

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B1)

(11) 特許番号

特許第6628843号
(P6628843)

(45) 発行日 令和2年1月15日(2020.1.15)

(24) 登録日 令和1年12月13日(2019.12.13)

(51) Int. Cl. F I
B 6 O W 30/095 (2012.01) B 6 O W 30/095
B 6 O W 30/09 (2012.01) B 6 O W 30/09

請求項の数 29 (全 30 頁)

(21) 出願番号	特願2018-165654 (P2018-165654)	(73) 特許権者	000006013 三菱電機株式会社 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号
(22) 出願日	平成30年9月5日(2018.9.5)	(74) 代理人	100088672 弁理士 吉竹 英俊
審査請求日	平成30年9月5日(2018.9.5)	(74) 代理人	100088845 弁理士 有田 貴弘
		(72) 発明者	富永 健太 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三菱電機株式会社内
		(72) 発明者	鶴生 知輝 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三菱電機株式会社内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 障害物回避装置および障害物回避経路生成装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

自車の周辺に存在する障害物の位置の情報を含む障害物情報に基づき、前記障害物の移動予測を行う障害物移動予測部と、

前記移動予測の結果に基づき前記障害物を左右どちらに回避するか判断した上で、少なくとも前記自車を前記障害物に接触させないための進入禁止領域を設定することにより、前記自車の状態量または前記自車の少なくとも操舵制御のための制御入力に制約を設定する制約生成部と、

少なくとも前記自車の目標経路に対する予測経路の誤差である経路追従誤差を評価項目とし、前記経路追従誤差が小さいほど評価の度合いが良くなる評価関数を設定する評価関数設定部と、

前記制約のもとで前記評価関数の評価の度合いが良くなる解を演算する解演算部と、

前記解に基づき前記自車の状態量の予測値を演算する車両状態量予測部と、

前記解および前記予測された状態量の少なくとも片方に基づき前記自車の操舵量を制御するアクチュエータの目標値を演算する目標値演算部と、
を備え、

前記制約生成部は、前記自車の走行する車線の左側に位置する左側進入禁止領域と、前記自車が走行する車線の右側に位置する右側進入禁止領域とをさらに設定し、前記障害物を右に回避すると判断した場合には、前記左側進入禁止領域を前記進入禁止領域に結合することで前記進入禁止領域を拡張し、前記障害物を左に回避すると判断した場合には、前

記右側進入禁止領域を前記進入禁止領域に結合することで前記進入禁止領域を拡張する、
障害物回避装置。

【請求項 2】

前記評価関数の評価項目には、前記自車の目標速度に対する予測速度の誤差である速度追従誤差が含まれており、前記評価関数は前記速度追従誤差が小さいほど評価の度合いが良くなり、

前記目標値演算部は、前記自車の加減速量を制御するアクチュエータの目標値も演算する、

請求項 1 記載の障害物回避装置。

【請求項 3】

前記制約生成部は、前記障害物が前記自車の走行する車線の中央より左に存在する場合には、前記障害物を右に回避すると判断し、前記障害物が前記自車の走行する車線の中央より右に存在する場合には、前記障害物を左に回避すると判断する、

請求項 1 または請求項 2 に記載の障害物回避装置。

【請求項 4】

前記制約生成部は、前記障害物の右側に前記自車が走行可能な空間がある場合には、前記障害物を右に回避すると判断する、

請求項 1 または請求項 2 に記載の障害物回避装置。

【請求項 5】

前記制約生成部は、前記障害物の左側に前記自車が走行可能な空間がある場合には、前記障害物を左に回避すると判断する、

請求項 1 または請求項 2 に記載の障害物回避装置。

【請求項 6】

前記解演算部は、前記解を求める演算が前記評価関数の最小化問題を解く演算である場合、前記評価関数を予め定められた閾値よりも小さくできた解を出力し、前記解を求める演算が前記評価関数の最大化問題を解く演算である場合、前記評価関数を予め定められた閾値よりも大きくできた解を出力する、

請求項 1 から請求項 5 のいずれか一項に記載の障害物回避装置。

【請求項 7】

前記解演算部は、前記解を求める演算が前記評価関数の最小化問題を解く演算であり、予め定められた回数だけ反復計算を行っても前記評価関数が予め定められた閾値を下回るような解が得られなかった場合、それまでの反復計算で前記評価関数を最も小さくできた解を出力し、前記解を求める演算が前記評価関数の最大化問題を解く演算であり、予め定められた回数だけ反復計算を行っても前記評価関数が予め定められた閾値を上回るような解が得られなかった場合、それまでの反復計算で前記評価関数を最も大きくできた解を出力する、

請求項 1 から請求項 6 のいずれか一項に記載の障害物回避装置。

【請求項 8】

前記制約生成部は、前記自車が走行する車線の区画線より外側の領域を前記進入禁止領域に含ませる、

請求項 1 から請求項 7 のいずれか一項に記載の障害物回避装置。

【請求項 9】

前記制約生成部は、前記自車が走行する車線上に前記障害物として先行車が存在する場合には、前記自車と前記先行車との車間距離が予め定められた値以下になることを禁止するように前記進入禁止領域を設定し、

前記目標値演算部は、前記自車の加減速量を制御するアクチュエータの目標値も演算する、

請求項 1 から請求項 8 のいずれか一項に記載の障害物回避装置。

【請求項 10】

前記制約生成部は、前記自車が走行する車線上に前記障害物として先行車が存在する場

10

20

30

40

50

合には、前記自車と前記先行車との車間距離に応じて前記自車の上限速度の制約を設定し、前記車間距離が短いほど前記上限速度を小さくし、前記車間距離が予め定められた値以下になると前記上限速度を前記先行車の速度以下にし、

前記目標値演算部は、前記自車の加減速度を制御するアクチュエータの目標値も演算する、

請求項 1 から請求項 9 のいずれか一項に記載の障害物回避装置。

【請求項 1 1】

前記制約生成部はさらに、前記自車の加速度、躍度、操舵速度およびヨーレートのうちの少なくとも 1 つの上限または下限に制約を設定する、

請求項 1 から請求項 1 0 のいずれか一項に記載の障害物回避装置。

10

【請求項 1 2】

前記評価関数の評価項目には、前記自車の加速度、躍度、操舵速度およびヨーレートのうちの少なくとも 1 つが含まれており、前記評価関数は、前記評価項目に含まれる前記自車の加速度、躍度、操舵速度およびヨーレートが零に近いほど評価の度合いが良くなる、

請求項 1 から請求項 1 1 のいずれか一項に記載の障害物回避装置。

【請求項 1 3】

前記制約生成部は、前記障害物が複数存在する場合に、それぞれの障害物に対応する複数の前記進入禁止領域を設定し、複数の前記進入禁止領域の全てを含む領域を最終的な進入禁止領域とする、

請求項 1 から請求項 1 2 のいずれか一項に記載の障害物回避装置。

20

【請求項 1 4】

前記制約生成部は、道路形状に応じて前記進入禁止領域の形状を変更する、

請求項 1 から請求項 1 3 のいずれか一項に記載の障害物回避装置。

【請求項 1 5】

前記障害物移動予測部は、前記障害物の位置、速度および方位のうちの少なくとも位置に基づき、前記障害物の移動予測を行う、

請求項 1 から請求項 1 4 のいずれか一項に記載の障害物回避装置。

【請求項 1 6】

前記制約生成部は、前記進入禁止領域を凸形状に設定する、

請求項 1 から請求項 1 5 のいずれか一項に記載の障害物回避装置。

30

【請求項 1 7】

自車の周辺に存在する障害物の位置の情報を含む障害物情報に基づき、前記障害物の移動予測を行う障害物移動予測部と、

前記移動予測の結果に基づき前記障害物を左右どちらに回避するか判断した上で、少なくとも前記自車を前記障害物に接触させないための進入禁止領域を設定することにより、前記自車の状態量または前記自車の少なくとも操舵制御のための制御入力に制約を設定する制約生成部と、

少なくとも前記自車の目標経路に対する予測経路の誤差である経路追従誤差を評価項目とし、前記経路追従誤差が小さいほど評価の度合いが良くなる評価関数を設定する評価関数設定部と、

40

前記制約のもとで前記評価関数の評価の度合いが良くなる解を演算する解演算部と、

前記解に基づき前記自車の経路を含む状態量の予測値を演算する車両状態量予測部と、を備え、

前記制約生成部は、前記自車の走行する車線の左側に位置する左側進入禁止領域と、前記自車が走行する車線の右側に位置する右側進入禁止領域とをさらに設定し、前記障害物を右に回避すると判断した場合には、前記左側進入禁止領域を前記進入禁止領域に結合することで前記進入禁止領域を拡張し、前記障害物を左に回避すると判断した場合には、前記右側進入禁止領域を前記進入禁止領域に結合することで前記進入禁止領域を拡張する、障害物回避経路生成装置。

【請求項 1 8】

50

前記制約生成部は、前記障害物が前記自車の走行する車線の中央より左に存在する場合には、前記障害物を右に回避すると判断し、前記障害物が前記自車の走行する車線の中央より右に存在する場合には、前記障害物を左に回避すると判断する、
請求項 17 に記載の障害物回避経路生成装置。

【請求項 19】

前記制約生成部は、前記障害物の右側に前記自車が走行可能な空間がある場合には、前記障害物を右に回避すると判断する、
請求項 17 に記載の障害物回避経路生成装置。

【請求項 20】

前記制約生成部は、前記障害物の左側に前記自車が走行可能な空間がある場合には、前記障害物を左に回避すると判断する、
請求項 17 に記載の障害物回避経路生成装置。

10

【請求項 21】

前記解演算部は、前記解を求める演算が前記評価関数の最小化問題を解く演算である場合、前記評価関数を予め定められた閾値よりも小さくできた解を出力し、前記解を求める演算が前記評価関数の最大化問題を解く演算である場合、前記評価関数を予め定められた閾値よりも大きくできた解を出力する、
請求項 17 から請求項 20 のいずれか一項に記載の障害物回避経路生成装置。

【請求項 22】

前記解演算部は、前記解を求める演算が前記評価関数の最小化問題を解く演算であり、予め定められた回数だけ反復計算を行っても前記評価関数が予め定められた閾値を下回るような解が得られなかった場合、それまでの反復計算で前記評価関数を最も小さくできた解を出力し、前記解を求める演算が前記評価関数の最大化問題を解く演算であり、予め定められた回数だけ反復計算を行っても前記評価関数が予め定められた閾値を上回るような解が得られなかった場合、それまでの反復計算で前記評価関数を最も大きくできた解を出力する、
請求項 17 から請求項 21 のいずれか一項に記載の障害物回避経路生成装置。

20

【請求項 23】

前記制約生成部は、前記自車が走行する車線の区画線より外側の領域を前記進入禁止領域に含ませる、
請求項 17 から請求項 22 のいずれか一項に記載の障害物回避経路生成装置。

30

【請求項 24】

前記制約生成部はさらに、前記自車の加速度、躍度、操舵速度およびヨーレートのうちの少なくとも1つの上限または下限に制約を設定する、
請求項 17 から請求項 23 のいずれか一項に記載の障害物回避経路生成装置。

【請求項 25】

前記評価関数の評価項目には、前記自車の加速度、躍度、操舵速度およびヨーレートのうちの少なくとも1つが含まれており、前記評価関数は、前記評価項目に含まれる前記自車の加速度、躍度、操舵速度およびヨーレートが零に近いほど評価の度合いが良くなる、
請求項 17 から請求項 24 のいずれか一項に記載の障害物回避経路生成装置。

40

【請求項 26】

前記制約生成部は、前記障害物が複数存在する場合に、それぞれの障害物に対応する複数の前記進入禁止領域を設定し、複数の前記進入禁止領域の全てを含む領域を最終的な進入禁止領域とする、
請求項 17 から請求項 25 のいずれか一項に記載の障害物回避経路生成装置。

【請求項 27】

前記制約生成部は、道路形状に応じて前記進入禁止領域の形状を変更する、
請求項 17 から請求項 26 のいずれか一項に記載の障害物回避経路生成装置。

【請求項 28】

前記障害物移動予測部は、前記障害物の位置、速度および方位のうちの少なくとも位置

50

に基づき、前記障害物の移動予測を行う、
請求項 17 から請求項 27 のいずれか一項に記載の障害物回避経路生成装置。

【請求項 29】

前記制約生成部は、前記進入禁止領域を凸形状に設定する、
請求項 17 から請求項 28 のいずれか一項に記載の障害物回避経路生成装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、車両の障害物回避装置および障害物回避経路生成装置に関するものである。

【背景技術】

10

【0002】

自車が走行中の道路内に存在する障害物を検出し、自車を自動操舵して障害物を回避させる障害物回避装置が種々提案されている。例えば下記の特許文献 1 に開示された障害物回避装置は、障害物の位置、道路境界、自車の予測走行軌跡、障害物回避後の自車の予測姿勢角および目標姿勢角に基づく評価関数を設定し、その評価関数の出力値が最小となる予測走行軌跡を実現するように自車を制御することによって、自車を障害物から回避させる。この評価関数は、自車から障害物までの間隔および自車から道路境界までの間隔が大きいほど、また障害物回避後の自車の予測姿勢角と目標姿勢角との差が小さいほど、出力値が小さくなるように設定される。

【先行技術文献】

20

【特許文献】

【0003】

【特許文献 1】特開 2007 - 253745 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

特許文献 1 の障害物回避装置では、自車を障害物から回避させるときの自車から障害物までの間隔（以下「回避間隔」という）を明確に指定することができない。すなわち、回避間隔は自車の予測走行軌跡に依存し、自車の予測走行軌跡は、回避間隔、自車から道路境界までの間隔、障害物回避後の自車の予測姿勢角と目標姿勢角の差、の 3 要素の評価関数に対する重みによって決定されるため、回避間隔を明確に指定できないのである。また、回避間隔を指定できないため、評価関数の設定によっては、自車が障害物と接触するような予測走行軌跡で評価関数の出力値が最小となる可能性もある。

30

【0005】

本発明は、上記のような問題点を解決するためになされたものであり、自車を障害物から回避させるときの自車から障害物までの間隔（回避間隔）を指定可能な障害物回避装置を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0006】

本発明に係る障害物回避装置は、自車の周辺に存在する障害物の位置の情報を含む障害物情報に基づき、前記障害物の移動予測を行う障害物移動予測部と、前記移動予測の結果に基づき前記障害物を左右どちらに回避するか判断した上で、少なくとも前記自車を前記障害物に接触させないための進入禁止領域を設定することにより、前記自車の状態量または前記自車の少なくとも操舵制御のための制御入力に制約を設定する制約生成部と、少なくとも前記自車の目標経路に対する予測経路の誤差である経路追従誤差を評価項目とし、前記経路追従誤差が小さいほど評価の度合いが良くなる評価関数を設定する評価関数設定部と、前記制約のもとで前記評価関数の評価の度合いが良くなる解を演算する解演算部と、前記解に基づき前記自車の状態量の予測値を演算する車両状態量予測部と、前記解および前記予測された状態量の少なくとも片方に基づき前記自車の操舵量を制御するアクチュエータの目標値を演算する目標値演算部と、を備え、前記制約生成部は、前記自車の走行

40

50

する車線の左側に位置する左側進入禁止領域と、前記自車が走行する車線の右側に位置する右側進入禁止領域とをさらに設定し、前記障害物を右に回避すると判断した場合には、前記左側進入禁止領域を前記進入禁止領域に結合することで前記進入禁止領域を拡張し、前記障害物を左に回避すると判断した場合には、前記右側進入禁止領域を前記進入禁止領域に結合することで前記進入禁止領域を拡張する。

【発明の効果】

【0007】

本発明によれば、車線維持と障害物回避のための車両制御を同一のロジックで実現でき、また、自車の進入禁止領域を設定して自車の状態変数に制約を設けることで、自車から障害物までの間隔（回避間隔）の最小値を明確に指定して障害物回避を行うことができる。また、障害物を左右どちらに回避するか事前判断することで、回避までの時間的な余裕を確保でき、回避動作が滑らかになるため、乗り心地が向上する。

10

【図面の簡単な説明】

【0008】

【図1】本発明の実施の形態1に係る障害物回避システムの構成を示すブロック図である。

【図2】本発明の実施の形態1に係る障害物回避システムのハードウェア構成例を示す図である。

【図3】本発明の実施の形態1で用いる座標系を説明するための図である。

20

【図4】本発明の実施の形態1に係る障害物回避システムの動作を示すフローチャートである。

【図5】本発明の実施の形態1における制約の生成処理のフローチャートである。

【図6】本発明の実施の形態1における進入禁止領域の設定方法を説明するための図である。

【図7】道路形状に応じて変形された進入禁止領域の例を示す図である。

【図8】無限遠方に設定される進入禁止領域の例を示す図である。

【図9】拡張された進入禁止領域の例を示す図である。

【図10】拡張された進入禁止領域の例を示す図である。

【図11】拡張された進入禁止領域の例を示す図である。

30

【図12】車両重心のY方向の上限値および下限値を説明するための図である。

【図13】本発明の実施の形態3に係る障害物回避システムが設定する進入禁止領域の例を示す図である。

【図14】本発明の実施の形態4に係る障害物回避システムが設定する上限速度の制約の例を示す図である。

【図15】本発明の実施の形態5に係る障害物回避システムの構成を示すブロック図である。

【図16】本発明の実施の形態5に係る障害物回避システムの動作を示すフローチャートである。

【発明を実施するための形態】

40

【0009】

<実施の形態1>

図1は、本発明の実施の形態1の障害物回避システムの概略構成を示すブロック図である。当該障害物回避システムは車両に搭載されており、車両制御ユニット200と、それに接続された障害物情報取得部110、車線情報取得部120、車両情報取得部130およびアクチュエータ制御部310とを備えている。

【0010】

車両制御ユニット200は、当該障害物回避システムを搭載する車両（以下「自車」という）の動作を統括的に制御する。車両制御ユニット200は、例えば、先進運転支援システム電子制御ユニット（ADAS-ECU）などである。

50

【 0 0 1 1 】

障害物情報取得部 1 1 0 は、自車の周辺に存在する障害物の位置の情報を含む障害物情報を取得する。障害物情報取得部 1 1 0 は、例えば、自車の前方の風景を撮影する前方カメラである。あるいは、障害物情報取得部 1 1 0 は、L i D A R (Light Detection and Ranging)、レーダ、ソナー、車車間通信装置、路車間通信装置などでもよい。

【 0 0 1 2 】

車線情報取得部 1 2 0 は、自車が走行する車線の情報である車線情報を取得する。車線情報には、自車が走行する車線の左右の区画線の位置と車線中央の位置の情報が含まれるものとする。車線情報取得部 1 2 0 は、例えば前方カメラである。あるいは、車線情報取得部 1 2 0 は、L i D A R による車線の検出結果と地図データとから車線情報を求めてもよいし、G N S S (Global Navigation Satellite System) センサを用いて測定した自車の位置と地図データとから車線情報を求めてもよい。

10

【 0 0 1 3 】

車両情報取得部 1 3 0 は、自車の速度、加速度、方位、角速度などの車両情報を取得する。車両情報取得部 1 3 0 は、例えば、操舵角センサ、操舵トルクセンサ、ヨーレートセンサ、速度センサ、加速度センサなどである。

【 0 0 1 4 】

アクチュエータ制御部 3 1 0 は、自車のアクチュエータが目標値を実現するように制御する。アクチュエータ制御部 3 1 0 は、例えば、電動パワーステアリング E C U (E P S - E C U)、パワートレイン E C U、ブレーキ E C U などである。

20

【 0 0 1 5 】

図 1 のように、車両制御ユニット 2 0 0 は、障害物回避装置 2 0 1 および車両状態量推定部 2 1 0 を備えている。さらに、障害物回避装置 2 0 1 は、障害物移動予測部 2 2 0 と、制約生成部 2 3 0 と、評価関数設定部 2 4 0 と、解演算部 2 5 0 と、車両状態量予測部 2 6 0 と、目標値演算部 2 7 0 とを備えている。

【 0 0 1 6 】

車両状態量推定部 2 1 0 は、車両情報取得部 1 3 0 が取得した車両情報に基づいて、自車の車両状態を推定する。障害物移動予測部 2 2 0 は、障害物情報取得部 1 1 0 が取得した障害物情報に基づいて、自車周辺の障害物の移動予測を行う。

【 0 0 1 7 】

制約生成部 2 3 0 は、障害物移動予測部 2 2 0 による障害物の移動予測の結果と、車線情報取得部 1 2 0 が取得した車線情報とに基づいて、自車が障害物を回避するときの自車の状態量または制御入力 of 制約を生成する。詳細は後述するが、制約生成部 2 3 0 が行う制約の生成には、自車を障害物に接触させないための進入禁止領域の設定が含まれる。また、制約生成部 2 3 0 は、進入禁止路を設定するのに先立って、自車が障害物を左右のどちらに回避するか (自車が障害物を回避するとき障害物の左右どちら側を通過するか) を判断し、自車の進入禁止領域はその判断結果に基づいて設定される。

30

【 0 0 1 8 】

評価関数設定部 2 4 0 は、少なくとも自車の目標経路に対する予測経路の誤差である経路追従誤差を評価する評価関数を設定する。解演算部 2 5 0 は、制約生成部 2 3 0 が生成した制約のもとで評価関数を小さくする解、すなわち制御入力の予測値を演算する。車両状態量予測部 2 6 0 は、解演算部 2 5 0 が算出した制御入力の予測値に基づいて、自車の車両状態量の予測値を演算する。

40

【 0 0 1 9 】

目標値演算部 2 7 0 は、車両状態量予測部 2 6 0 が算出した状態量の予測値と、解演算部 2 5 0 が算出した制御入力の予測値とから、アクチュエータの目標値を演算する。目標値演算部 2 7 0 が算出したアクチュエータの目標値は、アクチュエータ制御部 3 1 0 に入力され、アクチュエータ制御部 3 1 0 は、その目標値を実現するようにアクチュエータを制御する。

【 0 0 2 0 】

50

図2は、障害物回避システムのハードウェア構成例を示す図である。当該障害物回避システムを搭載する自車1は、ステアリングホイール2と、ステアリング軸3と、操舵ユニット4と、EPSモータ5と、パワートレインユニット6と、ブレーキユニット7と、前方カメラ111と、レーダセンサ112と、GNSSセンサ121と、ナビゲーション装置122と、操舵角センサ131と、操舵トルクセンサ132と、ヨーレートセンサ133と、速度センサ134と、加速度センサ135と、図1に示した車両制御ユニット200と、EPSコントローラ311と、パワートレインコントローラ312と、ブレーキコントローラ313とを備える。

【0021】

ステアリングホイール2は、ドライバが自車1を操作するための、いわゆるハンドルである。ステアリングホイール2はステアリング軸3に結合されており、ステアリング軸3には操舵ユニット4が接続されている。操舵ユニット4は、操舵輪としての前輪を回動自在に支持すると共に、車体フレームに転舵自在に支持されている。従って、ドライバのステアリングホイール2の操作によって発生した操舵トルクはステアリング軸3を回転させ、ステアリング軸3の回転に応じて操舵ユニット4が前輪を左右方向へ転舵させる。これによって、ドライバは自車1が前進または後進する際の自車1の横移動量を操作することができる。

10

【0022】

なお、ステアリング軸3はEPSモータ5によって回転させることも可能である。EPSコントローラ311は、EPSモータ5に流れる電流を制御することで、ドライバのステアリングホイール2の操作と独立して、前輪を自在に転舵させることができる。

20

【0023】

車両制御ユニット200には、前方カメラ111、レーダセンサ112、GNSSセンサ121、ナビゲーション装置122、操舵角センサ131、操舵トルクセンサ132、ヨーレートセンサ133、速度センサ134、加速度センサ135、EPSコントローラ311、パワートレインコントローラ312、ブレーキコントローラ313が接続されている。

【0024】

前方カメラ111は、車両前方の区画線が画像として検出できる位置に設置され、画像情報を基に、車線情報や障害物の位置などの自車の前方環境を検出する。ここでは、前方環境を検出する前方カメラのみを示しているが、後方や側方の環境を検出するカメラも自車1に設置されてもよい。レーダセンサ112は、レーダを照射し、その反射波を検出することで、自車1を基準にした障害物の相対距離および相対速度を出力する。レーダセンサ112としては、ミリ波レーダ、LiDAR、レーザーレンジファインダ、超音波レーダなど周知のものをを用いることができる。ここでは、図1に示した障害物情報取得部110は、前方カメラ111およびレーダセンサ112により構成されるものとする。

30

【0025】

GNSSセンサ121は測位衛星からの電波をアンテナで受信し、測位演算することによって自車1の絶対位置および絶対方位を出力する。ナビゲーション装置122は、ドライバが設定した行き先(目的地)に対する最適な走行ルートを演算する機能を有し、道路網を構成する各道路の道路情報を含む地図データを記憶している。道路情報は、道路線形を表現する地図ノードデータであり、各地図ノードデータには各ノードの絶対位置(緯度、経度、標高)、車線幅、カント角、傾斜角情報などが含まれている。ここでは、図1に示した車線情報取得部120は、GNSSセンサ121およびナビゲーション装置122により構成されるものとする。

40

【0026】

操舵角センサ131は、ステアリングホイール2の操舵角を検出する。操舵トルクセンサ132は、ステアリング軸3の操舵トルクを検出する。ヨーレートセンサ133は、自車1のヨーレートを検出する。速度センサ134は、自車1の速度を検出する。加速度センサ135は、自車1の加速度を検出する。ここでは、図1に示した車両情報取得部13

50

0 は、操舵角センサ 1 3 1、操舵トルクセンサ 1 3 2、ヨーレートセンサ 1 3 3、速度センサ 1 3 4 および加速度センサ 1 3 5 により構成されるものとする。

【 0 0 2 7 】

車両制御ユニット 2 0 0 は、マイクロプロセッサ等の集積回路であり、A / D 変換回路、D / A 変換回路、C P U (Central Processing Unit) などのプロセッサ、R O M (Read Only Memory)、R A M (Random Access Memory) などのメモリ等を備える。車両制御ユニット 2 0 0 のプロセッサは、上記の各センサから入力された情報を、R O M に格納されたプログラムに従って処理することで、自車 1 の目標操舵角、目標駆動力および目標制動力を算出する。

【 0 0 2 8 】

言い換えれば、車両制御ユニット 2 0 0 は、プロセッサにより実行されるときに、自車 1 の周辺に存在する障害物の位置の情報を含む障害物情報に基づき、障害物の移動予測を行う処理と、移動予測の結果に基づき障害物を左右どちらに回避するか判断した上で、少なくとも自車 1 を障害物に接触させないための進入禁止領域を設定することにより、自車 1 の状態量または制御入力に制約を設定する処理と、少なくとも自車 1 の目標経路に対する予測経路の誤差である経路追従誤差を評価項目とし、経路追従誤差が小さいほど評価の度合いが良くなる評価関数を設定する処理と、制約のもとで評価関数の評価の度合いが良くなる解を演算する処理と、解に基づき自車 1 の状態量の予測値を演算する処理と、解および予測された状態量の少なくとも片方に基づき自車 1 の操舵量を制御するアクチュエータの目標値を演算する処理と、が結果的に実行されることになるプログラムを格納するためのメモリを備える。換言すれば、このプログラムは、障害物回避装置 2 0 1 の構成要素の動作の手順や方法をコンピュータに実行させるものであるともいえる。

【 0 0 2 9 】

そして、車両制御ユニット 2 0 0 は、E P S コントローラ 3 1 1 に目標操舵角を送信し、パワートレインコントローラ 3 1 2 に目標駆動力を送信し、ブレーキコントローラ 3 1 3 に目標制動力を送信する。なお、車両制御ユニット 2 0 0 で加減速制御（加減速量の制御）を行わない場合は、車両制御ユニット 2 0 0 にパワートレインコントローラ 3 1 2 とブレーキコントローラ 3 1 3 が接続される必要はない。

【 0 0 3 0 】

E P S コントローラ 3 1 1 は、車両制御ユニット 2 0 0 から受信した目標操舵角を実現するように、E P S モータ 5 を制御する。パワートレインコントローラ 3 1 2 は、車両制御ユニット 2 0 0 から受信した目標駆動力を実現するように、パワートレインユニット 6 を制御する。ブレーキコントローラ 3 1 3 は、車両制御ユニット 2 0 0 から受信した目標制動力を実現するように、ブレーキユニット 7 を制御する。ここでは、図 1 に示したアクチュエータ制御部 3 1 0 は、E P S コントローラ 3 1 1、パワートレインコントローラ 3 1 2 およびブレーキコントローラ 3 1 3 により構成されるものとする。

【 0 0 3 1 】

なお、速度制御をドライバーが行う場合、パワートレインコントローラ 3 1 2 は、アクセルペダルの踏み込み量に基づいてパワートレインユニット 6 を制御し、ブレーキコントローラ 3 1 3 は、ブレーキペダル踏み込み量に基づきブレーキユニット 7 を制御する。

【 0 0 3 2 】

図 2 には、自車 1 の例として、エンジンのみを駆動力源とする車両を示したが、自車 1 は、電動モータのみを駆動力源とする電気自動車や、エンジンと電動モータの両方を駆動力源とするハイブリッド車などでもよい。

【 0 0 3 3 】

次に、実施の形態 1 に係る障害物回避システムの動作を説明する。図 3 に、実施の形態 1 に係る障害物回避システムが用いる座標系を模式的に示す。図 3 において、X 軸および Y 軸は慣性座標系を表しており、 X_c 、 Y_c は慣性座標系での自車 1 の重心位置および方位角を表している。 x 軸および y 軸は自車 1 の重心を原点とする自車座標系を表しており、自車 1 の前方に x 軸、左手方向に y 軸をとっている。本実施の形態では、制御周期

10

20

30

40

50

ごとに自車の重心位置 X_c , Y_c と方位角 θ を 0 に初期化する。すなわち、慣性座標系と自車座標系とを制御周期ごとに一致させる。この処理により、方位角 θ の変化が小さい場合に、 X 方向を自車 1 の前方向、 Y 方向を自車 1 の横方向として考えることができる。

【 0 0 3 4 】

障害物回避装置 2 0 1 の解演算部 2 5 0 は、車両のダイナミクスを数学的に表した動的車両モデルを用いて、現在の時刻 0 から一定周期 T_s の間隔で時間 T_h だけ未来までの自車 1 の挙動を予測し、自車 1 の望ましい動作を表現する評価関数を最小化する制御入力 u を求める最適化問題を一定期間ごとに解くことで、その解として、最適な目標操舵量、あるいは、最適な目標操舵量および目標加速度を算出する。このとき、予測する車両状態量の点数は、 N 点 ($N = T_h / T_s$) となる。現在の時刻から時間 T_h だけ未来までの間の時間を「ホライズン」と称す。

10

【 0 0 3 5 】

なお、最適化問題の解は、必ずしも評価関数を最小化するものでなくてもよく、評価関数による評価の度合いをある程度以上良くできるものであればよい。例えば、評価関数を予め定められた閾値よりも小さくできた入力値を解としてもよい。また、予め定められた回数だけ反復計算を行っても評価関数が閾値を下回らなかった場合に、それまでの反復計算で評価関数を最も小さくできた入力値を解としてもよい。

【 0 0 3 6 】

また、本実施の形態では最適化問題を最小化問題として扱うが、評価関数の符号を反転させることで最大化問題として扱うこともできる。その場合も、最適化問題の解は、必ずしも評価関数を最大化するものでなくてもよい。例えば、評価関数が予め定められた閾値よりも大きくできた入力値を解としてもよい。また、予め定められた回数だけ反復計算を行っても評価関数が閾値を上回らなかった場合に、それまでの反復計算で評価関数を最も大きくできた入力値を解としてもよい。

20

【 0 0 3 7 】

以下、解演算部 2 5 0 が解く最適化問題の例を示す。以下の説明において、記号「 $_$ 」はそれに続く文字に付されたアンダーバーを意味し、記号「 $\bar{_}$ 」はそれに続く文字に付されたオーバーバーを意味し、記号「 $\hat{_}$ 」はそれに続く文字に付されたハット(キャレット)を意味している。

【 0 0 3 8 】

本実施の形態では、解演算部 2 5 0 は、次に示す制約付き最適化問題を一定期間ごとに解く。

30

【 0 0 3 9 】

【数 1】

$$\min_u J \quad (\text{式101})$$

【 0 0 4 0 】

【数 2】

$$\begin{aligned} \text{s. t. } \dot{x} &= f(x, u) \\ x_0 &= x(0) \\ g(x, u) &\leq 0 \end{aligned} \quad (\text{式102})$$

40

【 0 0 4 1 】

ここで、 J は評価関数、 x は車両状態量、 u は制御入力、 f は動的車両モデルに関するベクトル値関数、 x_0 は初期値、 g は制約に関するベクトル値関数である。

【 0 0 4 2 】

本実施の形態では、車両制御ユニット 2 0 0 は操舵制御のみを行うこととし、車両状態量 x および制御入力 u を次のように設定する。

【 0 0 4 3 】

【数 3】

$$x = [X_c, Y_c, \theta, \beta, \gamma, \delta]^T \quad (\text{式103})$$

50

【 0 0 4 4 】

【数 4】

$$u = [\omega]^T$$

(式104)

【 0 0 4 5 】

ここで、 β は横滑り角、 $\dot{\theta}$ はヨーレート、 θ は舵角、 $\dot{\theta}$ は舵角速度である。このとき、制御入力 u とアクチュエータ制御部 310 の制御量とを一致させる必要はない。そのため、アクチュエータ制御部 310 の制御量に依存せずに車両状態量 x および制御入力 u を設定できる。そして、舵角ではなく舵角速度を制御入力とすることで、評価関数や制約の設定次第で舵角の変動の大きさを容易に制限でき、車両の乗り心地が向上する。

【 0 0 4 6 】

10

動的車両モデルは次に示す二輪モデルを用いる。

【 0 0 4 7 】

【数 5】

$$\dot{x} = \begin{bmatrix} V \cos(\theta + \beta) \\ V \sin(\theta + \beta) \\ \dot{\theta} \\ -\dot{\theta} + \frac{2}{MV} (Y_f + Y_r) \\ \frac{2}{I} (l_f Y_f - l_r Y_r) \\ \dot{\omega} \end{bmatrix} \quad (\text{式105})$$

20

【 0 0 4 8 】

ここで、 M は車両質量、 V は速度、 I は車両のヨー慣性モーメント、 l_f 、 l_r は車両重心から前後車軸までの距離である。 Y_f 、 Y_r は、それぞれ前輪および後輪のコーナリングフォースであり、前輪および後輪のコーナリングスティフネス C_f 、 C_r を用いて次式のように近似できる。

【 0 0 4 9 】

30

【数 6】

$$Y_f = -C_f \left(\beta + \frac{l_f}{V} \dot{\theta} - \delta \right) \quad (\text{式106})$$

【 0 0 5 0 】

【数 7】

$$Y_r = -C_r \left(\beta - \frac{l_r}{V} \dot{\theta} \right) \quad (\text{式107})$$

【 0 0 5 1 】

40

式 106 および式 107 を用いて式 105 を整理すると、動的車両モデル f は次式のようになる。

【 0 0 5 2 】

【数 8】

$$\dot{x}=f(x, u)=\begin{bmatrix} V\cos(\theta+\beta) \\ V\sin(\theta+\beta) \\ \gamma \\ -\left(1+\frac{2(C_f l_f-C_r l_r)}{MV^2}\right)\gamma-\frac{2}{MV}(C_f+C_r)\beta+\frac{2C_f}{MV}\delta \\ -\frac{2}{IV}(C_f l_f^2+C_r l_r^2)\gamma-\frac{2}{I}(C_f l_f-C_r l_r)\beta+\frac{2}{I}C_f l_f\delta \\ \omega \end{bmatrix} \quad (\text{式108})$$

10

【0053】

なお、動的車両モデルは、車両の位置を車両状態量に含むものであれば、二輪モデル以外のモデルを用いてもよい。また、モデルをコンパクトにするために、 $x = [X_c, Y_c, \theta, \beta, \gamma]^T$ 、 $u = [\delta, \omega]^T$ としてもよい。

【0054】

本実施の形態では、評価関数 J には次式を用いる。

【0055】

20

【数 9】

$$J=(h_N(x_N)-r_N)^T W_N(h_N(x_N)-r_N)+\sum_{k=0}^{N-1}(h(x_k, u_k)-r_k)^T W(h(x_k, u_k)-r_k) \quad (\text{式109})$$

【0056】

ここで、 x_k は予測点 k ($k = 0, \dots, N$) における車両状態量、 u_k は予測点 k ($k = 0, \dots, N-1$) における制御入力である。h は評価項目に関するベクトル値関数、 h_N は終端 (予測点 N) における評価項目に関するベクトル値関数であり、 r_k は予測点 k ($k = 0, \dots, N$) における目標値である。W, W_N は重み行列であり、各評価項目に対する重みを対角成分に有する対角行列であり、パラメータとして適宜変更可能である。本実施の形態では、小さな制御入力で車両が車線中央を走行するように操舵制御するものとし、評価項目に関するベクトル値関数 h, h_N を次のように設定する。

30

【0057】

【数 10】

$$h=[e_{Y,k}, \omega_k]^T \quad (\text{式110})$$

【0058】

【数 11】

$$h_N=[e_{Y,N}]^T \quad (\text{式111})$$

40

【0059】

ここで、 $e_{Y,k}$ は予測点 k ($k = 0, \dots, N$) における経路追従誤差 (自車の目標経路に対する予測経路の誤差) である。目標経路が自車座標系において関数 $y = l(x)$ で表現されているとすると、経路追従誤差 $e_{Y,k} = Y_{c,k} - l(X_{c,k})$ である。なお、目標経路は関数表現されている経路であればよく、例えば、車線中央を関数近似したものでよく、車線情報取得部 120 で生成される。そして、経路追従誤差 $e_{Y,k}$ と操舵速度 ω_k が小さくなるように、目標値 r_k, r_N を次のように設定する。

【0060】

【数 1 2】

$$r_k = [0, 0]^T \quad (k=0, \dots, N-1) \quad (\text{式112})$$

【 0 0 6 1】

【数 1 3】

$$r_N = [0]^T \quad (\text{式113})$$

【 0 0 6 2】

経路追従誤差を評価することにより、ホライズン内に障害物が存在しない場合には車線維持を行い、障害物が存在する場合には、障害物の位置を含む進入禁止領域が設定されて、障害物回避を行うことが可能となる。そのため、車線維持と障害物回避を同一の制御ロジックで実現でき、スムーズな回避が可能となる。なお、本実施の形態では、経路追従誤差と操舵速度のみを評価するように評価項目を設定したが、経路追従性や乗り心地を向上させるために、方位、ヨーレートなどを評価項目に加えてもよい。

10

【 0 0 6 3】

次に、制約に関するベクトル値関数 g について説明する。関数 g は、制約付き最適化問題において、車両状態量 x と、制御入力 u の上下限值とを設定するためのものであり、最適化は $g(x, u) = 0$ の条件のもと実行される。

【 0 0 6 4】

本実施の形態では、進入禁止領域を設定し、一定範囲内の操舵速度で障害物の回避を行うために、車両の重心位置 Y_c の上限値を $Y_c (> 0)$ 、下限値を $\underline{Y}_c (< 0)$ 、操舵速度 ω の上限値を $\omega (> 0)$ 、下限値を $\underline{\omega} (< 0)$ として、関数 g を以下のように設定する。

20

【 0 0 6 5】

【数 1 4】

$$g = \begin{bmatrix} Y_c - \bar{Y}_c \\ -Y_c + \underline{Y}_c \\ \omega - \bar{\omega} \\ -\omega + \underline{\omega} \end{bmatrix} \quad (\text{式114})$$

30

【 0 0 6 6】

ホライズン内で方位角 θ の変化が小さい場合には、 Y 方向を車両の横方向と考えることができるので、 Y_c の上下限值を設定することで、車両の横位置に制約を課すことができる。また、操舵速度 ω の上下限值を設定することで、乗り心地を確保した車両制御を行うことができる。式 1 1 4 のように、車両状態量や制御入力の取りうる範囲を連続な 1 つの区間で表現することにより、制約が単純な形状になり、演算負荷の軽減や、求解確率の向上といった効果が得られる。

【 0 0 6 7】

図 4 は、実施の形態 1 に係る障害物回避システムの動作を示すフローチャートである。以下、図 4 を参照しつつ、障害物回避装置 2 0 1 の動作を説明する。

40

【 0 0 6 8】

障害物回避装置 2 0 1 が起動すると、以下のステップ S 1 1 0, S 1 2 0, S 1 3 0 が実行される。ステップ S 1 1 0 では、障害物情報取得部 1 1 0 が、障害物の位置の情報を含む障害物情報を取得する。本実施の形態では、障害物が自車 1 から見て左前方に存在する場合には、自車座標系での障害物の右前端 P_{FR} 、右後端 P_{RR} 、左後端 P_{RL} の位置が障害物情報として取得され、障害物が自車から見て右前方に存在する場合には、自車座標系での障害物の左前端 P_{FL} 、左後端 P_{RL} 、右後端 P_{RR} の位置が障害物情報として取得されるものとする。さらに、障害物情報取得部 1 1 0 は、取得したそれらの位置情報

50

に基づいて、障害物の左前端 P_{FL} あるいは右前端 P_{FR} の位置、障害物の中心 O_{obs} の位置 x_{obs} 、 y_{obs} 、方位 θ_{obs} 、速度 V_{obs} 、長さ l_{obs} 、幅 w_{obs} を推定する。

【0069】

ステップ S120 では、車線情報取得部 120 が、自車が走行すべき車線の左右の区画線の位置および車線中央の位置の情報を含む車線情報を取得する。本実施の形態では、自車座標系で左右の区画線を 3 次の多項式で表現した際の係数が車線情報として取得されるものとする。すなわち、左の区画線に対しては、次式の $C_{l0} \sim C_{l3}$ の値が取得される。

【0070】

【数15】

$$y = C_{l3}x^3 + C_{l2}x^2 + C_{l1}x + C_{l0} \quad (\text{式115})$$

【0071】

また、右の区画線に対しては、次式の $C_{r0} \sim C_{r3}$ の値が取得される。

【0072】

【数16】

$$y = C_{r3}x^3 + C_{r2}x^2 + C_{r1}x + C_{r0} \quad (\text{式116})$$

【0073】

このとき、車線中央（目標経路）は、次式のように表現される。

【0074】

【数17】

$$y = l(x) = C_{c3}x^3 + C_{c2}x^2 + C_{c1}x + C_{c0} \quad (\text{式117})$$

【0075】

【数18】

$$C_{ci} = \frac{(C_{li} + C_{ri})}{2} \quad (i=0, \dots, 3) \quad (\text{式118})$$

【0076】

なお、区画線の情報は 3 次の多項式に限らず、いかなる関数で表現されていてもよい。また、目標経路は車線中央でなくてもよく、関数表現されている任意の経路でよい。

【0077】

ステップ S130 では、車両情報取得部 130 が、自車の操舵角、ヨーレート、速度、加速度などの車両情報を取得する。本実施の形態では、車両情報として、舵角、ヨーレート、速度 V 、加速度 a が取得されるものとする。

【0078】

次に、ステップ S210 において、車両状態量推定部 210 が自車の車両状態量 x を推定する。車両状態量の推定には、ローパスフィルタ、オブザーバ、カルマンフィルタ、粒子フィルタなど、公知の技術を用いることができる。

【0079】

また、ステップ S220 において、障害物移動予測部 220 が障害物の移動予測を行う。具体的には、障害物移動予測部 220 は、各予測点 k ($k = 1, \dots, N$) における障害物の中心位置 $x_{obs,k}$ 、 $y_{obs,k}$ を予測する。本実施の形態では、障害物の運動を等速直線運動で近似し、障害物情報取得部 110 が取得した現時刻での障害物の中心位置 $x_{obs,0}$ 、 $y_{obs,0}$ 、方位 θ_{obs} 、速度 V_{obs} を用いて、中心位置 $x_{obs,k}$ 、 $y_{obs,k}$ を次の式から予測する。

【0080】

【数19】

$$x_{obs,k} = x_{obs,0} + V_{obs} \cos(\theta_{obs}) \cdot T_s \cdot k \quad (\text{式119})$$

【0081】

【数20】

$$y_{obs,k} = y_{obs,0} + V_{obs} \sin(\theta_{obs}) \cdot T_s \cdot k \quad (\text{式120})$$

10

20

30

40

50

【0082】

障害物が複数存在する場合には、障害物移動予測部220は、各障害物に対して中心位置 $x_{obs,k}, y_{obs,k}$ の予測を行う。なお、等速直線運動の近似を用いるのではなく、二輪モデルなどの車両モデルを用いて移動予測を行ってもよい。

【0083】

次に、ステップS230において、制約生成部230が、制約(式114)を生成する。また、ステップS240において、評価関数設定部240が、評価関数(式109)を生成する。

【0084】

そして、ステップS250において、解演算部250が、評価関数(式109)と制約(式114)とを用いて、制約付き最適化問題の解を演算する。解の演算には、K.U.Leuven大学により開発された、ACADO(Automatic Control And Dynamic Optimization)や、CGMRES(Continuation/Generalized Minimum Residual)法をベースとして最適化問題を解く自動コード生成ツールであるAutoGenなど、公知の手段を用いることができる。

10

【0085】

次に、ステップS260において、車両状態量予測部260が、自車の車両状態量の予測値を演算する。ステップS250で、ACADOやAutoGenを用いた場合、各予測点 k ($k = 1, \dots, N-1$) での最適化された制御入力の時系列(最適制御入力) u^* が、解演算部250の出力となる。すなわち、解演算部250の出力は、次式で表される。

20

【0086】

【数21】

$$u^* = [u_0^{*T} \dots u_{N-1}^{*T}]^T \quad (\text{式121})$$

【0087】

この場合、ステップS260の車両状態量の予測では、 u^* と動的車両モデル f を用いて、最適化された車両状態量の時系列(最適状態量) x^* が演算される。このとき x^* は次式のように表現される。

【0088】

【数22】

$$x^* = [x_0^{*T} \dots x_N^{*T}]^T \quad (\text{式122})$$

【0089】

次に、ステップS270において、目標値演算部270が、アクチュエータの目標値を演算する。本実施の形態では、車両制御ユニット200は操舵制御のみを行うので、目標値演算部270は、次の式で表される目標操舵角 r_{ref} をアクチュエータ制御部310に送信する。

【0090】

【数23】

$$\delta_{ref} = x_1^* [6] = \delta_1^* \quad (\text{式123})$$

30

40

【0091】

ここで、 $x_k^* [i]$ は、予測点 k における最適状態量 x_k^* の i 番目の要素を意味する。なお、目標値演算部270が他の目標値をアクチュエータ制御部310へ送信する場合、最適状態量 x^* や最適制御入力 u^* から目標値を演算すればよい。例えば、目標値演算部270がアクチュエータ制御部310へ目標操舵速度 r_{ref} を送信する場合には、 $r_{ref} = u_0^* [1] = \dot{\theta}_0^*$ とすればよい。

【0092】

次に、ステップS310において、アクチュエータ制御部310が、目標値演算部27

50

0 から受信した目標値を実現するようにアクチュエータを制御する。本実施の形態では、車両制御ユニット 200 は操舵制御のみを行うので、アクチュエータ制御部 310 は、目標操舵角 r_{ef} を実現するように、EPS モータ 5 を制御する。障害物回避システムは、以上の動作を繰り返し実行する。

【0093】

ここで、図 4 のステップ S 230 で制約生成部 230 が行う制約 (式 114) の生成について説明する。図 5 は、制約の生成処理を示すフローチャートである。

【0094】

制約の処理では、まず、ステップ S 231 において、制約生成部 230 が、障害物を左右どちらに回避するかを判断する。障害物をどちらに回避するかを事前に判断することにより、回避までの時間的な余裕を確保できるため、回避動作が滑らかになり、乗り心地が向上する。この判断は、障害物の移動予測結果に基づいて行われる。

10

【0095】

例えば、自車が走行する車線における障害物の位置に基づいて、自車が障害物を左右どちらに回避するかを判断することができる。すなわち、自車が走行する車線において、障害物が車線中央よりも左に存在するときは右に回避すると判断し、障害物が車線中央よりも右に存在するときは左に回避すると判断するとよい。

【0096】

あるいは、障害物の右側に自車が走行可能な領域があれば、障害物の位置に関わらず、右に回避すると判断してもよい。例えば、障害物が自車の前を走行する他の車両 (先行車) である場合、追い越しの方向が右側と定められている地域でも、道路交通法に抵触せずに先行車を回避できる。

20

【0097】

また、障害物の左側に走行可能な領域があれば、障害物の位置に関わらず、左に回避すると判断してもよい。例えば、障害物が先行車である場合、追い越しの方向が左側と定められている地域でも、道路交通法に抵触せずに先行車を回避できる。

【0098】

続いて、制約生成部 230 は、ステップ S 232 において進入禁止領域を設定し、ステップ S 233 において進入禁止領域を拡張する。進入禁止領域の設定および拡張については後述する。

30

【0099】

その後、制約生成部 230 は、ステップ S 234 において、前回の最適制御入力 u^* を用いて、最適状態量 x^* を予測する。このとき、次の更新式により予測最適状態量 \hat{x}_{k+1}^* ($k = 0, \dots, N-1$) を演算する。

【0100】

【数 24】

$$\hat{x}_{k+1}^* = \hat{x}_k^* + f(\hat{x}_k^*, \hat{u}_k^*) \quad (\text{式124})$$

【0101】

ここで、 $\hat{x}_0^* = x_0$ である。また、 \hat{u}_k^* ($k = 0, \dots, N-1$) は、前回の最適制御入力 u_k^* ($k = 0, \dots, N-1$) を用いて次式から求められる予測最適制御入力である。

40

【0102】

【数 25】

$$\begin{aligned}
 \hat{u}_0^* &= u_1^* \\
 \hat{u}_1^* &= u_2^* \\
 &\vdots \\
 \hat{u}_{N-3}^* &= u_{N-2}^* \\
 \hat{u}_{N-2}^* &= u_{N-1}^* \\
 \hat{u}_{N-1}^* &= u_{N-1}^*
 \end{aligned}
 \tag{式125}$$

10

【0103】

次に、ステップS235において、制約生成部230は、自車の重心位置 Y_c の上限値 Y_c および下限値 \underline{Y}_c 、操舵速度の上限値 (>0) および下限値 (<0) を、それぞれ設定する。その結果、式114で表される制約が生成される。AutoGenやACADOを用いる場合、各予測点 k ($k=1, \dots, N$)の自車の重心位置 $Y_{c,k}$ の上限値 $Y_{c,k}$ および下限値 $\underline{Y}_{c,k}$ を設定可能であるため、本実施の形態では、予測点 k ($k=1, \dots, N$)ごとに自車の重心位置 $Y_{c,k}$ の上限値 $Y_{c,k}$ および下限値 $\underline{Y}_{c,k}$ を設定する。

【0104】

図6は、図5のステップS232で設定される進入禁止領域の設定方法を説明するための図である。ここでは、自車（不図示）が直線道路を走行しており、障害物情報取得部110により、先行車11が障害物として検出されたものと仮定する。先行車11は、自車の左前方で車線に対して平行に停止あるいは走行しているものとする。また、制約生成部230により、自車は先行車11を右に回避する（先行車11の右側を追い抜く）と判断されたものとする。なお、車線は直線道路でなくてもよい。

20

【0105】

まず、制約生成部230は、障害物情報取得部110で取得された先行車11の左前端 P_{FL} 、右前端 P_{FR} 、右後端 P_{RR} 、左後端 P_{RL} の位置に基づいて、図6のように、 $P_{FL}, P_{FR}, P_{RR}, P_{RL}$ を頂点とする矩形の領域を障害物領域（以下「障害物領域 $P_{FL}P_{FR}P_{RR}P_{RL}$ 」と称す）として設定する。

30

【0106】

次に、制約生成部230は、障害物領域 $P_{FL}P_{FR}P_{RR}P_{RL}$ を、車線と平行な方向に自車の長さ l_{ego} の半分だけ前と後ろ（自車から見て奥と手前）に拡張し、さらに車線と垂直な方向に自車の幅 w_{ego} の半分だけ右と左に拡張することで得られる、 $Q_{FL}, Q_{FR}, Q_{RR}, Q_{RL}$ を頂点とする矩形の領域を接触領域（以下「接触領域 $Q_{FL}Q_{FR}Q_{RR}Q_{RL}$ 」と称す）として設定する。接触領域 $Q_{FL}Q_{FR}Q_{RR}Q_{RL}$ は、自車が車線に平行に走行するときに、自車の重心が進入すると先行車11と接触してしまう領域である。

【0107】

続いて、制約生成部230は、接触領域 $Q_{FL}Q_{FR}Q_{RR}Q_{RL}$ の手前側の辺 $Q_{RL}Q_{RR}$ の中点から距離 l_R だけ手前に位置する点 R_{RC} と、接触領域 $Q_{FL}Q_{FR}Q_{RR}Q_{RL}$ の奥側の辺 $Q_{FL}Q_{FR}$ の中点から距離 l_F だけ奥に位置する点 R_{FC} と、接触領域 $Q_{FL}Q_{FR}Q_{RR}Q_{RL}$ を車線と垂直な方向に距離 l_S だけ右と左に拡張することで得られる矩形の頂点 $R_{FL}, R_{FR}, R_{RR}, R_{RL}$ とを求め、それら $R_{FL}, R_{FC}, R_{FR}, R_{RR}, R_{RC}, R_{RL}$ を頂点とする六角形の領域を進入禁止領域（以下「進入禁止領域 $R_{FL}R_{FC}R_{FR}R_{RR}R_{RC}R_{RL}$ 」と称す）として設定する。ここで、 l_R, l_F, l_S は回避間隔を規定するパラメータである。

40

【0108】

このように進入禁止領域 $R_{FL}R_{FC}R_{FR}R_{RR}R_{RC}R_{RL}$ を設定することで、回避間隔を明確に指定できる。また、 l_R, l_F, l_S の値は、適宜変更可能であり、自車

50

が走行する車線の制限速度などに応じて設定される。例えば、自車が制限速度40 km/hの車線を走行中であれば、走行速度40 km/hのときの一般的な停止距離（空走距離と制動距離との和）が20 m程度であるため、 $l_R = 20$ [m]と設定するとよい。なお、進入禁止領域の形状は六角形に限らず、いかなる形状でもよい。ただし、進入禁止領域を凸形状（ここでは凸六角形）に設定することで、最適解の求解速度の向上や求解可能性の向上を図ることができる。また、障害物が複数存在する場合には、それぞれの障害物に対して、同様に進入禁止領域を設定すればよい。また、車線の外側の領域（区画線よりも外側の領域）を進入禁止領域に加えてもよい。

【0109】

しかし、図7のように、障害物である先行車11が曲線路に存在する場合、先行車11の横に十分な回避スペースがあるにも関わらず、上記の方法で設定された進入禁止領域 $R_{FL}R_{FC}R_{FR}R_{RR}R_{RC}R_{RL}$ が車線を塞ぐおそれがある。そのため、本実施の形態では、制約生成部230は、進入禁止領域の形状を道路形状に応じて修正する。

【0110】

図7には、制約生成部230が、進入禁止領域 $R_{FL}R_{FC}R_{FR}R_{RR}R_{RC}R_{RL}$ の頂点 R_{FC} および R_{RC} を道路形状に応じてそれぞれ点 R_{FC}' および R_{RC}' に置き換えることによって修正した、進入禁止領域 $R_{FL}R_{FC}'R_{FR}R_{RR}R_{RC}'R_{RL}$ を示している。点 R_{FC}' および R_{RC}' は、進入禁止領域 $R_{FL}R_{FC}R_{FR}R_{RR}R_{RC}R_{RL}$ の頂点 R_{FC} および R_{RC} を、それぞれ自車座標系のY方向（自車1の横方向）に距離 d_{FC} および d_{RC} だけ移動した点である。

【0111】

距離 d_{FC} および d_{RC} は、制約生成部230によって次のように設定される。まず、制約生成部230は、自車座標系で $X = x_{obs}$ （障害物の中心 O_{obs} のX座標）となる位置での車線中央の接線 l_c を求める。そして、制約生成部230は、点 R_{FC} のX座標における車線中央と接線 l_c とのY方向偏差を距離 d_{FC} として設定し、点 R_{RC} のX座標における車線中央と接線 l_c とのY方向偏差を距離 d_{RC} として設定する。

【0112】

次に、図5のステップS233で行われる進入禁止領域の拡張について説明する。ここで、制約生成部230は、図8のように、自車1の左右の無限遠方にそれぞれ進入禁止領域 A_L および A_R を予め設定しているものとする。すなわち、進入禁止領域 A_L は、自車1が走行する車線の左側に位置し、 $Y > \quad$ で定義される領域である。進入禁止領域 A_R は、自車1が走行する車線の右側に位置し、 $Y < \quad$ で定義される領域である。図8のように進入禁止領域 A_L および A_R のみが設定されている状態では、実質的に制約がないのと同じである。

【0113】

制約生成部230は、障害物（先行車11）の位置に基づいて設定された進入禁止領域 $R_{FL}R_{FC}R_{FR}R_{RR}R_{RC}R_{RL}$ と、進入禁止領域 A_L および A_R のいずれか片方とを結合させることによって、進入禁止領域を拡張する。このとき、制約生成部230は、図5のステップS231で障害物を右に回避すると判断した場合には、進入禁止領域 $R_{FL}R_{FC}R_{FR}R_{RR}R_{RC}R_{RL}$ と左側の進入禁止領域 A_L とを結合し、障害物を左に回避すると判断した場合には、進入禁止領域 $R_{FL}R_{FC}R_{FR}R_{RR}R_{RC}R_{RL}$ と右側の進入禁止領域 A_R とを結合する。

【0114】

例えば図9のように、障害物である先行車11が車線の左側に存在する場合、制約生成部230は先行車11を右に回避すると判断し、進入禁止領域 $R_{FL}R_{FC}R_{FR}R_{RR}R_{RC}R_{RL}$ と左側の進入禁止領域 A_L とを結合する。制約生成部230は、その結果得られた図9の斜線部の領域を、最終的な進入禁止領域として設定する。左側の最終的な進入禁止領域を「進入禁止領域 S_L 」、右側の最終的な進入禁止領域を「進入禁止領域 S_R 」と称す。

【0115】

10

20

30

40

50

また、例えば図10のように、障害物である先行車11が車線の右側に存在する場合、制約生成部230は先行車11を左に回避すると判断し、進入禁止領域 $R_{FL}R_{FC}R_{FR}R_{RR}R_{RC}R_{RL}$ と右側の進入禁止領域 A_R とを結合する。制約生成部230は、その結果得られた図10の斜線部の領域を、最終的な進入禁止領域 S_L, S_R として設定する。

【0116】

先に述べたように、制約生成部230は、障害物が自車の走行する車線の右側にある場合でも、障害物を右に回避すると判断してもよい。その場合、制約生成部230は、図11のように自車1の走行する車線の右側に障害物(先行車11)が存在しても、進入禁止領域 $R_{FL}R_{FC}R_{FR}R_{RR}R_{RC}R_{RL}$ を左側の進入禁止領域 A_L と結合する。これにより、自車1は、走行車線の右側に存在する先行車11を、右隣の車線を使って回避することができる。

10

【0117】

なお、障害物が複数存在する場合には、制約生成部230は、各障害物に対応する進入禁止領域を進入禁止領域 A_R もしくは A_L と順に結合する。また、区画線よりも外側を進入禁止領域として規定する場合も同様に、制約生成部230は、各障害物に対応する進入禁止領域を区画線より外側の進入禁止領域と順に結合すればよい。その結果、最終的な進入禁止領域には、複数の前記進入禁止領域の全てが含まれることになる。

【0118】

次に、図5のステップS235において制約生成部230が各予測点における自車1の重心位置 $Y_{c,k}$ の上限値 $Y_{c,k}$ 、下限値 $_Y_{c,k}$ を設定する方法を、図12を用いて説明する。

20

【0119】

制約生成部230は、図5のステップS234で算出した予測最適状態量 \hat{x}_k^* ($k = 1, \dots, N$)に基づき、自車1の軌道 $(\hat{x}_k^*, \hat{y}_k^*)$ ($k = 1, \dots, N$)を予測する。そして、図12に矢印で示すように、各 \hat{x}_k^* における左側の進入禁止領域 S_L のY座標の最小値を上限値 $Y_{c,k}$ 、右側の進入禁止領域 S_R のY座標の最大値を下限値 $_Y_{c,k}$ とする。このように重心位置 $Y_{c,k}$ の制約を設定することにより、重心位置 $Y_{c,k}$ の取りうる範囲を連続な1つの区間として表現できるので、制約が単純な形状になり、演算負荷の軽減や、求解確率の向上といった効果が得られる。

30

【0120】

以上のように実施の形態1に係る障害物回避装置201によれば、車線維持のための車両制御と障害物回避のための車両制御とを同一のロジックで実現できる。また、自車の進入禁止領域を設定して自車の状態変数に制約を設けることで、自車から障害物までの間隔(回避間隔)の最小値を明確に指定して障害物回避を行うことができる。また、障害物を左右どちらに回避するか事前判断することで、回避までの時間的な余裕を確保でき、回避動作が滑らかになるため、乗り心地が向上する。さらに、障害物の位置に応じて設定された進入禁止領域を無限遠方に設定された進入禁止領域と結合することで、障害物に対応する進入禁止領域の左側方あるいは右側方の領域が最終的な進入禁止領域に含まれるようになる。それにより、進入禁止領域の形状が単純化され、演算負荷の低減や、最適解の求解確率の向上といった効果が得られる。

40

【0121】

<実施の形態2>

実施の形態1では、車両制御ユニット200は操舵制御のみを行うものとしたが、実施の形態2では、車両制御ユニット200が操舵制御と加減速制御の両方を行う場合の例を示す。実施の形態2に係る障害物回避システムの構成および基本的な動作は実施の形態1と同様である。そのため、ここでは実施の形態1と重複する説明は省略する。

【0122】

車両制御ユニット200に操舵制御と加減速制御の両方を実行させる場合、車両状態量 x および制御入力 u を次のように設定する。

50

【 0 1 2 3 】

【 数 2 6 】

$$x=[X_c, Y_c, \theta, \beta, \gamma, \delta, V, \alpha]^T \tag{式201}$$

【 0 1 2 4 】

【 数 2 7 】

$$u=[\omega, j]^T \tag{式202}$$

【 0 1 2 5 】

ここで、 γ は加速度、 j は躍度である。加速度ではなく躍度を制御入力とすることで、評価関数や制約の設定次第で加速度の変動の大きさを容易に制限できるため、乗り心地を向上させることができる。動的車両モデル f は次に示す二輪モデルを用いる。

10

【 0 1 2 6 】

【 数 2 8 】

$$\dot{x}=f(x, u)=\begin{bmatrix} V\cos(\theta+\beta) \\ V\sin(\theta+\beta) \\ \gamma \\ -\left(1+\frac{2(C_f l_f-C_r l_r)}{MV^2}\right)\gamma-\frac{2}{MV}(C_f+C_r)\beta+\frac{2C_f}{MV}\delta \\ -\frac{2}{IV}(C_f l_f^2+C_r l_r^2)\gamma-\frac{2}{I}(C_f l_f-C_r l_r)\beta+\frac{2}{I}C_f l_f\delta \\ \omega \\ \alpha \\ j \end{bmatrix} \tag{式203}$$

20

【 0 1 2 7 】

なお、モデルをコンパクトにするために、 $x=[X_c, Y_c, \theta, \beta, \gamma, \delta, V]^T$ 、 $u=[\omega, j]^T$ としてもよい。

【 0 1 2 8 】

30

本実施の形態では、小さな制御入力で速度を目標速度に追従させるために、評価項目に関するベクトル値関数 h 、 h_N を次のように設定する。

【 0 1 2 9 】

【 数 2 9 】

$$h=[e_{Y,k}, \omega_k, e_{V,k}, j_k]^T \tag{式204}$$

【 0 1 3 0 】

【 数 3 0 】

$$h_N=[e_{Y,N}, e_{V,N}]^T \tag{式205}$$

40

【 0 1 3 1 】

ここで、 $e_{V,k}$ は予測点 k ($k=0, \dots, N$) における自車の目標速度に対する予測速度の誤差である速度追従誤差である。目標速度を V_{ref} とすると、速度追従誤差 $e_{V,k}=V_k-V_{ref}$ である。なお、目標速度 V_{ref} は、例えば自車が走行する車線の制限速度であり、車線情報取得部 120 により取得される。そして、経路追従誤差 $e_{Y,k}$ 、操舵速度 ω_k 、速度追従誤差 $e_{V,k}$ および躍度 j_k が小さくなるように（零に近くなるように）、目標値 r_k, r_N を次のように設定する。

【 0 1 3 2 】

【数 3 1】

$$r_k = [0, 0, 0, 0]^T \quad (k=0, \dots, N-1) \quad (\text{式206})$$

【 0 1 3 3】

【数 3 2】

$$r_N = [0, 0]^T \quad (\text{式207})$$

【 0 1 3 4】

これにより、速度制御と車線維持と障害物回避を同一のロジックで実現でき、乗り心地が向上する。なお、本実施の形態では、経路追従誤差と操舵速度と速度追従誤差と躍度とを評価項目として設定したが、乗り心地を向上させるために、加速度などを評価項目に加えてもよい。

10

【 0 1 3 5】

本実施の形態では、一定範囲内の躍度で加減速制御を行うために、躍度 j の上限値を $j (> 0)$ 、下限値を $\underline{j} (< 0)$ として、関数 g を次のように設定する。

【 0 1 3 6】

【数 3 3】

$$g = \begin{bmatrix} Y_c - \bar{Y}_c \\ -Y_c + \underline{Y}_c \\ \omega - \bar{\omega} \\ -\omega + \underline{\omega} \\ j - \bar{j} \\ -j + \underline{j} \end{bmatrix} \quad (\text{式208})$$

20

【 0 1 3 7】

躍度 j の上下限値を設定することで、乗り心地を確保した車両制御を行うことができる。なお、乗り心地を確保するため加速度の上下限値を設定したり、制限速度を厳守するために速度の上下限値を設定したりしてもよい。

30

【 0 1 3 8】

実施の形態 2 の障害物回避装置 201 によれば、速度制御と車線維持と障害物回避とを同一のロジックで実現できるため、自車の乗り心地をさらに向上させることができる。

【 0 1 3 9】

< 実施の形態 3 >

実施の形態 3 では、自車の走行車線上に先行車が存在する場合に、障害物回避装置 201 の制約生成部 230 が、自車の前後方向の位置 X_c に制約を設定する。実施の形態 3 に係る障害物回避システムの構成および基本的な動作は実施の形態 1 または 2 と同様である。そのため、ここでは実施の形態 1, 2 と重複する説明は省略する。

40

【 0 1 4 0】

実施の形態 3 では、例えば図 13 のように自車 1 の前方に先行車 11 が存在する場合、自車 1 が先行車 11 との車間距離を $l_{f.o.1}$ 以上に維持しながら先行車 11 に追従させる。そのため、各予測点における先行車 11 の中心 $O_{o.b.s}$ の X 方向の位置 $x_{o.b.s}$ から車線に平行な方向に $l_{f.o.1}$ だけ手前に離れた位置 X_b に、追従境界 b を設定する。そして、追従境界 b より奥の領域、すなわち $X > X_b$ の領域を進入禁止領域 A_F として設定する。ここで、 $l_{f.o.1}$ は、 $l_{f.o.1} > (l_{e.g.o} + l_{o.b.s}) / 2$ の範囲で、適宜変更可能である。例えば、自車が制限速度 40 km/h の車線を走行中であれば、走行速度 40 km/h のときの一般的な停止距離が 20 m 程度であるため、 $l_{f.o.1} = (l_{e.g.o} + l_{o.b.s}) / 2 + 20 [m]$ と設定するとよい。なお、先行車 11 は停止していてもよい。

50

【 0 1 4 1 】

また、本実施の形態では、進入禁止領域 A_F に自車 1 が進入しないようにするために、自車 1 の重心位置 X_c の上限値を $X_c(0)$ として、関数 g を次のように設定する。

【 0 1 4 2 】

【 数 3 4 】

$$g = \begin{bmatrix} Y_c - \bar{Y}_c \\ -Y_c + \bar{Y}_c \\ \omega - \bar{\omega} \\ -\omega + \bar{\omega} \\ X_c - \bar{X}_c \end{bmatrix} \quad (\text{式301})$$

10

【 0 1 4 3 】

そして、各予測点における追従境界 b の位置 $X_{b,k}$ ($k = 1, \dots, N$) を用いて、上限値 $X_{c,k} = X_{b,k}$ と設定する。

【 0 1 4 4 】

実施の形態 3 の障害物回避装置 201 によれば、自車の走行車線上に先行車が存在する場合に、自車と先行車との車間距離を一定以上に維持しながら、自車を先行車に追従させることが可能となる。

20

【 0 1 4 5 】

< 実施の形態 4 >

実施の形態 4 では、自車の走行車線上に先行車が存在する場合に、障害物回避装置 201 の制約生成部 230 が、自車と先行車との車間距離に応じて上限速度の制約を設定する。実施の形態 4 に係る障害物回避システムの構成および基本的な動作は実施の形態 1、2 または 3 と同様である。そのため、ここでは実施の形態 1 ~ 3 と重複する説明は省略する。

【 0 1 4 6 】

実施の形態 4 では、上限速度の制約を設定するために、速度 V の上限値を $V(0)$ として、関数 g を以下のように設定する。

30

【 0 1 4 7 】

【 数 3 5 】

$$g = \begin{bmatrix} Y_c - \bar{Y}_c \\ -Y_c + \bar{Y}_c \\ \omega - \bar{\omega} \\ -\omega + \bar{\omega} \\ V - \bar{V} \end{bmatrix} \quad (\text{式401})$$

40

【 0 1 4 8 】

図 14 のように、自車 1 の前方に障害物としての先行車 11 が存在する場合、制約生成部 230 は、自車 1 が、先行車 11 との車間距離を $l_{f,0}$ 以上に維持しながら先行車 11 に追従するように、各予測点における自車 1 と先行車 11 との車間距離 $d_{IVD,k} = X_{obs,k} - X_{c,k}$ ($k = 1, \dots, N$) に応じて、速度の上限値 V_k を設定する。図 14 に示すグラフは、自車の X 方向の位置と速度の上限値 V_k との関係の一例を示している。

【 0 1 4 9 】

自車 1 と先行車 11 との車間距離 $d_{IVD,k}$ が十分に大きい場合、自車 1 は目標速度で走行すればよい。そのため、制約生成部 230 は、十分な車間距離として予め定められ

50

た距離 l_{dec} を閾値として用い、 $d_{IVD, k} > l_{dec}$ のときは $V_k = V_{ref}$ と設定する。

【0150】

また、自車1と先行車11との車間距離が縮まり、 $d_{IVD, k} = l_{fol}$ となった場合には、車間距離を l_{fol} 以上に維持するために、自車1は先行車11以下の速度で走行する必要がある。そのため、制約生成部230は、各予測点における先行車の速度 $V_{obs, k}$ ($k = 1, \dots, N$) を参照して、 $d_{IVD, k} = l_{fol}$ のときは $V_k = V_{obs, k}$ と設定し、 $d_{IVD, k} < l_{fol}$ のときは $V_k = V_{obs, k}$ を満たし、 V_k が連続かつ滑らかになるように設定する。

【0151】

また、 $l_{fol} < d_{IVD, k} < l_{dec}$ の場合、制約生成部230は、 $d_{IVD, k}$ が小さくなるほど V_k が連続かつ滑らかに単調減少するように設定する。これにより、車間距離 $d_{IVD, k}$ が距離 l_{dec} 以下になった時点で自車1が減速を開始し、車間距離 $d_{IVD, k} = l_{fol}$ となったときに自車1の速度と先行車11の速度とが同じになるように制御可能となる。

【0152】

実施の形態3の障害物回避装置201によれば、進入禁止領域の形状によらず、先行車との車間距離を一定以上に維持して自車を先行車に追従させることができる。また、先行車が検出されたときに自車と先行車との速度差が大きくても、自車を滑らかに先行車に追従させることができる。

【0153】

<実施の形態5>

図15は、本発明の実施の形態5に係る障害物回避システムの構成を示すブロック図である。図15において、図1に示したものと同一の機能を有する要素には、同一符号を付しており、ここではそれらの詳細な説明は省略する。

【0154】

実施の形態5の車両制御ユニット200は、障害物回避経路生成装置202と、車両状態量推定部210と、コントローラ部280とから構成されている。車両状態量推定部210は、図1に示したものと同様の機能を有する。障害物回避経路生成装置202は、図1に示した障害物回避装置201から目標値演算部270を除いた構成を有しており、自車の走行経路を生成する。コントローラ部280は、車両状態量予測部260が生成した経路に自車を追従させるように、アクチュエータの目標値を演算する。アクチュエータ制御部310は、その目標値を実現するようにアクチュエータを制御する。

【0155】

以下、実施の形態5の障害物回避システムの動作を説明する。ここでも、実施の形態1~4と重複する説明は省略する。

【0156】

本実施の形態では、障害物回避経路生成装置202の車両状態量予測部260が自車の経路の生成までを行う。経路が滑らかであれば、舵角を滑らかにする必要はない。そこで、本実施の形態では、車両状態量 x および制御入力 u を次のように設定する。

【0157】

【数36】

$$x = [X_c, Y_c, \theta, \beta, \gamma]^T \quad (式501)$$

【0158】

【数37】

$$u = [\delta]^T \quad (式502)$$

【0159】

これにより、実施の形態1の障害物回避装置201に比べ、障害物回避経路生成装置202の演算負荷を低減できる。なお、ここでは車両制御ユニット200が操舵制御のみを行うものとする。動的車両モデルとしては次に示す二輪モデルを用いる。

10

20

30

40

50

【 0 1 6 0 】

【 数 3 8 】

$$\dot{x}=f(x, u)=\begin{bmatrix} V\cos(\theta+\beta) \\ V\sin(\theta+\beta) \\ \gamma \\ -\left(1+\frac{2(C_f l_f-C_r l_r)}{MV^2}\right)\gamma-\frac{2}{MV}(C_f+C_r)\beta+\frac{2C_f}{MV}\delta \\ -\frac{2}{IV}(C_f l_f^2+C_r l_r^2)\gamma-\frac{2}{I}(C_f l_f-C_r l_r)\beta+\frac{2}{I}C_f l_f\delta \end{bmatrix} \quad (\text{式}503)$$

10

【 0 1 6 1 】

図 1 6 は、実施の形態 5 に係る障害物回避システムの動作を示すフローチャートである。図 1 6 のステップ S 2 8 0 以外は図 4 と同じである。

【 0 1 6 2 】

ステップ S 2 8 0 では、コントローラ部 2 8 0 が、最適経路 $(X_{c, k}^*, Y_{c, k}^*)$ に追従するためのアクチュエータの目標値を演算する。ここでの目標値の演算には、車線維持用の PID コントローラ、スライディングモードコントローラ、H コントローラなど、公知の技術を用いることができる。

20

【 0 1 6 3 】

実施の形態 5 に係る障害物回避経路生成装置 2 0 2 によれば、車線維持のための経路生成と障害物回避のための経路生成とを同一のロジックで実現できる。また、実施の形態 1 と同様に、自車の進入禁止領域を設定して自車の状態変数に制約を設けることで、自車から障害物までの間隔（回避間隔）の最小値を明確に指定して障害物回避を行うことができる。また、障害物を左右どちらに回避するか事前判断することで、回避までの時間的な余裕を確保でき、回避動作が滑らかになるため、乗り心地が向上する。さらに、障害物の位置に応じて設定された進入禁止領域の左側あるいは右側の領域を無限遠方に設定された進入禁止領域と結合して、最終的な進入禁止領域とすることで、進入禁止領域の形状を単純にでき、演算負荷の低減や、最適解の求解確率の向上といった効果が得られる。さらに、経路追従のためのアクチュエータの目標値の演算には個別のコントローラ（コントローラ部 2 8 0）を用いることができる。

30

【 0 1 6 4 】

なお、本発明は、その発明の範囲内において、各実施の形態を自由に組み合わせたり、各実施の形態を適宜、変形、省略したりすることが可能である。

【 符号の説明 】

【 0 1 6 5 】

1 自車、2 ステアリングホイール、3 ステアリング軸、4 操舵ユニット、5 EPS モータ、6 パワートレインユニット、7 ブレーキユニット、11 先行車、110 障害物情報取得部、111 前方カメラ、112 レーダセンサ、120 車線情報取得部、121 GNSS センサ、122 ナビゲーション装置、130 車両情報取得部、131 操舵角センサ、132 操舵トルクセンサ、133 ヨーレートセンサ、134 速度センサ、135 加速度センサ、200 車両制御ユニット、201 障害物回避装置、202 障害物回避経路生成装置、210 車両状態量推定部、220 障害物移動予測部、230 制約生成部、240 評価関数設定部、250 解演算部、260 車両状態量予測部、270 目標値演算部、280 コントローラ部、310 アクチュエータ制御部、311 EPS コントローラ、312 パワートレインコントローラ、313 ブレーキコントローラ。

40

【 要約 】

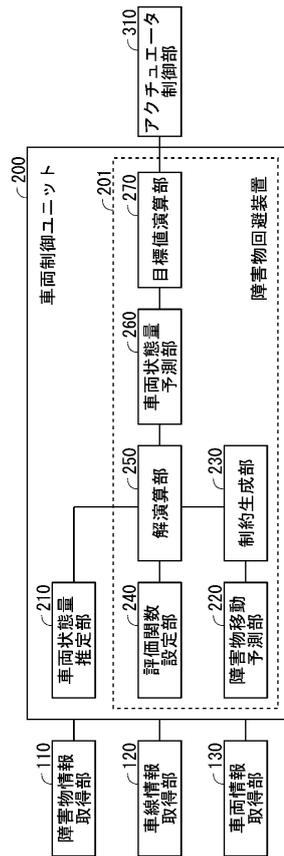
50

【課題】自車を障害物から回避させるときの自車から障害物までの間隔を指定可能な障害物回避装置を提供する。

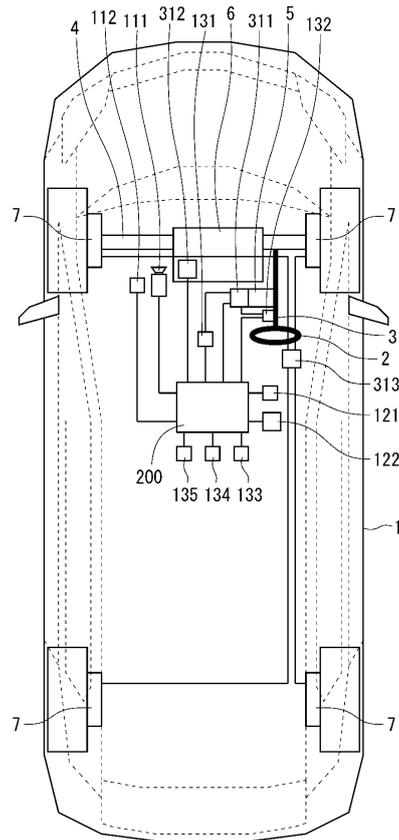
【解決手段】障害物回避装置201は、障害物の移動予測を行う障害物移動予測部220と、障害物を左右どちらに回避するか判断した上で、自車を障害物に接触させないための進入禁止領域を設定することにより、自車の状態量または制御入力に制約を設定する制約生成部230とを備える。制約生成部230は、障害物を右に回避すると判断した場合には、障害物の左側方の領域を進入禁止領域に含ませ、障害物を左に回避すると判断した場合には、障害物の右側方の領域を進入禁止領域に含ませる。

【選択図】図1

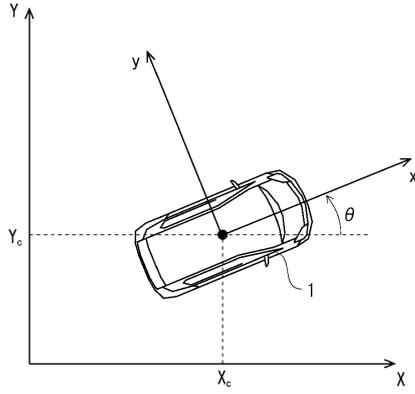
【図1】



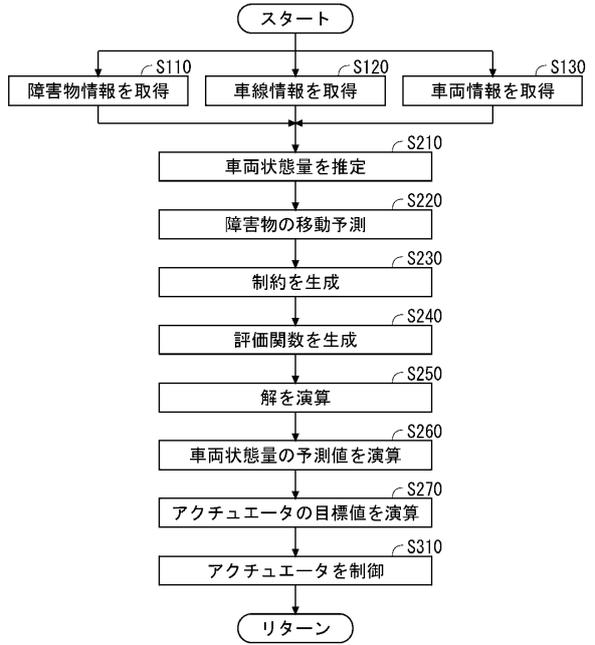
【図2】



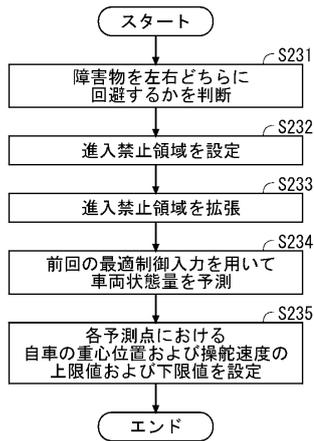
【図3】



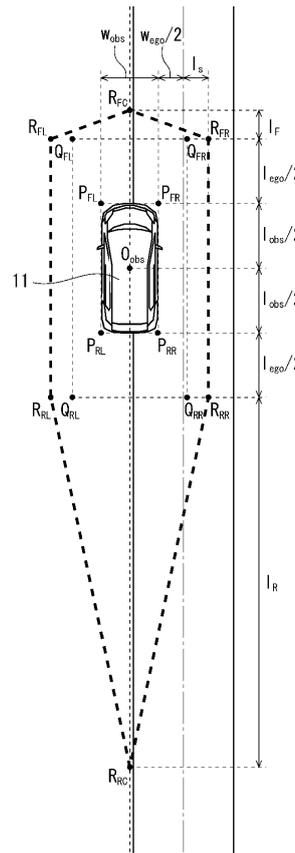
【図4】



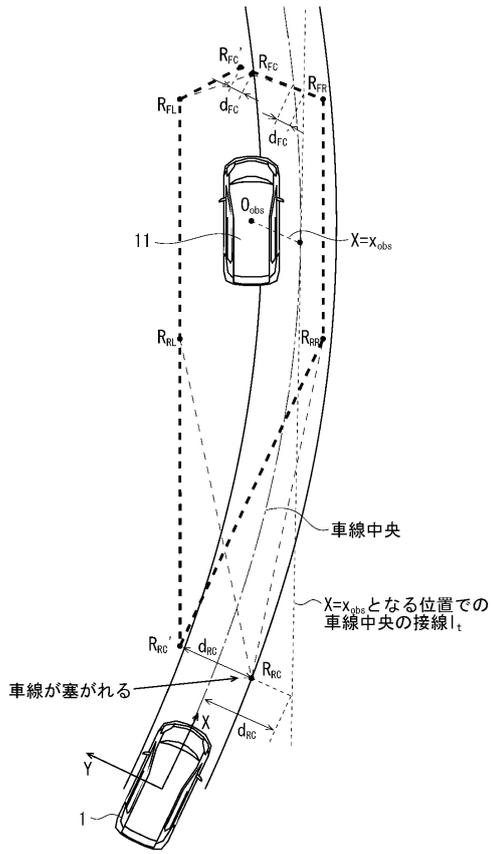
【図5】



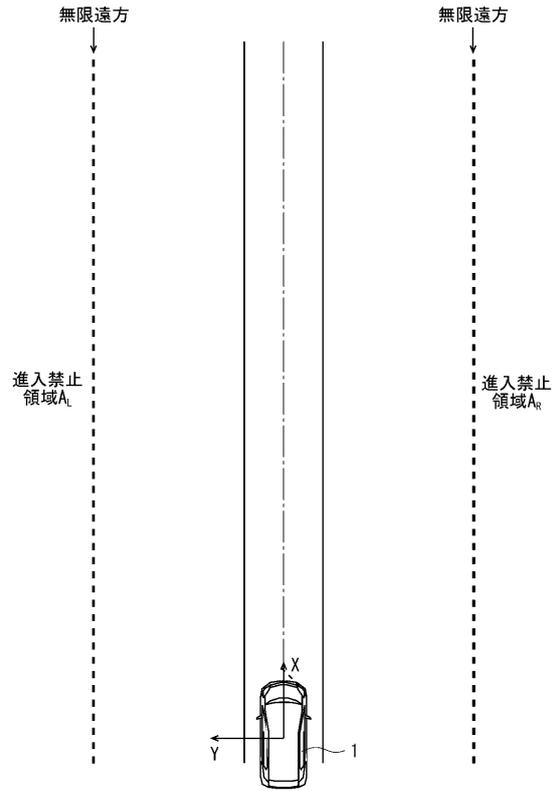
【図6】



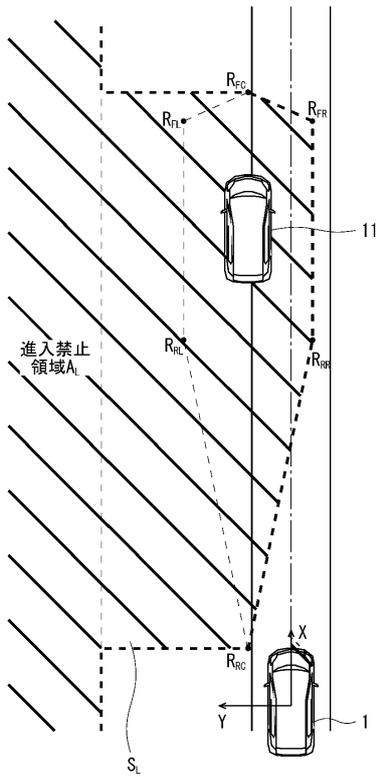
【図7】



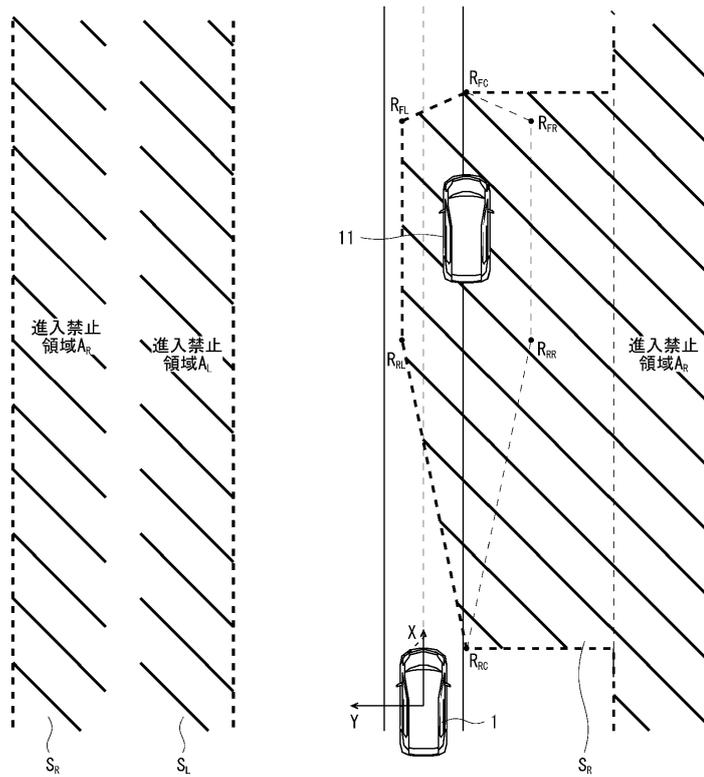
【図8】



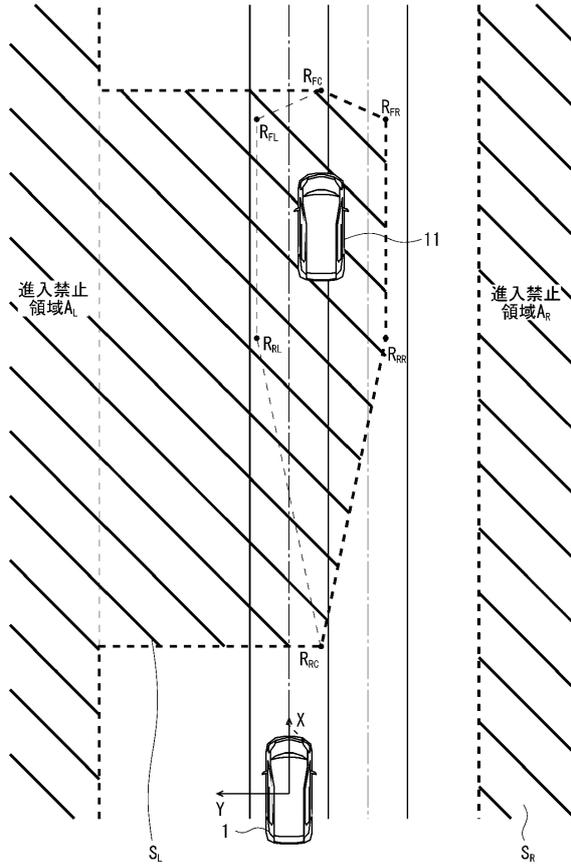
【図9】



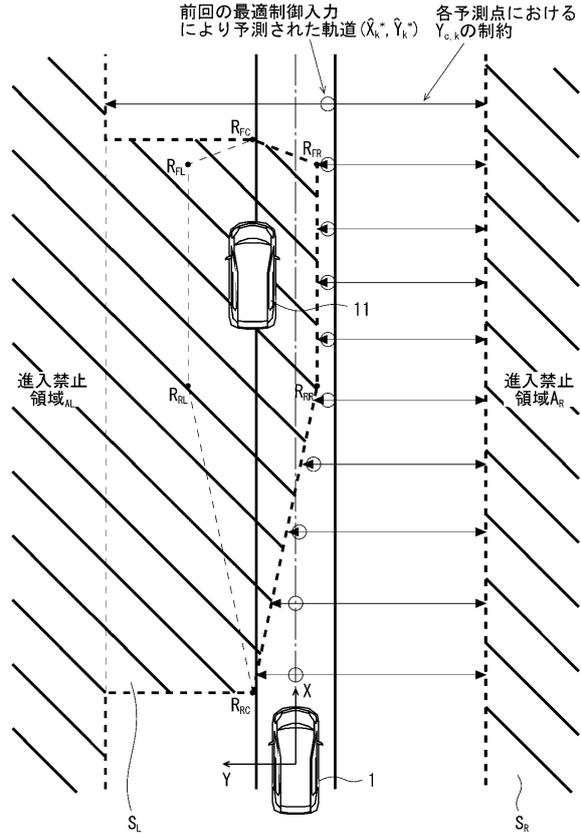
【図10】



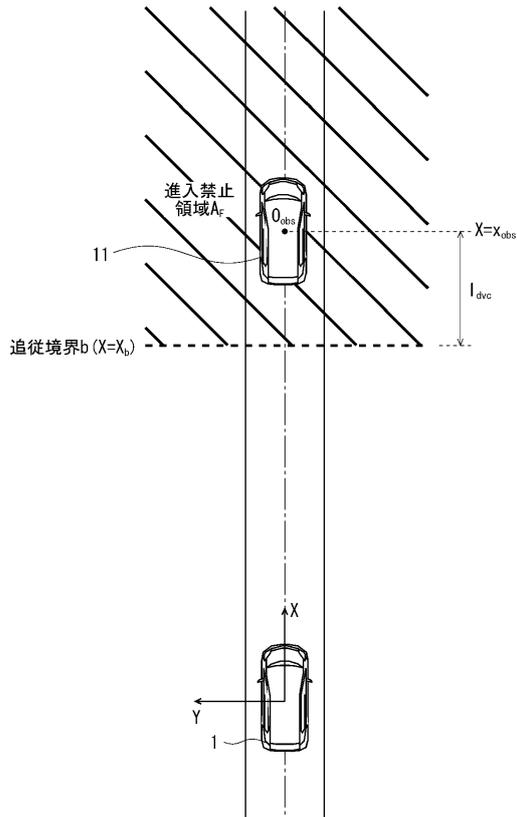
【図11】



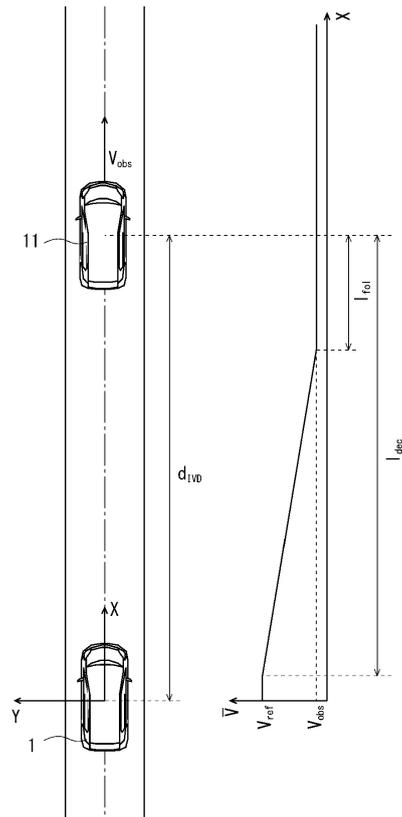
【図12】



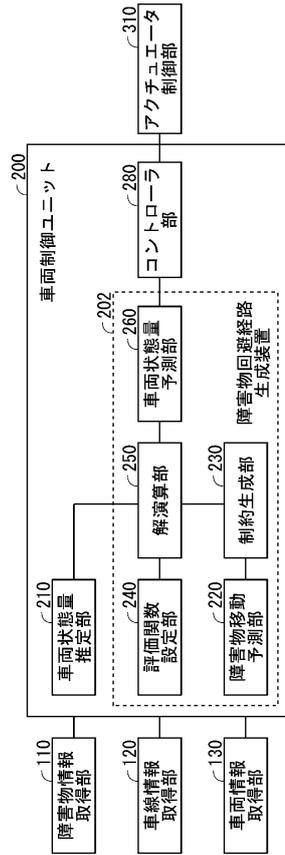
【図13】



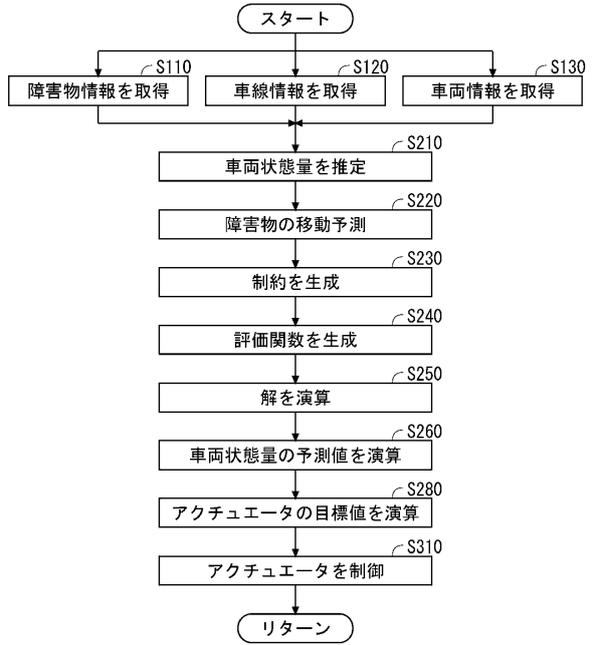
【図14】



【図15】



【図16】



フロントページの続き

- (72)発明者 亀岡 翔太
東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三菱電機株式会社内
- (72)発明者 遠藤 雅也
東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三菱電機株式会社内

審査官 上尾 敬彦

- (56)参考文献 特開2007-253745(JP,A)
特開2018-065521(JP,A)
国際公開第2016/024318(WO,A1)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
- | | |
|------|------------------------------|
| B60W | 10/00 - 10/30, 30/00 - 50/16 |
| G08G | 1/00 - 1/16 |