r に沿って実際に走行している。

【 0 0 5 0 】

同時に、装置 1 2 により、図 3 による説明と同様に、基本拡張レベルにおける軌道 r' と、高度に自動化されたシステムとしての高度拡張レベルにおける軌道 r'' とが計算され、ここで、高度に自動化されたシステムは、基本拡張レベルのシステムよりも複雑な操縦を実行することができる。

10

【 0 0 5 1 】

図 6 は、車両 2 が同車両の手動運転中に実際に走行した軌道 r と、その運転中に異なる時点 $t_0 \sim t_2$ でシミュレートされた軌道 r_0 とを示している。

【 0 0 5 2 】

第 1 の採点値 SW 1 を特定するために、第 1 の演算パス R 1 内で第 1 の演算器 4 は、第 1 の時点 t_0 において、この時点 t_0 における現在の実際の車両位置から出発する軌道 r_0 を目標軌道として検出する。軌道 r は、未来にあり、情報として使用できない。さらに、演算器 4 は、車両 2 が軌道 r_0 に沿って移動するとした場合に、現在の地齋の車両位置でアクチュエータ 7 . 1 ~ 7 . z のために生成する必要のある操作コマンドを検出する。

20

【 0 0 5 3 】

次に、車両の実際位置で運転者によって生成された手動操作コマンド SB と、第 1 の演算器 4 によって同じ位置で生成された自動操作コマンドとの間の偏差が検出される。これにより、運転者が実際の車両位置で行うことと、第 1 の演算器 4 が実際の車両位置で行うであろうこととの間の偏差が検出される。

【 0 0 5 4 】

この偏差は、もっとも単純なケースでは、引き算で検出することができる。偏差の値が複数ある場合、平均化によって平均偏差を検出することができる。例えば、車両 2 の前後方向の動きのための操作コマンド間の偏差、および車両 2 の左右方向の動きのための操作コマンド間の偏差を、平均化の際に異なって重み付けすること、特に速度に応じて重み付けすることが可能である。このとき、平均化は、算術平均または二次平均の形成を含むことができる。

30

【 0 0 5 5 】

検出された偏差に対して、第 1 の採点値 SW 1 が、例えば所定のルックアップテーブルを用いて検出される。この第 1 の採点値 SW 1 は、検出された偏差が大きいほど大きくなる。

【 0 0 5 6 】

従って、第 1 の採点値 SW 1 は、仮に自動運転システムが作動している場合に、このシステムが実行したであろう自動操作コマンドと、手動操作コマンド SB との偏差の尺度である。

40

【 0 0 5 7 】

第 1 の採点値 SW 1 を検出するための上述の手順は、周期的に繰り返される。

【 0 0 5 8 】

図 7 には、車両 2 が同車両の手動運転中に実際に走行した軌道 r と、その運転中に異なる時点 $t_0 \sim t_2$ でシミュレートされた軌道 r_0 、 r_1 、 r_2 が示されている。

【 0 0 5 9 】

第 1 の時点 t_0 での実際の車両位置は、第 2 の演算器 5 で実行されたシミュレーションのための開始位置である。このとき、第 1 の時点 t_0 で、目標軌道として形成された軌道

50

0 が検出され、車両 2 はこの軌道に沿って移動するものとされる。

【 0 0 6 0 】

シミュレーションにより、1つの時間ステップ後、すなわち時点 t₁ で車両 2 がいるであろうシミュレート位置が検出される。時点 t₁ では、この時点 t₁ の実際の車両位置と、この時点 t₁ に対して検出されたシミュレート位置との間の偏差が検出される。

【 0 0 6 1 】

次に、時点 t₁ において、目標軌道として形成された新たな軌道 2 が計算され、この軌道は、理論的には事前に検出された軌道 0 と一致し得る。この計算は、この時点 t₁ で検知された新しいセンサデータと、車両 2 が時点 t₁ で実際にシミュレート位置にあるという仮定とに基づいている。

10

【 0 0 6 2 】

これらの計算ステップは、検出された偏差が所定の閾値 を上回るまで、次の時間ステップのあいだ繰り返される。これは、例えば時点 t_x に当てはまる。1つの時間ステップ後、すなわち時点 t_{x+1} において、新しい開始位置としてのその時点での現在の実際の車両位置から、シミュレーションが再開される。閾値 以降になると、シミュレート位置と実際のセンサデータとの間のドリフトが、もはや補正できない視差を生じるため、これが必要である。

【 0 0 6 3 】

時点 t₁ ~ t_x に対して検出された偏差は、以下の表に従う目的関数 を使って、例えば平均二乗誤差関数を使って評価される。

20

【表 1】

メトリック名	パラメータ	メトリック定義
二乗誤差	-	$\frac{1}{ V } \sum_{i \in V} \ a_i - \hat{a}_i\ ^2$
絶対誤差	-	$\frac{1}{ V } \sum_{i \in V} \ a_i - \hat{a}_i\ _1$
速度加重絶対誤差	-	$\frac{1}{ V } \sum_{i \in V} \ a_i - \hat{a}_i\ _1 v_i$
累積速度加重絶対誤差	T	$\frac{1}{ V } \sum_{i \in V} \left\ \sum_{t=0}^T (a_{i+t} - \hat{a}_{i+t}) v_{i+t} \right\ _1$
量子化分類誤差	σ	$\frac{1}{ V } \sum_{i \in V} (1 - \delta(Q(a_i, \sigma), Q(\hat{a}_i, \sigma)))$
閾値処理相対誤差	α	$\frac{1}{ V } \sum_{i \in V} \theta(\ \hat{a}_i - a_i\ - \alpha \ a_i\)$

30

【 0 0 6 4 】

このとき得られる結果に対して、第 2 の採点値 S W 2 が、例えばルックアップテーブルを使って検出される。

40

【 0 0 6 5 】

従って、第 2 の採点値 S W 2 は、実際に走行した軌道 r と、第 2 の演算器 5 でシミュレートされた軌道 0、 1、 2 との間の偏差の尺度である。

【 0 0 6 6 】

第 2 の採点値 S W 2 は、例えば、すべての t_x におけるすべての軌道 x ~ r、およびそれに依存する目的関数 をエントリとした行列に記録される。以下の数式に従って、すべての行列の合計が第 2 の採点値 S W 2 となる。

【数 1】

50

$$\begin{pmatrix} \Psi(\beta_0(\sum_{\Psi \geq \xi} t_i)) \\ \vdots \\ \Psi(\beta_i(\sum_{\Psi \geq \xi} t_i)) \end{pmatrix} \quad (1)$$

【 0 0 6 7 】

この合計は、総合性能特定に用いられ、バックエンド 1 3 に転送される。軌道 x が実際に走行した軌道 r から乖離すればするほど、すなわち目的関数 J が上昇すればするほど、運転者にとっての第 2 の採点値 SW_2 が悪くなる。

10

【 0 0 6 8 】

図 8 には、車両 2 が同車両の手動運転中に実際に走行した軌道 r と、その運転中に異なる時点 $t_0 \sim t_2$ でシミュレートされた軌道 0 、 1 、 2 が示されている。

【 0 0 6 9 】

軌道 0 の目的関数 J が閾値 θ を上回ると、第 2 の演算パス R_2 における現在のシミュレーションサイクルは終了する。完了した時間ステップの継続時間は、第 3 の採点値 SW_3 に取り入れられる。軌道 0 が閾値 θ を下回っている時間が長ければ長いほど、運転者の採点値 SW_3 は良くなる。

20

【 0 0 7 0 】

つまり、第 1 の時点 t_0 から、実際の車両位置と第 2 の演算器 5 によってシミュレートされた位置との間の偏差が所定の閾値 θ を上回るまでに、車両 2 がどれだけ長い時間または距離を走行できるかが検出される。すなわち、時点 t_0 と t_x との間に経過した時間間隔、またはこの時間間隔に車両 2 が走行した距離が検出される。この検出された時間間隔又は距離に対して、第 3 の採点値 SW_3 が、例えばルックアップテーブルを用いて検出される。

【 0 0 7 1 】

従って、第 3 の採点値 SW_3 は、手動運転された軌道 r とシミュレートされた軌道 x との間の偏差が所定の閾値 θ に到達するまでに、車両 2 が走行できる時間間隔または距離の尺度である。

30

【 0 0 7 2 】

第 2 の演算パス R_2 においてシミュレーションを再開する前に、シミュレートされた軌道 x に対する所定の閾値 θ を上回った時点 t_x で、図 9 による再シミュレーションが行われる。ここでは、時点 t_x 、この場合は時点 t_2 での実際の車両位置と実際の車両状態とが使用され、システムが仮に時点 t_2 における実際の状態から同じ時点 t_2 における自動運転の状態になるために、どのような条件を満たす必要があったかを推定する。

【 0 0 7 3 】

時点 t_0 での決定空間では、潜在的に考えられるすべての軌道 x に確率重み付けが加えられる。システムにより、最も良い確率を持つ軌道 x が選択され、これが軌道 0 として出力される。

40

【 0 0 7 4 】

すべての潜在的に走行可能な軌道 x は、システムの決定空間に広がる。統計的にありそうにない軌道 x は破棄される。

【 0 0 7 5 】

第 4 の採点値 SW_4 を計算するために、実際に走行した軌道 r の確率重み付けが、決定空間において遡及的に計算される。つまり、運転者の軌道 r について、その軌道を走行する前に、システムは本来どのような確率を計算したかということである。実際の軌道 r の重み付けが悪くなればなるほど、運転者にとっての採点値 SW_4 は悪くなる。

【 0 0 7 6 】

50

つまり、時点 t_x において所定の閾値 θ を上回ると、第 1 の演算器 4 がそれ以前の時点 t_0 、 t_1 、 t_2 において、実際に走行した軌道 r とほぼ一致する軌道 r_x を目標軌道として軌道ツリーから選択したであろう確率が過去に遡って検出される。検出された確率に対して、第 4 の採点値 SW_4 が、例えばルックアップテーブルを用いて特定される。

【0077】

次に、検出された 4 つの採点値 $SW_1 \sim SW_4$ が合計される。加重合計も同様に考えられる。この合計された採点値は、運転者の運転スタイルが自動運転システムの運転スタイルからどれだけ異なっているかを示すものである。この情報は、運転者の現在の運転能力を検出するため、特に、運転者が集中しておらず危険な運転をしているか否かを検出するため、また必要に応じて運転者の運転能力の低下にアクティブセーフティシステムを適合させるため、または現在は運転者よりも自動運転システムの方がより安全な運転をするので、自動運転システムの作動を運転者に提案するために使用することができる。

10

【0078】

合計された採点値は、それが検出された位置と共に、バックエンド 13 に送信することもできる。次に、バックエンド 13 では、統計的評価により、特定の位置で多くの運転者の運転スタイルと自動運転システムの運転スタイルとの間に不一致の頻発があるどうかを検出して、必要に応じて自動運転システムのアルゴリズムを改善することができる。

【0079】

例えば、環状交差点において、運転者の運転挙動が、しばしば自動運転システムの運転挙動と大きく異なっていることが確認されると、この環状交差点を運転するには、運転システムのアルゴリズムの最適化が重要であることを示す証拠として、この情報を使用することができる。

20

【0080】

運転者が有能である場合、採点値 $SW_1 \sim SW_4$ に基づいて、自動運転システムが有能な運転者と同じように運転しているか、または有能な運転者よりも悪い運転をしているか判定するために使用することができる。また、採点値 $SW_1 \sim SW_4$ は、自動運転システムの運転挙動が有能な運転者の運転挙動と一致するように、自動運転システムのアルゴリズムを最適化するために使用することができる。

【先行技術文献】

【特許文献】

30

【0081】

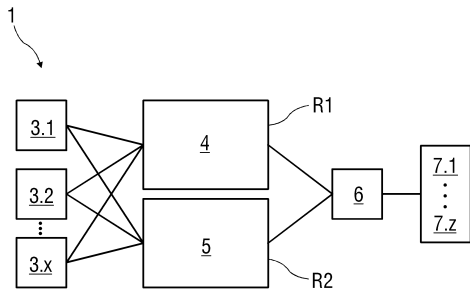
【文献】独国特許出願公開第 102015218361 号明細書

40

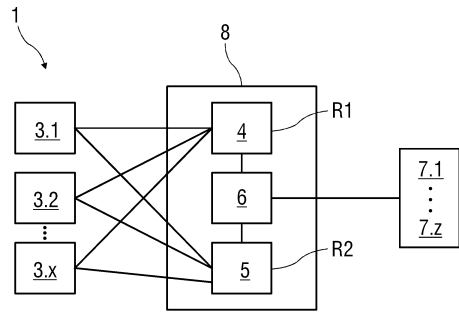
50

【図面】

【図 1】

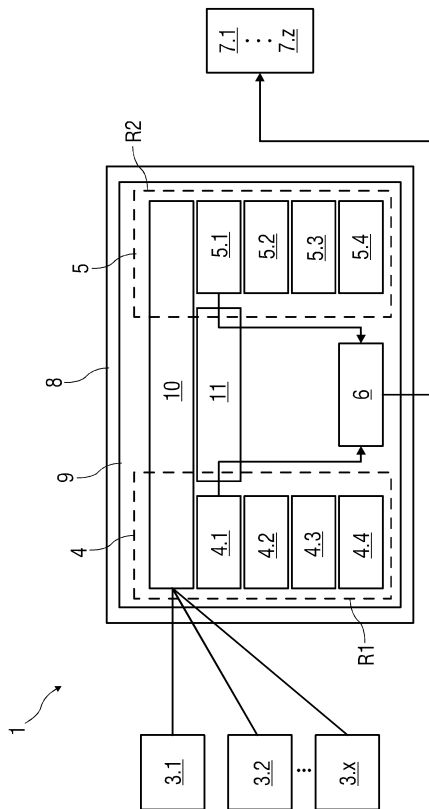


【図 2】

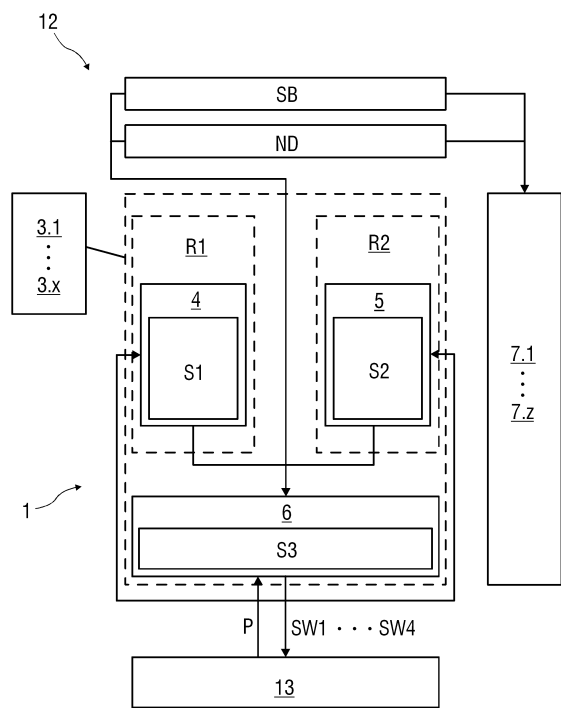


10

【図 3】



【図 4】



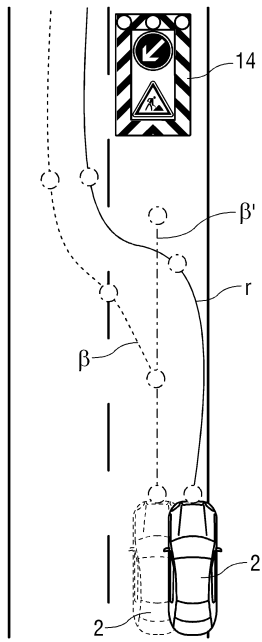
20

30

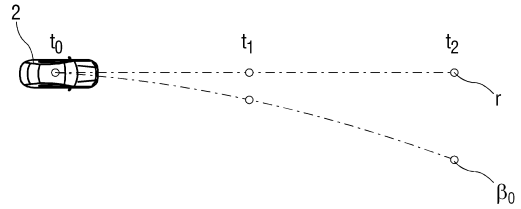
40

50

【 図 5 】



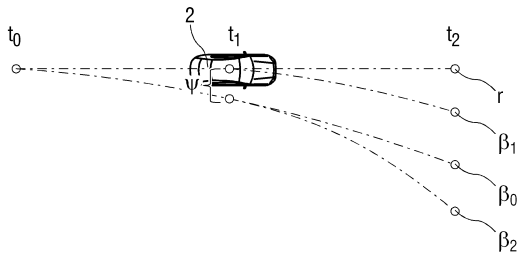
【 図 6 】



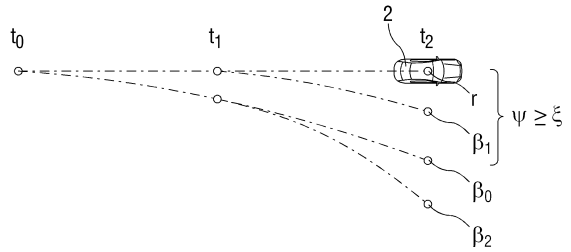
10

20

【 図 7 】




【 図 8 】

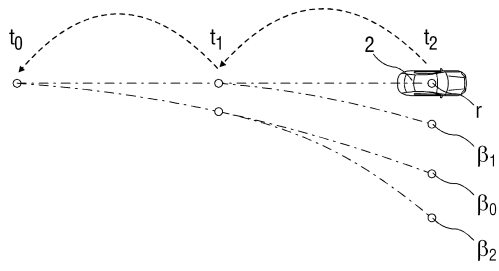


30

40

50

【 9】



10

20

30

40

50

フロントページの続き

(72)発明者 ペトロヴィッチ アンドレアス
ドイツ連邦共和国 7 0 5 6 7 シュトゥットガルト ファイヒンガー シュトラーセ 1 1 4 エー

(72)発明者 ペラウアー セドリック
ドイツ連邦共和国 7 2 7 6 6 ロイトリンゲン ブラームスヴェーク 7

審査官 吉村 俊厚

(56)参考文献 特開 2 0 2 1 - 0 0 2 3 8 4 (J P , A)
特開平 0 7 - 0 4 7 9 7 0 (J P , A)
独国特許出願公開第 1 0 2 0 1 7 2 0 0 1 8 0 (D E , A 1)
米国特許出願公開第 2 0 1 5 / 0 1 7 5 1 6 8 (U S , A 1)
独国特許出願公開第 1 0 2 0 1 9 2 0 2 1 0 6 (D E , A 1)
独国特許出願公開第 1 0 2 0 1 7 1 2 6 0 2 1 (D E , A 1)
欧州特許出願公開第 0 3 4 2 8 0 3 1 (E P , A 1)

(58)調査した分野 (Int.Cl. , D B 名)
B 6 0 W 1 0 / 0 0 - 6 0 / 0 0
G 0 8 G 1 / 0 0 - 9 9 / 0 0