

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第6315827号
(P6315827)

(45) 発行日 平成30年4月25日 (2018. 4. 25)

(24) 登録日 平成30年4月6日 (2018. 4. 6)

(51) Int.Cl.

F I

G 0 8 G 1/16 (2006. 01)

G 0 8 G 1/16 C

B 6 0 W 30/09 (2012. 01)

B 6 0 W 30/09

B 6 0 W 30/14 (2006. 01)

B 6 0 W 30/14

B 6 0 W 40/09 (2012. 01)

B 6 0 W 40/09

B 6 2 D 6/00 (2006. 01)

B 6 2 D 6/00

請求項の数 8 (全 18 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願2015-65761 (P2015-65761)
 (22) 出願日 平成27年3月27日 (2015. 3. 27)
 (65) 公開番号 特開2016-186683 (P2016-186683A)
 (43) 公開日 平成28年10月27日 (2016. 10. 27)
 審査請求日 平成29年3月27日 (2017. 3. 27)

(出願人による申告) 平成26年度、独立行政法人科学技術振興機構 研究成果展開事業 センター・オブ・イノベーションプログラム『多様化・個別化社会イノベーションデザイン拠点』委託研究開発、産業技術力強化法第19条の適用を受ける特許出願

(73) 特許権者 504139662
 国立大学法人名古屋大学
 愛知県名古屋市千種区不老町1番
 (74) 代理人 110001911
 特許業務法人アルファ国際特許事務所
 (72) 発明者 山口 拓真
 愛知県名古屋市千種区不老町1番 国立大学法人名古屋大学内
 (72) 発明者 奥田 裕之
 愛知県名古屋市千種区不老町1番 国立大学法人名古屋大学内
 (72) 発明者 鈴木 達也
 愛知県名古屋市千種区不老町1番 国立大学法人名古屋大学内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 運転支援装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

車両の所定の操作に対する介入を行う運転支援装置であって、
 前記車両の挙動に関する領域である所定領域を設定する領域設定部と、
 前記車両の運転者の、特定の走行環境における運転行動特性を示す運転行動特性情報を取得し、取得された前記運転行動特性情報を用いて予測される前記車両の挙動が所定の予測区間にわたって前記所定領域内に収まるために現時刻で許容される前記操作の範囲である許容制御入力範囲を算出する許容制御入力範囲算出部と、
 現時刻の前記操作が前記許容制御入力範囲内にあるか否かを判定する判定部と、
 現時刻の前記操作が前記許容制御入力範囲の外にあると判定された場合に、前記介入を実行する操作介入実行部と、を備える、運転支援装置。

【請求項2】

請求項1に記載の運転支援装置であって、
 前記領域設定部は、特定の運転者の前記運転行動特性情報である特定運転行動情報を取得し、取得された前記特定運転行動情報を用いて前記所定領域を設定する、運転支援装置。

【請求項3】

請求項1または請求項2に記載の運転支援装置であって、さらに、
 前記車両の走行中に前記車両の挙動を示す挙動情報を前記車両の運転者に対応付けて蓄積し、蓄積された前記挙動情報を用いて前記運転行動特性情報を生成する運転行動特性情

報管理部を備える、運転支援装置。

【請求項 4】

請求項 1 から請求項 3 までのいずれか一項に記載の運転支援装置であって、

前記許容制御入力範囲算出部は、前記車両の運動特性を示す車両特性情報を取得し、前記運転行動特性情報と前記車両特性情報とを用いて前記車両の挙動を予測する、運転支援装置。

【請求項 5】

請求項 1 から請求項 4 までのいずれか一項に記載の運転支援装置であって、さらに、

前記介入の程度を可変に決定する介入支援入力決定部を備える、運転支援装置。

【請求項 6】

請求項 1 から請求項 5 までのいずれか一項に記載の運転支援装置であって、

前記操作は、操舵操作であり、

前記車両の挙動は、前記車両の軌道を含む、運転支援装置。

【請求項 7】

請求項 1 から請求項 5 までのいずれか一項に記載の運転支援装置であって、

前記操作は、制動操作と加速操作との少なくとも一方であり、

前記車両の挙動は、前記車両の速度を含む、運転支援装置。

【請求項 8】

請求項 1 から請求項 7 までのいずれか一項に記載の運転支援装置であって、

前記許容制御入力範囲算出部は、前記介入が実行されない場合の前記車両の挙動を予測する、運転支援装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本明細書に開示される技術は、運転支援装置に関する。

【背景技術】

【0002】

車両が障害物等と衝突することを防止したり車両を所定の位置で停止させたりして車両の安全性を確保するために、車両の操舵や制動について、運転者による操作に介入を行う運転支援装置が知られている。運転支援装置には、安全性確保を達成しつつ、操作介入による運転者の違和感をできるだけ低減することが求められる。従来、操作介入が実行された場合の車両が取り得る軌道を複数算出し、障害物の存在する領域と重複しない軌道の数

が所定数を超える場合には、違和感低減を優先して操作介入を実行せず、障害物の存在する領域と重複しない軌道の数

が所定数以下である場合に、安全性確保を優先して操作介入を実行することにより、安全性確保と違和感低減との両立を図る技術が知られている（例えば特許文献 1 参照）。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【特許文献 1】

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

車両の運転者としては、若年者や高齢者、初心者や熟練者など様々な運転者がおり、各運転者の運転行動特性は互いに異なり得る。上記従来の技術では、このような運転行動特性の違いを考慮することなく一律の判定手法によって操作介入を実行するか否かを判定しているため、運転者によっては、違和感を強く覚えたり、反対に、安全性確保が達成できなかったりする恐れがある。このように、従来の運転支援装置は、安全性確保と違和感低減との両立の点で改善の余地がある。

【0005】

10

20

30

40

50

本明細書では、上述した課題の少なくとも一部を解決することが可能な技術を開示する。

【課題を解決するための手段】

【0006】

本明細書に開示される技術は、例えば、以下の形態として実現することが可能である。

【0007】

(1) 本明細書に開示される運転支援装置は、車両の所定の操作に対する介入を行う運転支援装置であって、前記車両の挙動に関する領域である所定領域を設定する領域設定部と、前記車両の運転者の運転行動特性を示す運転行動特性情報を取得し、取得された前記運転行動特性情報を用いて予測される前記車両の挙動が所定の予測区間にわたって前記所定領域内に収まるために現時刻で許容される前記操作の範囲である許容制御入力範囲を算出する許容制御入力範囲算出部と、現時刻の前記操作が前記許容制御入力範囲内にあるか否かを判定する判定部と、現時刻の前記操作が前記許容制御入力範囲の外にあると判定された場合に、前記介入を実行する操作介入実行部と、を備える。本運転支援装置によれば、操作介入による安全性の確保を達成しつつ、許容制御入力範囲算出のための車両の挙動予測に運転行動特性情報を用いることによって、一律の判定手法によって操作介入を実行するか否かを判定する従来の構成と比較して、操作介入による運転者の違和感をより低減することができる。

10

【0008】

(2) 上記運転支援装置において、前記領域設定部は、特定の運転者の前記運転行動特性情報である特定運転行動情報を取得し、取得された前記特定運転行動情報を用いて前記所定領域を設定する構成としてもよい。本運転支援装置によれば、操作介入によって運転者を特定の運転行動（例えば模範的とされる運転行動）に誘導することができ、安全性の確保をより確実に達成することができる。

20

【0009】

(3) 上記運転支援装置において、さらに、前記車両の走行中に前記車両の挙動を示す挙動情報を前記車両の運転者に対応付けて蓄積し、蓄積された前記挙動情報を用いて前記運転行動特性情報を生成する運転行動特性情報管理部を備える構成としてもよい。本運転支援装置によれば、運転者の運転行動特性を精度良く反映した運転行動特性情報を作成することができ、操作介入による運転者の違和感をより効果的に低減することができる。

30

【0010】

(4) 上記運転支援装置において、前記許容制御入力範囲算出部は、前記車両の運動特性を示す車両特性情報を取得し、前記運転行動特性情報と前記車両特性情報とを用いて前記車両の挙動を予測する構成としてもよい。本運転支援装置によれば、車両の運動特性を考慮した適切な挙動を予測することができ、安全性の確保と違和感の低減とを高次元で両立させることができる。

【0011】

(5) 上記運転支援装置において、さらに、前記介入の程度を可変に決定する介入支援入力決定部を備える構成としてもよい。本運転支援装置によれば、運転者の運転能力等に応じた適切な介入の程度で操作介入を行うことができる。

40

【0012】

(6) 上記運転支援装置において、前記操作は、操舵操作であり、前記車両の挙動は、前記車両のとり軌道を含む構成としてもよい。本運転支援装置によれば、操舵操作についての操作介入による運転者の違和感をより低減することができる。

【0013】

(7) 上記運転支援装置において、前記操作は、制動操作と加速操作との少なくとも一方であり、前記車両の挙動は、前記車両の速度を含む構成としてもよい。本運転支援装置によれば、制動と加速との少なくとも一方についての操作介入による運転者の違和感をより低減することができる。

【0014】

50

(8) 上記運転支援装置において、前記許容制御入力範囲算出部は、前記介入が実行されない場合の前記車両の挙動を予測する構成としてもよい。本運転支援装置によれば、操作介入が実行される場合の挙動予測と比較して、精度良く挙動予測を行うことができ、その結果、操作介入実行可否の判定を精度良く行うことができる。

【0015】

なお、本明細書に開示される技術は、種々の形態で実現することが可能であり、例えば、運転支援装置、運転支援装置を備える車両、運転支援方法、車両の制御方法、それらの方法を実現するコンピュータプログラム、そのコンピュータプログラムを記録した一時的でない記録媒体等の形態で実現することができる。

【図面の簡単な説明】

10

【0016】

【図1】本実施形態における車両10の概略構成を示す説明図である。

【図2】運転支援ECU100によって実行される操作介入制御の概要を示す説明図である。

【図3】運転支援ECU100によって実行される操作介入制御の概要を示す説明図である。

【図4】車両10の走行環境の一例を示す説明図である。

【図5】運転者の運転行動特性の一例を示す説明図である。

【図6】運転者の運転行動特性の一例を示す説明図である。

【図7】左右の境界からの斥力ポテンシャル関数 U_w の一例を示す説明図である。

20

【図8】障害物OBからの斥力ポテンシャル関数 U_c の一例を示す説明図である。

【図9】各時刻での車両10の座標Pの分布の一例を示す説明図である。

【図10】障害物のポテンシャル場の等高線LCの一例を示す説明図である。

【図11】参照軌道RPの一例を示す説明図である。

【図12】安全許容領域SRの設定方法の一例を示す説明図である。

【図13】介入支援入力 U_a の決定方法の一例を示す説明図である。

【図14】本実施形態の運転支援ECU100による操作介入制御処理の流れを示すフローチャートである。

【図15】変形例における安全許容領域SRの設定方法の一例を示す説明図である。

【発明を実施するための形態】

30

【0017】

A．実施形態：

A-1．装置の構成：

図1は、本実施形態における車両10の概略構成を示す説明図である。車両10は、運転操作検出部210と、車速センサ220と、ヨーレートセンサ230と、GPS240と、レーダユニット250と、カメラユニット260と、運転支援電子制御ユニット（以下、「電子制御ユニット」を「ECU」という）100と、ステアリングECU270と、ステアリング装置272と、ブレーキECU280と、ブレーキ装置282とを備えている。車両10に含まれる各ECUは、CPUや記憶部を含むコンピュータにより構成されており、例えばCAN(Control Area Network)等の車両内ネットワークを介して互いに接続されている。

40

【0018】

ステアリング装置272は、車両10の進行方向を変える操舵装置である。ステアリングECU270は、ステアリング装置272の動作を制御する。ブレーキ装置282は、車両10に制動力を発生させる装置である。ブレーキECU280は、ブレーキ装置282の動作を制御する。

【0019】

運転操作検出部210は、運転者による車両10の運転操作を検出するセンサである。運転操作検出部210は、例えば、ステアリング装置272に含まれるステアリングの舵角を検出する舵角センサと、ブレーキ装置282に含まれるブレーキペダルの踏み込み角

50

を検出するブレーキペダルセンサとを含む。運転操作検出部 210 は、検出した運転操作（舵角やブレーキペダルの踏み込み角）を示す情報を運転支援 ECU 100 に出力する。

【0020】

車速センサ 220 は、車両 10 の速度を検出するセンサであり、検出した車両 10 の速度を示す情報を運転支援 ECU 100 に出力する。ヨーレートセンサ 230 は、車両 10 に生ずるヨーレートを検出するセンサであり、検出した車両 10 のヨーレートを示す情報を運転支援 ECU 100 に出力する。GPS 240 は、車両 10 の位置を検出するセンサであり、検出した車両 10 の位置を示す情報を運転支援 ECU 100 に出力する。

【0021】

レーダユニット 250 は、例えばミリ波を用いるレーダを備えており、車両 10 の周辺の障害物を検出したり、車両 10 が走行すべき車線を規定する物体（例えば側壁等）を検出することによって車線を検出したりする。なお、障害物は、例えば他の走行車両や、駐車車両、歩行者等である。また、車線を規定する物体も障害物となり得る。レーダユニット 250 は、検出した障害物や車線の位置を示す情報を運転支援 ECU 100 に出力する。

【0022】

カメラユニット 260 は、カメラを備えており、カメラにより撮影された画像を解析することにより、車両 10 の周辺の障害物を検出したり、車両 10 が走行すべき車線を規定する物体（例えば側壁や白線等）を検出することによって車線を検出したりする。カメラユニット 260 は、検出した障害物や車線の位置を示す情報を運転支援 ECU 100 に出力する。

【0023】

運転支援 ECU 100 は、車両 10 が障害物と衝突することを防止して車両 10 の安全性を確保するために、車両 10 の操舵についての操作介入制御を行う装置である。車両 10 の操舵についての操作介入制御とは、ステアリング ECU 270 に、運転者による操舵操作に対する介入、すなわち、運転者の操作によらない強制的な操舵動作を実行させる制御である。

【0024】

運転支援 ECU 100 によって実行される操作介入制御の詳細については後述するが、概要は以下の通りである。図 2 および図 3 は、運転支援 ECU 100 によって実行される操作介入制御の概要を示す説明図である。図 2 および図 3 には、ステアリング装置 272 に含まれるステアリング ST の舵角（反時計回りが正方向）と車両 10 の走行環境とが対応付けて示されている。この走行環境では、車両 10 が右側壁 SW (R) および左側壁 SW (L) で規定された車線を図の左側から右側に向けて走行しており、車両 10 の前方に障害物 OB が存在している。また、図 2 および図 3 には、車両 10 の安全が確保されるために車両 10 の挙動が収まるべき領域である安全許容領域 SR が示されている。

【0025】

運転支援 ECU 100 は、予測される車両 10 の挙動（本実施形態では軌道）が予測区間（本実施形態では時間的な区間）にわたって安全許容領域 SR 内に収まるために、現時刻 t で許容される操作（本実施形態では舵角）の範囲である許容制御入力範囲 s_{afe} （具体的には舵角の許容最小値 m_{in} および許容最大値 m_{ax} ）を算出する。図 2 および図 3 には、現時刻 t での舵角が許容最大値 m_{ax} であるとした場合に予測される車両 10 の軌道 VP (m_{ax}) と、現時刻 t での舵角が許容最小値 m_{in} であるとした場合に予測される車両 10 の軌道 VP (m_{in}) とが示されている。運転支援 ECU 100 は、図 2 の例のように、現時刻 t での舵角が許容制御入力範囲 s_{afe} 内の値である 1 である場合には操作介入を実行せず、図 3 の例のように、現時刻 t での舵角が許容制御入力範囲 s_{afe} の外の値である 2 である場合に操作介入を実行する。このように、運転支援 ECU 100 によって実行される操作介入制御は、例えば衝突時間余裕 (TTC) 等の危険度指標を用いて物理的限界のみに基づき操作介入を行う「緊急時の」操作介入制御ではなく、いまだ緊急的な状況に至っていない段階で動作する（緊急的

10

20

30

40

50

な状況を回避するように動作する) いわば「常用域の」操作介入制御であると言える。

【0026】

なお、車両10の軌道予測の際には、各運転者の運転行動特性を示す運転行動特性情報DIと、車両10の運動特性を示す車両特性情報VIとが参照される。また、安全許容領域SRの設定には、模範的な運転者の運転行動特性を示す規範運転行動情報MIが参照される。この点についても後に詳述する。

【0027】

運転支援ECU100は、上述した操作介入制御を実行するため、図1に示すように、規範運転行動情報記憶部110と、安全許容領域設定部120と、車両特性情報記憶部130と、運転行動特性情報記憶部140と、運転行動特性情報管理部150と、許容制御入力範囲算出部160と、操作介入判定部170と、操作介入実行部180とを備えている。操作介入実行部180は、介入支援入力決定部182を含んでいる。

【0028】

運転支援ECU100の規範運転行動情報記憶部110は、模範的な運転者の運転行動特性を示す規範運転行動情報MIを記憶する。安全許容領域設定部120は、規範運転行動情報MIを参照して、安全許容領域SRを設定する。車両特性情報記憶部130は、車両10の運動特性を示す車両特性情報VIを記憶する。運転行動特性情報管理部150は、各運転者の運転行動特性を示す運転行動特性情報DIの生成・管理を行う。運転行動特性情報記憶部140は、運転行動特性情報DIを記憶する。許容制御入力範囲算出部160は、許容制御入力範囲 $s a f e$ を算出する。操作介入判定部170は、操作介入を実行するか否かを判定する。操作介入実行部180は、操作介入を実行すると判定された場合に、操作介入を実行する。介入支援入力決定部182は、操作介入を実行する際の介入の程度である介入支援入力を決定する。以下、運転支援ECU100による操作介入制御についてより詳細に説明する。

【0029】

A-2. 運転行動特性情報DIについて：

運転行動特性情報記憶部140に記憶される運転行動特性情報DI(図1)は、各運転者の運転行動特性を示す情報である。運転行動特性とは、各運転者が車両10を運転する際の行動特性であり、例えば、ある走行環境においてどの程度の速度でどのような軌道をたどる傾向にあるか、といった特性が含まれる。

【0030】

図4は、車両10の走行環境の一例を示す説明図である。図4に示す走行環境では、x軸方向に延びる直線状の一方通行の道路における座標(0, 0)に車両10(の重心)が位置し、x軸正方向に向かって速度Vで直進している。車両10から見て右側には右側壁SW(R)が存在し、左側には左側壁SW(L)が存在し、2つの側壁SWによって車線が規定されている。右側壁SW(R)は $y = y_{w r}$ で表され、左側壁SW(L)は $y = y_{w l}$ で表される。また、座標 (x_c, y_c) に、障害物OBとして、x軸方向の長さ L_{OB} でy軸方向の幅 W_{OB} の駐車車両が存在する。例えば $y_{w r} = -3.5(m)$ であり、 $y_{w l} = 3.5(m)$ であり、 $x_c = 70(m)$ であり、 $y_c = 1.57(m)$ であり、 $L_{OB} = 4.80(m)$ であり、 $W_{OB} = 1.94(m)$ である。

【0031】

図5および図6は、各運転者の運転行動特性の一例を示す説明図である。図5の上段には、図4に示した走行環境において運転者Aによる運転で車両10が走行した際の車両10の走行軌道を表す軌道曲線D(A)が示されており、図5の下段には、その際の車両10のヨーの推移を表すヨー曲線Y(A)が示されている。同様に、図6には、図4に示した走行環境において運転者Aとは異なる運転者Bによる運転で車両10が走行した際の軌道曲線D(B)およびヨー曲線Y(B)が示されている。図5および図6のそれぞれにおいて、横軸はx軸方向の座標であり、縦軸は、上段の図ではy軸方向の座標、下段の図では車両10のヨー角(rad)である。図5および図6に示すように、同一の走行環境を走行する場合であっても、運転者によって、軌道曲線Dやヨー曲線Yは互いに異なり得る

10

20

30

40

50

。例えば、図 6 に示す運転行動をとる運転者 B は、図 5 に示す運転行動をとる運転者 A と比べて、障害物 O B を回避する動作の開始タイミングが早く、またヨーの変化も小さいことから、より緩やかに障害物 O B を回避する運転行動特性を有していると言える。

【 0 0 3 2 】

各運転者の障害物回避行動は、その障害物に対するリスク感が顕在化したものであると考えられる。そのため、各運転者の障害物回避行動の違い、すなわち、運転行動特性の違いの一因は、障害物に対する各運転者のリスク感の違いにあるものと考えられる。そこで、本実施形態では、運転行動特性のモデル化の一例として、各運転者のリスク感をモデル化し、パラメータ表現されたポテンシャル関数として表すものとした。具体的には、以下の通りである。

【 0 0 3 3 】

まず、直進路におけるゴールからの引力ポテンシャル関数 U_g と、車線を規定する左右の境界（側壁や白線）からの斥力ポテンシャル関数 U_w と、障害物 O B からの斥力ポテンシャル関数 U_c とは、それぞれ、以下の式（ 1 ） - （ 3 ）のように表現することができる。

【 数 1 】

$$U_g(x, y) = -w_g x \cdots (1)$$

w_g : U_g の重み係数

$$U_w(x, y) = w_w \sum_{e=l, r} \exp \left\{ -\frac{(y - y_{we})^2}{\sigma_w^2} \right\} \cdots (2)$$

w_w : U_w の重み係数

σ_w : U_w の標準偏差

y_{wl} : 左側の境界の位置

y_{wr} : 右側の境界の位置

$$U_c(x, y) = w_c \exp \left(-\frac{(x - x_c)^2}{\sigma_{cx}^2} - \frac{(y - y_c)^2}{\sigma_{cy}^2} \right) \cdots (3)$$

w_c : U_c の重み係数

σ_{cx} : x 軸方向の U_c の標準偏差

σ_{cy} : y 軸方向の U_c の標準偏差

x_c : 障害物の x 座標

y_c : 障害物の y 座標

【 0 0 3 4 】

上記式（ 1 ）に示すように、ゴールからの引力ポテンシャル関数 U_g は、ゴールを進行方向の無限遠にあると仮定して、前方に向かう線形のポテンシャル関数として表現される。また、左右の境界からの斥力ポテンシャル関数 U_w は、境界の長さが無限であるとして、一次元のガウス関数を用いて表現される。図 7 に、図 4 の走行環境における左右の境界からの斥力ポテンシャル関数 U_w の一例を示す。また、障害物 O B からの斥力ポテンシャル関数 U_c は、二次元ガウス関数を用いて表現される。図 8 に、図 4 の走行環境における障害物 O B からの斥力ポテンシャル関数 U_c の一例を示す。図 7 および図 8 において、z 軸はポテンシャル関数の大きさに対応する。

【 0 0 3 5 】

上述した3つのポテンシャル関数の各パラメータを変化させることにより、引力の大きさや斥力の大きさ、影響範囲等を調整することができ、例えば、障害物OBの大きさが異なる場合や、運転者のリスク感に違いがある場合等、多様な状況に適用することができる。実際の走行環境では、これらの要因が複数同時に組み合わさっているが、これら3つのポテンシャル関数の重ね合わせを用いることにより、運転者の運転行動を表現することができる。

【 0 0 3 6 】

上述したポテンシャル関数を各運転者に適合させるため、本実施形態では、各運転者の運転による車両10の走行の際に観測された走行データを用いて、ポテンシャル関数の各パラメータ値を推定するものとしている。具体的には、走行データとして、所定の走行環境において車両10を走行させたときの、各時刻での車両10の座標 (x_i^l, y_i^l) と速度 $v(x_i^l, y_i^l)$ とを取得する。なお、 $l=\{1, 2, \dots, L\}$ は試行番号であり、 $i=\{1, 2, \dots, n_l\}$ はデータのインデックスであり、 n_l は l 回目の試行で得られたデータ数である。図9に、図4に示す走行環境においてある運転者の運転により車両10を複数回走行させた際の、各時刻での車両10の座標Pの分布の一例を示す。

10

【 0 0 3 7 】

次に、走行環境に含まれる主要な要素を列挙し、例えば下記の式(4)のようにそれらの重ね合わせとして走行環境を表現するポテンシャル関数 $U(x, y)$ を構築する。

【 数 2 】

20

$$U(x, y) = U_g(x, y) + U_w(x, y) + \sum_i^N U_{ci}(x, y) \cdots (4)$$

N : 走行に影響を及ぼすと考えられる障害物数

U_{ci} : i 番目の障害物を表現するポテンシャル関数

【 0 0 3 8 】

ポテンシャル関数のパラメータの推定問題は、以下の最適化問題により定式化される。
< パラメータ推定問題 >

【数 3】

given : Environmental information : $y_{wl}, y_{wr}, x_{ci}, y_{ci}$,

Driving data : $x_i^l, y_i^l, v(x_i^l, y_i^l)$
 $(i \in \{1, 2, \dots, n_l\}, l \in \{1, 2, \dots, L\})$

find : $w_g, w_w, \sigma_w, w_{c1}, \sigma_{cx1}, \sigma_{cy1}, \dots, w_{cN}, \sigma_{cxN}, \sigma_{cyN}$

which minimize :

$$J = - \sum_{l=1}^L \sum_{i=1}^n E(v(x_i^l, y_i^l), d(x_i^l, y_i^l)) \cdots (5)$$

$$E(v, d) = |v - d|^2 \cdots (6)$$

$$d(x, y) = -\nabla U(x, y) = - \left[\frac{\partial U(x, y)}{\partial x} \frac{\partial U(x, y)}{\partial y} \right]^T \cdots (7)$$

n_l : 計測点数

L : 測定したデータの本数

$v(x_i^l, y_i^l)$: 座標 (x_i^l, y_i^l) において計測された速度

【0039】

本実施形態では、車両 10 がレーダユニット 250 やカメラユニット 260 を備えているため、車線の境界の座標や障害物の座標は既知である。また、 $d(x_i^l, y_i^l)$ は、座標 (x_i^l, y_i^l) におけるポテンシャル関数 U の最急降下ベクトルである。この最適化問題における評価関数 J は、計測された速度ベクトル v とリスク感を表すポテンシャル場から計算された勾配ベクトル d との差の二乗の総和である。従って、上記最適化の結果得られたポテンシャル場により生成される経路は、運転者の回避経路と似たものとなることが期待され、 $w_{ci}, \sigma_{cx i}, \sigma_{cy i}$ 等の推定されたパラメータは、走行環境上の障害物に対するドライバのリスク感を定量的に表現するものと期待される。推定されたパラメータは、対象となる意図や障害物に固有のものと考えられ、異なる走行環境中であっても類似した障害物には同じパラメータを用いることが可能である。図 10 に、同定された障害物のポテンシャル場の等高線 LC の一例を示す。運転者により、等高線 LC の形状は異なり得る。なお、ポテンシャル関数のパラメータの同定のための最適化問題における評価関数は、上述したものに限らず、他の関数を取り得る。

【0040】

本実施形態では、車両 10 の運転行動特性情報管理部 150 (図 1) が、車両 10 の走行データを蓄積し、蓄積された走行データに基づき上記ポテンシャル関数の各パラメータ値を推定し、推定された各パラメータ値を特定する運転行動特性情報 DI を生成して運転行動特性情報記憶部 140 に格納する。なお、運転行動特性情報管理部 150 は、図示しないユーザインタフェースを介した指定等に基づき運転者を識別し、運転者毎に走行データを蓄積する。また、十分な走行データが蓄積されていない段階では、例えば平均的な運転者の運転行動特性を表す運転行動特性情報 DI が運転行動特性情報記憶部 140 に格納され、十分な走行データが蓄積された段階で、運転行動特性情報 DI の更新が実行される。なお、その後、定期的にまたは不定期で、運転行動特性情報 DI の更新が行われるとしてもよい。走行データは、特許請求の範囲における挙動情報に相当する。

【0041】

A - 3 . 安全許容領域 SR の設定 :

次に、安全許容領域設定部 120 (図 1) による安全許容領域 SR の設定について説明する。上記ポテンシャル関数の各パラメータ値が推定され、各パラメータ値を特定する運転行動特性情報 DI が生成されると、運転行動特性情報 DI を用いて参照軌道 RP を生成することができる。参照軌道 RP は、リスクポテンシャルができるだけ低い値をとる車両 10 の軌道である。ただし、参照軌道 RP は、実際に車両 10 が走行可能な軌道である必要がある。すなわち、車両 10 は非ホロノミックな拘束を受け、また実現可能な舵角にも制限がある。そのため、参照軌道 RP の生成の際には、車両特性情報記憶部 130 に記憶された車両 10 の運動特性を示す車両特性情報 VI (図 1) が参照される。

【0042】

車両特性情報 VI には、車両 10 の運動特性をモデル化した車両運動特性モデルが含まれる。本実施形態では、車両運動特性モデルとして、下記の式 (8) - (10) で表される公知の二輪モデルや、下記の式 (11) - (12) で表される公知のタイヤモデルが使用される。

【数 4】

$$mV\left(\frac{d\beta}{dt} + \gamma\right) = 2Y_f + 2Y_r \cdots (8)$$

$$\frac{d\theta}{dt} = \gamma \cdots (9)$$

$$I \frac{d\gamma}{dt} = 2l_f Y_f - 2l_r Y_r \cdots (10)$$

m : 車体質量

I : 車体ヨー慣性モーメント

V : 車速

l_f : 車体重心から前輪までの距離

l_r : 車体重心から後輪までの距離

β : 車体すべり角

γ : ヨーレート

θ : ヨー角

【数 5】

$$Y_f = -K_f \beta_f = -K_f \left(\beta + \frac{l_f \gamma}{V} - \delta \right) \cdots (11)$$

$$Y_r = -K_r \beta_r = -K_r \left(\beta - \frac{l_r}{V} \right) \cdots (12)$$

K_f : 前輪のコーナリングステイフネス

K_r : 後輪のコーナリングステイフネス

δ : 前輪の舵角

【0043】

参照軌道 RP の生成手順には、タイヤ切れ角に関する物理的な制約と、上述の車両 10 の運動特性を時間に関して離散化したものを拘束条件とした以下の最適化問題が組み込まれている。

< 参照軌道 R P の生成に用いる最適化問題 >

【数 6】

given: ポテンシャル関数の各パラメータ、
車両運動特性モデルの各パラメータ、
時刻 k における車両の状態 (x_k, y_k, θ_k)

find: $\delta_{k+1}, x_{k+1}, y_{k+1}, \theta_{k+1}$

which minimize: $U(x_{k+1}, y_{k+1})$

subject to: $\delta_{\min} \leq \delta \leq \delta_{\max},$

車両運動特性モデルの制約 (式 (8) - (12) 等)

10

【0044】

この最適化問題は、車両運動特性モデルにより実現可能な解空間の中で、リスクポテンシャルを最小にする前輪舵角と状態を探索する最適化問題となっている。この最適化問題を用い、以下の手順により参照軌道 R P を生成する。この手順を繰り返すことにより、車両 10 の運動特性モデルの拘束下で、ポテンシャル場に合わせた経路 (x_k, y_k) ($k = \{1, 2, 3, \dots, K\}$) が参照軌道 R P として生成される。図 11 に、生成された参照軌道 R P の一例を示す。

20

- ・ Step 1: 初期値を設定する。($k = 1, (x_k, y_k, \theta_k) = (x_0, y_0, \theta_0)$ とする。)
- ・ Step 2: 上述の最適化問題を解き、各運転者に適合されたポテンシャル場において、車両運動特性モデルの制約を満たしつつ、ポテンシャルを最も下る方向に車両 10 を進める $x_{k+1}, y_{k+1}, \theta_{k+1}$ を計算する。
- ・ Step 3: 求められた $x_{k+1}, y_{k+1}, \theta_{k+1}$ をもとに、車両 10 の運動特性モデルに基づき、次ステップでの状態 $x_{k+1}, y_{k+1}, \theta_{k+1}$ を計算する。
- ・ Step 4: $k+1 = K$ (K は所望の生成ステップ数) となれば終了する。そうでなければ $k = k+1$ として、Step 2 に戻る。

【0045】

30

上述したように、安全許容領域 S R は、規範運転行動情報記憶部 110 に記憶された規範運転行動情報 M I (図 1) を参照して設定される。規範運転行動情報 M I は、模範的な運転者 (例えば教習所の教官) の運転行動特性を示す情報であり、本実施形態では、模範的な運転者についての上記ポテンシャル関数の各パラメータ値を示す情報 (すなわち、模範的な運転者の運転行動特性情報 D I) である。なお、規範運転行動情報 M I は、特許請求の範囲における特定運転行動情報に相当する。

【0046】

図 12 は、安全許容領域 S R の設定方法の一例を示す説明図である。図 12 には、模範的な運転者についての上記ポテンシャル関数の各パラメータ値を用いて生成された参照軌道 R P が示されている。この参照軌道 R P は、参照軌道 R P が生成された特定の走行環境において、車両 10 の模範的な軌道であると言える。本実施形態では、この参照軌道 R P を含み、分散を考慮して算出された幅を持たせた領域が、安全許容領域 S R として設定される。なお、安全許容領域 S R は、特許請求の範囲における所定領域に相当する。

40

【0047】

A - 4 . 許容制御入力範囲 s_{safe} の算出:

次に、許容制御入力範囲算出部 160 (図 1) による許容制御入力範囲 s_{safe} の算出について説明する。上述したように、許容制御入力範囲 s_{safe} は、運転行動特性情報 D I と車両特性情報 V I とを参照して予測される車両 10 の軌道が、予測区間にわたって安全許容領域 S R 内に収まるために、現時刻 t で許容される舵角の範囲 (舵角 θ の許容最小値 θ_{\min} および許容最大値 θ_{\max}) である。許容制御入力範囲算出部 160 は、

50

許容制御入力範囲 s_{afe} を、以下の許容制御入力範囲算出問題を制約充足の観点から解くことにより設定する。

< 許容制御入力範囲算出問題 >

【数 7】

given: 規範運転行動 (time t to $t + K$)、
許容安全領域 S_R (time t to $t + K$)、
予測区間 K

find: $\theta_{safe} = [\theta_{min}, \theta_{max}]$ at time t

10

subject to: 運転行動特性および車両運動特性を考慮した
車両の軌道が許容安全領域 S_R 内に収まる。

【0048】

A - 5 . 操作介入判定および操作介入実行 :

次に、操作介入判定部 170 (図 1) による操作介入判定および操作介入実行部 180 による操作介入実行について説明する。操作介入判定部 170 は、現時刻 t での舵角 θ が許容制御入力範囲 s_{afe} 内にあるか否かを判定し、現時刻 t での舵角 θ が許容制御入力範囲 s_{afe} 内にある場合には操作介入を実行しないことを決定し、現時刻 t での舵角 θ が許容制御入力範囲 s_{afe} の外にある場合には操作介入を実行することを決定する。

20

【0049】

現時刻 t での舵角 θ が許容制御入力範囲 s_{afe} の外にあり、操作介入を実行すると決定された場合には、介入支援入力決定部 182 が、介入の程度、すなわち、現時点の運転者の操舵トルク U_h に加えるべき介入支援入力 U_a を可変に決定する。図 13 は、介入支援入力 U_a の決定方法の一例を示す説明図である。図 13 の例では、現時刻 t での舵角 θ が許容最大値 θ_{max} より大きい場合も、現時刻 t での舵角 θ が許容最小値 θ_{min} より小さい場合も、介入支援入力 U_a は予め定められた一定値に決定される。この値は、各運転者の運転能力に応じて可変に設定される。なお、図 13 の例では、操作感を滑らかにして運転者の違和感をより低減するために、許容制御入力範囲 s_{afe} 内における両側の境界付近の領域である移行領域 t_{ra} においても舵角 θ に応じた介入支援入力 U_a で操作介入が実行されるようにしている。すなわち、図 13 の例では、現時刻 t での舵角 θ が許容制御入力範囲 s_{afe} 内の内、移行領域 t_{ra} 以外の領域にある場合に、操作介入が実行されない。

30

【0050】

操作介入実行部 180 は、ステアリング ECU 270 を介して、介入支援入力決定部 182 によって決定された介入支援入力 U_a で、操舵についての操作介入を実行する。

【0051】

A - 6 . 操作介入制御処理 :

40

図 14 は、本実施形態の運転支援 ECU 100 による操作介入制御処理の流れを示すフローチャートである。はじめに、運転支援 ECU 100 は、運転操作検出部 210 や車速センサ 220、ヨーレートセンサ 230、レーダユニット 250、カメラユニット 260 等から、車線境界や障害物の検出結果や、運転操作、車速、ヨーレート等を示す情報を取得して、車両 10 の走行環境を把握する (S110)。次に、安全許容領域設定部 120 は、規範運転行動情報 M_I を用いて、把握された走行環境に応じた安全許容領域 S_R (図 12 参照) を設定する (ステップ S120)。

【0052】

次に、許容制御入力範囲算出部 160 は、運転行動特性情報 D_I および車両特性情報 V_I を用いて、許容制御入力範囲 s_{afe} (図 2 および図 3 参照) を算出する (S130)

50

）。操作介入判定部 170 は、現時刻 t での操作（舵角）が許容制御入力範囲 s_{afe} 内にあるか否かを実時間で判定する（S140）。現時刻 t での舵角が許容制御入力範囲 s_{afe} の外にあると判定された場合には（S140：NO）、介入支援入力決定部 182 が介入支援入力 U_a を決定し（S150）、操作介入実行部 180 が、決定された介入支援入力 U_a での操作介入を実行する（S160）。

【0053】

一方、現時刻 t での舵角が許容制御入力範囲 s_{afe} 内にあると判定された場合には（S140：YES）、操作介入判定部 170 は、現時刻 t での舵角が移行領域 t_{ra} （図13参照）内にあるか否かを判定する（S142）。現時刻 t での舵角が移行領域 t_{ra} 内にあると判定された場合には（S142：YES）、介入支援入力決定部 182 が介入支援入力 U_a を決定し（S150）、操作介入実行部 180 が、決定された介入支援入力 U_a での操作介入を実行する（S160）。現時刻 t での舵角が許容制御入力範囲 s_{afe} 内にあり（S140：YES）、かつ、移行領域 t_{ra} 外にあると判定された場合には（S142：NO）、S150 および S160 の処理はスキップされる。

【0054】

運転支援 ECU100 は、処理終了の指示が受領されていない間は（S170：NO）、上述した S110 から S160 までの処理を繰り返し実行する。処理終了の指示が受領されると（S170：YES）、運転支援 ECU100 は操作介入制御処理を終了する。

【0055】

以上説明したように、本実施形態の運転支援 ECU100 では、安全許容領域設定部 120 が、車両 10 の軌道に関する領域である安全許容領域 SR を設定し、許容制御入力範囲算出部 160 が、車両 10 の運転者の運転行動特性を示す運転行動特性情報 DI を用いて予測される車両 10 の軌道が所定の予測区間にわたって安全許容領域 SR 内に収まるために現時刻 t で許容される舵角の範囲である許容制御入力範囲 s_{afe} を算出し、操作介入判定部 170 が、現時刻 t での舵角が許容制御入力範囲 s_{afe} 内にあるか否かを判定し、現時刻 t での舵角が許容制御入力範囲 s_{afe} の外にあると判定された場合に操作介入実行部 180 が操舵についての操作介入を実行する。このように、本実施形態の運転支援 ECU100 では、操作介入による安全性の確保を達成しつつ、許容制御入力範囲 s_{afe} の算出のための車両 10 の軌道予測に運転行動特性情報 DI を用いることによって、一律の判定手法によって操作介入を実行するか否かを判定する従来の構成と比較して、操作介入による運転者の違和感をより低減することができる。

【0056】

また、本実施形態の運転支援 ECU100 では、模範的な運転者の運転行動特性情報 DI である規範運転行動情報 MI を用いて安全許容領域 SR が設定されるため、操作介入によって運転者を模範的な運転行動に誘導することができ、安全性の確保をより確実に達成することができる。

【0057】

また、本実施形態の運転支援 ECU100 では、運転行動特性情報管理部 150 が、車両 10 の走行中に車両 10 の挙動を示す走行データ（挙動情報）を運転者に対応付けて蓄積し、蓄積された走行データを用いて運転行動特性情報 DI を生成するため、運転者の運転行動特性を精度良く反映した運転行動特性情報 DI を作成することができ、操作介入による運転者の違和感をより効果的に低減することができる。

【0058】

また、本実施形態の運転支援 ECU100 では、許容制御入力範囲 s_{afe} の算出のための車両 10 の軌道予測に、車両 10 の運動特性を示す車両特性情報 VI が用いられるため、車両 10 の運動特性を考慮した適切な軌道を予測することができ、安全性の確保と違和感の低減とを高次元で両立させることができる。

【0059】

また、本実施形態の運転支援 ECU100 では、介入支援入力決定部 182 が、介入支

10

20

30

40

50

援入力 U_a を可変に決定することができるため、運転者の運転能力等に応じた適切な介入支援入力 U_a で操作介入を行うことができる。

【0060】

なお、本実施形態の運転支援 ECU 100 では、許容制御入力範囲算出部 160 による許容制御入力範囲 s_{afe} の算出の際に予測される車両 10 の軌道は、操作介入が実行されない場合の軌道であるため、操作介入が実行される場合の軌道予測と比較して、精度良く軌道予測を行うことができ、その結果、操作介入実行可否の判定を精度良く行うことができる。

【0061】

B．変形例：

本明細書で開示される技術は、上述の実施形態に限られるものではなく、その要旨を逸脱しない範囲において種々の形態に変形することができ、例えば次のような変形も可能である。

【0062】

上記実施形態では、車両 10 の操舵についての操作介入制御について説明したが、本発明は、例えば、見通しの悪い交差点で一時停止する際のように、車両 10 の制動についての操作介入制御にも適用可能である。本発明を制動についての操作介入制御に適用する場合には、例えば以下になる。

【0063】

この変形例では、GPS 240 やレーダユニット 250、カメラユニット 260 等により車両 10 が見通しの悪い交差点に近づいている走行環境にあることが把握され（図 14 の S110）、車速についての安全許容領域 SR が設定される（同 S120）。図 15 は、変形例における安全許容領域 SR の設定方法の一例を示す説明図である。図 15 において縦軸は車両 10 の速度、横軸は交差点からの距離である。交差点の手前 5（m）の位置に停止線 SL が存在する。図 15 には、模範的な運転者の走行データを用いて生成された参照軌道 RP と、参照軌道 RP にある程度の幅を持たせて設定した車速についての安全許容領域 SR とが示されている。模範的な運転者は、停止線 SL の位置でほぼいったん車速をゼロにし、徐行、左右確認の後、再加速していることがわかる。予測区間にわたって車速が安全許容領域 SR 内に収まるような操作（ブレーキペダルの踏み込み角）が許容制御入力範囲 s_{afe} として算出され（図 14 の S130）、現時刻 t での操作（ブレーキペダルの踏み込み角）が許容制御入力範囲 s_{afe} 内か否かによって、制動に関する操作介入の実行可否が判定される（同 S140）。操作介入を実行すると判定された場合には、介入支援入力 U_a としてブレーキペダルに加える踏力が決定され（同 S150）、決定された介入支援入力 U_a でブレーキ ECU 280 を介した操作介入が実行される（同 S160）。

【0064】

なお、このような制動についての操作介入制御に加えて、あるいは制動についての操作介入制御に代えて、加速についての操作介入制御を実行するとしてもよい。例えば、予測区間において車速が安全許容領域 SR を下回ると判定された場合に、アクセルペダルの踏み込み角を増すような操作介入を行うとしてもよい。

【0065】

このように、本発明によれば、操舵についての操作介入に限らず、制動や加速についての操作介入に関しても、操作介入による安全性の確保を達成しつつ運転者の違和感をより低減することができる。

【0066】

また、上記実施形態における車両 10 の構成はあくまで一例であり、車両 10 が上述した構成要素の一部を備えなくてもよいし、車両 10 が上述していない構成要素を備えていてもよい。また、上記実施形態において説明した運転者の運転行動特性を表すモデルはあくまで一例であり、例えばハイブリッド動的システムモデル等の他のモデルを採用してもよい。また、上記実施形態において説明した車両の運動特性を表すモデルはあくまで一例

10

20

30

40

50

であり、例えば定常円旋回モデルや等速度モデル等の他のモデルを採用してもよい。

【 0 0 6 7 】

また、上記実施形態では、許容制御入力範囲 s_{afe} 外では、介入支援入力 U_a は予め定められた一定値に決定されるとしているが（図 13 参照）、介入支援入力 U_a が現時刻での舵角 δ に応じて変化するとしてもよい。また、上記実施形態では、許容制御入力範囲 s_{afe} 内の移行領域 t_{ra} においても操作介入が実行されるとしているが、許容制御入力範囲 s_{afe} 内では操作介入が一切実行されないとしてもよい。

【 0 0 6 8 】

また、上記実施形態では、模範的な運転者の運転行動特性情報 D_I である規範運転行動情報 M_I を用いて安全許容領域 S_R が設定されるとしているが、特定の 1 人または複数人の運転者の運転行動特性情報 D_I を用いて安全許容領域 S_R が設定されるとしてもよい。また、安全許容領域 S_R の設定の際に必ずしも運転行動特性情報 D_I を用いる必要は無く、車両 10 の安全が確保されるために車両 10 の挙動が収まるべき領域として設定されれば、安全許容領域 S_R の設定方法は任意の方法を採用可能である。

【 0 0 6 9 】

また、上記実施形態では、予測区間は時間的な区間であるとしているが、予測区間は距離的な区間であるとしてもよい。

【 0 0 7 0 】

また、上記実施形態では、運転支援 $ECU100$ は、いまだ緊急時に至っていない状況で動作する常用域の操作介入制御を実行するとしているが、運転支援 $ECU100$ は、これに加えて、例えば衝突時間余裕 (TTC) 等の危険度指標を用いて物理的限界のみに基づき操作介入を行う緊急時の操作介入制御を実行するとしてもよい。

【 0 0 7 1 】

なお、上記実施形態や変形例において説明した運転者モデル化手法等の詳細については、以下でも公開されている。

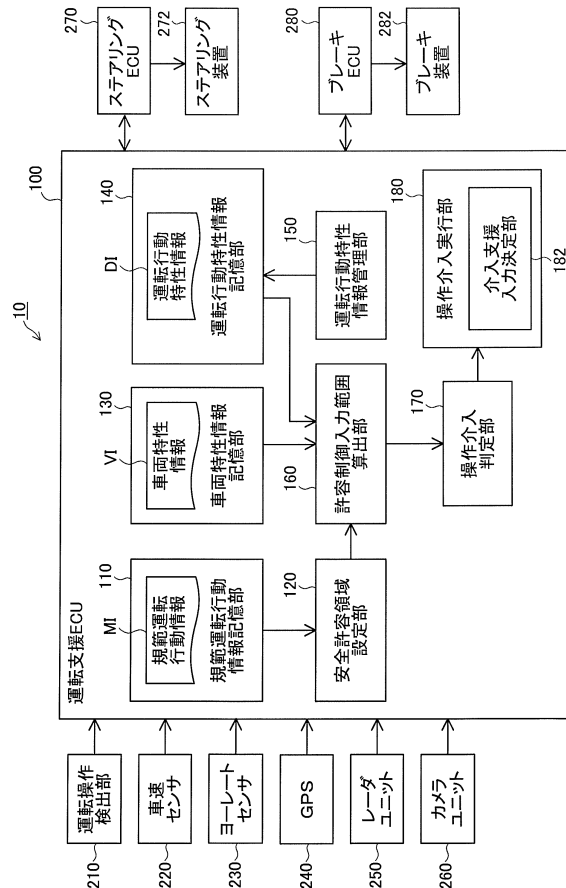
- ・Noriyasu Noto, et al. "Steering assisting system for obstacle avoidance based on personalized potential field" Intelligent Transportation Systems (ITSC) 2012
- ・Ikami Norimitsu, et al. "Online parameter stimation of driving behavior using probability-weighted ARX models" Intelligent Transportation Systems (ITSC) 2011
- ・奥田ら．"個人適合型ポテンシャル法に基づく障害物回避アシスト制御" 自動車技術会論文集 44.3(2013):895-901
- ・長井ら．"個人適合型ポテンシャル法に基づく障害物回避アシスト制御（第二報）" 自動車技術会 秋季大会 予稿集 211-20135816, 2013

【符号の説明】

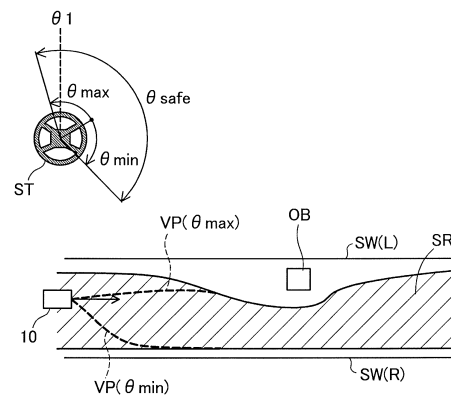
【 0 0 7 2 】

10：車両 100：運転支援 ECU 110：規範運転行動情報記憶部 120：安全許容領域設定部 130：車両特性情報記憶部 140：運転行動特性情報記憶部 150：運転行動特性情報管理部 160：許容制御入力範囲算出部 170：操作介入判定部 180：操作介入実行部 182：介入支援入力決定部 210：運転操作検出部 220：車速センサ 230：ヨーレートセンサ 240：GPS 250：レーダユニット 260：カメラユニット 270：ステアリング ECU 272：ステアリング装置 280：ブレーキ ECU 282：ブレーキ装置 D_I ：運転行動特性情報 M_I ：規範運転行動情報 V_I ：車両特性情報

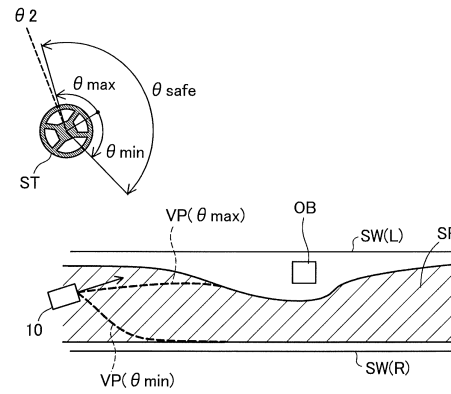
【図 1】



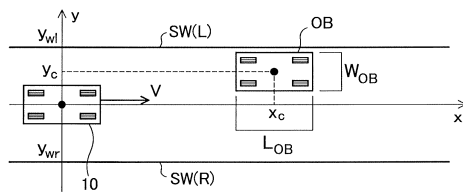
【図 2】



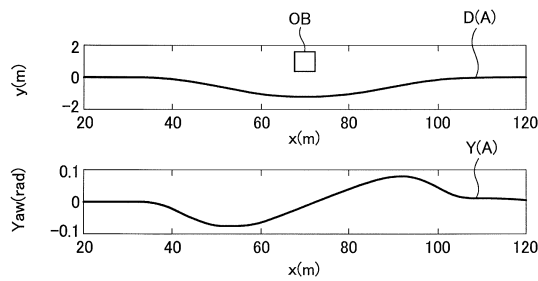
【図 3】



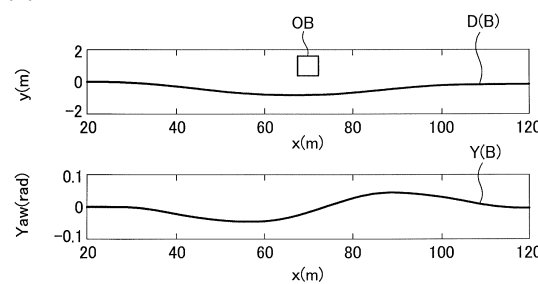
【図 4】



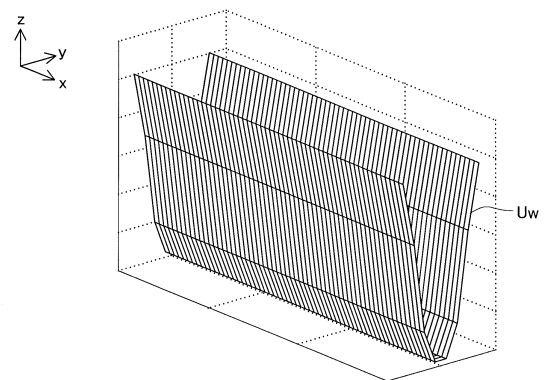
【図 5】



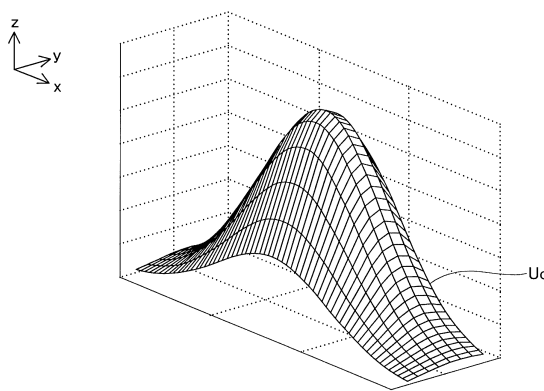
【図 6】



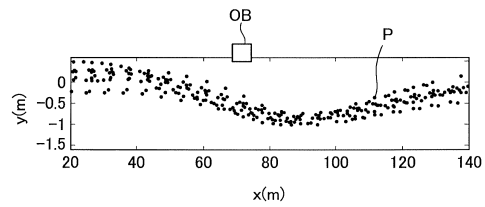
【図 7】



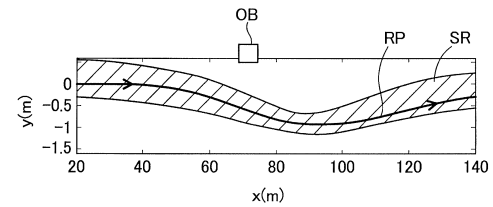
【図 8】



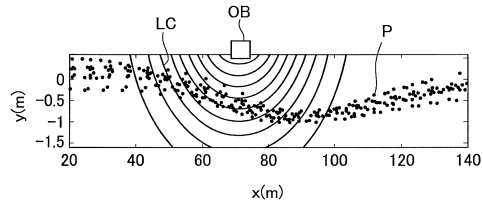
【図 9】



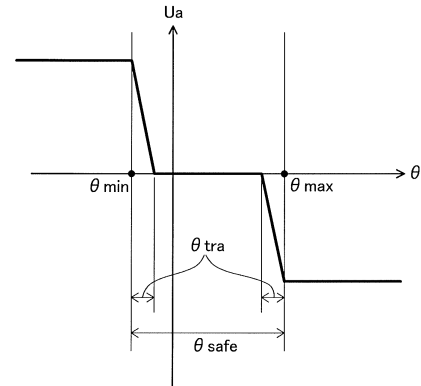
【図 12】



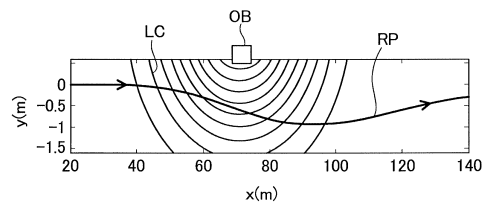
【図 10】



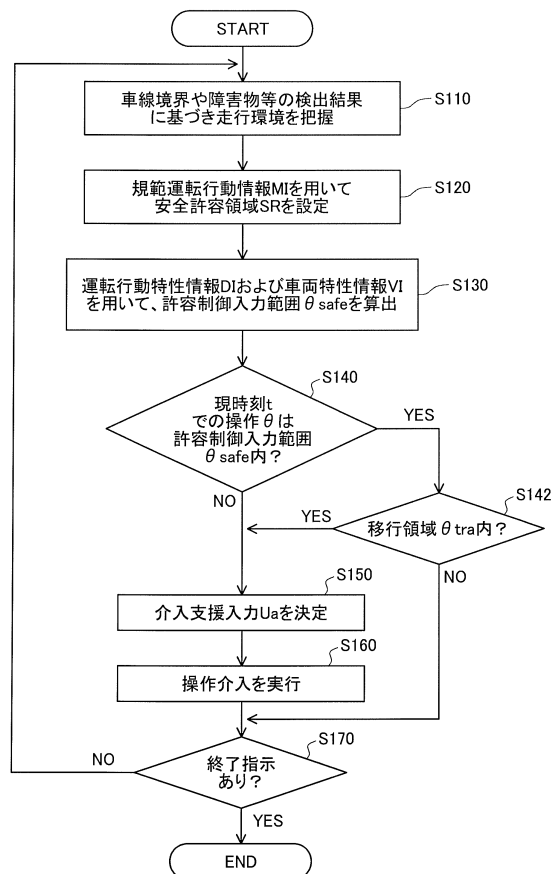
【図 13】



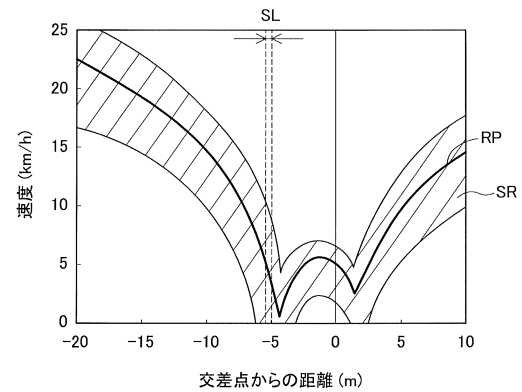
【図 11】



【図 14】



【図 15】



フロントページの続き

(51)Int.Cl.		F I
B 6 2 D 101/00	(2006.01)	B 6 2 D 101:00
B 6 2 D 109/00	(2006.01)	B 6 2 D 109:00
B 6 2 D 113/00	(2006.01)	B 6 2 D 113:00
B 6 2 D 137/00	(2006.01)	B 6 2 D 137:00

(72)発明者 田 崎 勇一
愛知県名古屋市千種区不老町1番 国立大学法人名古屋大学内

審査官 山村 和人

(56)参考文献 特開2009-298355(JP,A)
特開2012-108653(JP,A)
国際公開第2011/074115(WO,A1)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

B 6 0 W	1 0 / 0 0	-	5 0 / 1 6
G 0 8 G	1 / 1 6		
B 6 2 D	6 / 0 0		
B 6 2 D	1 0 1 / 0 0		
B 6 2 D	1 0 9 / 0 0		
B 6 2 D	1 1 3 / 0 0		
B 6 2 D	1 3 7 / 0 0		