(19)日本国特許庁(JP)　(12)公表特許公報(A)　(11)特許出願公表番号
特表2021-526478
(P2021-526478A)
(43)公表日　令和3年10月7日(2021.10.7)

(51)Int.Cl.		F I		テーマコード（参考）
B60W 30/10	(2006.01)	B60W	30/10	3D241
B60W 60/00	(2020.01)	B60W	60/00	5H181
B60W 40/04	(2006.01)	B60W	40/04	
B60W 30/09	(2012.01)	B60W	30/09	
G08G 1/16	(2006.01)	G08G	1/16 C	

審査請求 有　予備審査請求 未請求　（全 55 頁）

(21)出願番号　特願2020-569217 (P2020-569217)
(86)(22)出願日　平成30年12月5日 (2018.12.5)
(85)翻訳文提出日　令和2年12月11日 (2020.12.11)
(86)国際出願番号　PCT/JP2018/045582
(87)国際公開番号　WO2020/003556
(87)国際公開日　令和2年1月2日 (2020.1.2)
(31)優先権主張番号　62/689,718
(32)優先日　平成30年6月25日 (2018.6.25)
(33)優先権主張国・地域又は機関
米国 (US)
(31)優先権主張番号　16/027,467
(32)優先日　平成30年7月5日 (2018.7.5)
(33)優先権主張国・地域又は機関
米国 (US)

(71)出願人　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
(74)代理人　100110423
弁理士　曾我　道治
(74)代理人　100111648
弁理士　梶並　順
(74)代理人　100122437
弁理士　大宅　一宏
(74)代理人　100147566
弁理士　上田　俊一
(74)代理人　100161171
弁理士　吉田　潤一郎

最終頁に続く

(54)【発明の名称】車両の制御システム、車両を制御する方法、及び非一時的コンピュータ可読メモリ

(57)【要約】
予測ホライズンの走行ルートから特定の目標、追加の特定の目標及び任意選択の目標を含む中間目標系列を生成することによって車両が制御される。中間目標（ＩＧ）が交通状況及び車両の運動能力を満たすことによって達成されることによって、車両の第１の運動モデル及び交通参加者の第１の運動モデルを用いて各ＩＧの実現可能性が検査される。ＩＧを達成した後、特定の目標及び追加の特定の目標の次の目標も達成することができる。車両の第２の運動モデル及び交通参加者の第２の運動モデルを用いて、実現可能な各ＩＧの軌道が計算され、コスト関数によって求められた数値に従って計算された各軌道が比較され、車両の運動並びに道路及び交通参加者との車両の相互作用に対する制約が満たされたことが判断される。

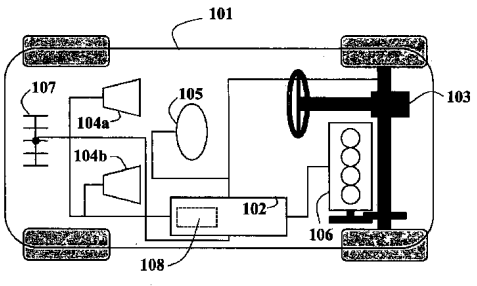


FIG. 1

【特許請求の範囲】
【請求項１】
車両の制御システムであって、
地図データ及び車両データを含むデータを記憶するメモリと、
ハードウェアプロセッサであって、
前記地図データ及び前記車両データを用いて、予測ホライズンごとに道路形状、及び方位の系列によって形成される走行ルートから中間目標の系列である中間目標系列（ＳＩＧ）を生成することであって、前記ＳＩＧは、最終目的地に到達するために特定の交差点における目標方位を含んだ特定の目標と、交通規則に従った車両動作制約を含む追加の特定の目標と、任意選択の目標とを含むことと、
前記予測ホライズンの開始時における車両状態及び交通状況に基づいて、車両の第１の運動モデル及び交通参加者の第１の運動モデルを用いて各中間目標の実現可能性を検査するとともに、前記中間目標が、前記交通状況及び前記車両の運動能力を満たすことによって達成されることと、前記中間目標を達成した後、前記特定の目標の中の次の特定の目標及び前記追加の特定の目標も達成することができることとを検査することと、
車両の第２の運動モデル及び交通参加者の第２の運動モデルを用いて実現可能な中間目標の各軌道を計算し、コスト関数によって求められた数値に従って計算された軌道のそれぞれを比較し、前記車両の運動並びに道路及び交通参加者との前記車両の相互作用に対する制約が満たされたと判断することと、
を行うように構成された、ハードウェアプロセッサと、
前記車両の運動が前記計算された軌道に近い軌道を生成するように、前記車両の少なくとも１つのアクチュエータへの制御入力を計算する車両コントローラと、
前記車両の前記少なくとも１つのアクチュエータへの制御入力を実行して、前記車両の運動を変更する少なくとも１つのアクチュエータコントローラと、
を備える、制御システム。
【請求項２】
前記車両状態は、車両位置、前記車両の速度及び前記車両の進行方向を含み、前記地図データは、住所、道路網、交差点、一時停止標識位置、交通信号機位置、交通車線の数及び位置並びに制限速度のような情報を含む、請求項１に記載の制御システム。
【請求項３】
前記車両状態の集合によって構成される目標集合は目標に関連付けられ、前記目標を達成する実現可能性が、前記車両の第１の運動モデルに従った前記目標集合の後方可到達集合の系列及び前記車両の第１の運動モデルにおける不確実性集合を計算することと、現在の車両状態が前記後方可到達集合の系列のうちのいずれかに含まれるか否かを検査することとに基づくようになっている、請求項２に記載の制御システム。
【請求項４】
前記不確実性集合は、前記車両の第１の運動モデルに基づいて決定され、前記車両の第１の運動モデルに従った前記車両状態が、前記車両の第１の運動モデル及び前記不確実性集合に従って計算された前記目標集合の後方可到達集合に含まれる場合には、前記目標集合における車両状態は、前記車両の第２の運動モデルに従って達成することができるようになっている、請求項３に記載の制御システム。
【請求項５】
前記後方可到達集合の系列における前記後方可到達集合は、前記系列における第１の後方可到達集合を前記目標の前記目標集合となるように初期化することと、前記不確実性集合内の不確実性のあらゆる値について前記車両の第１の運動モデルに従って１つの時間間隔において前記系列における以前の後方可到達集合に持って行くことができる状態の集合を決定することによって前記系列における前記以前の後方可到達集合から前記系列における次の後方可到達集合を構築することとによって反復的に計算される、請求項３に記載の制御システム。
【請求項６】

前記次の特定の目標を完了することが実現可能であることの検査は、現在の中間目標から開始して前記次の特定の目標で終了する中間目標系列が存在することを検証することに基づいており、各次の特定の目標は、予測ホライズンによって決定される時間内で前記中間目標系列における以前の特定の目標の目標集合において任意の車両状態から達成することができる、請求項１に記載の制御システム。

【請求項７】

前記中間目標系列の完了は、前記系列における連続した中間目標の任意の対について、前記対における第１の中間目標の中間目標車両状態と前記対における第２の中間目標の後方可到達集合との交差集合に含まれる前記車両の第１の運動モデルの少なくとも１つの車両状態が存在することと、前記車両状態が前記第１の中間目標を含む前記中間目標系列に含まれることとを検証することによって判断される、請求項６に記載の制御システム。

【請求項８】

前記中間目標が前記交通状況を満たすことの実現可能性を検査することは、前記車両の第１の運動モデル及び前記交通参加者の第１の運動モデルによる衝突が回避されると判断することに基づいている、請求項１に記載の制御システム。

【請求項９】

前記衝突が回避されると判断することは、コスト関数と、前記車両の第１の運動モデルに関連した制約と、前記次の目標を完了させることに関連した制約と、現時点における衝突を回避することに関連した制約と、将来の時点における衝突を回避することに関連した制約とを含む最適化問題を解くことに基づいている、請求項８に記載の制御システム。

【請求項１０】

前記現時点における衝突を回避することに関連した制約は、衝突集合に属する前記車両の状態及び交通参加者の状態に基づいて決定され、前記衝突集合は、前記車両の第１の運動モデルの状態及び前記交通参加者の第１の運動モデルの状態を含むようになっており、前記車両の第１の運動モデルの位置と前記交通参加者の第１の運動モデルの位置との間の距離は、最小安全マージンよりも小さい、請求項９に記載の制御システム。

【請求項１１】

前記将来の時点における衝突を回避することに関連した制約は、集合系列内の各集合が、衝突が将来における特定の時間間隔において発生するか否かを判断するような前記集合系列を生成する前方再帰によって、前記車両の第１の運動モデルと、不確実性と、前記交通参加者の第１の運動モデルとに従って構築された不良集合系列の補集合によって決定される、請求項９に記載の制御システム。

【請求項１２】

前記前方再帰は、前記車両の第１の運動モデル及び前記交通参加者の第１の運動モデルに従って将来における次の時間間隔において前記衝突を回避する前記車両へのコマンドが存在しない状態の集合から開始し、前記車両へのコマンドが存在しない状態の集合を検証することによって進み、以前の反復において計算された集合に入ることを回避する、請求項１１に記載の制御システム。

【請求項１３】

前記最適化問題は、

最も急なカーブの集合と、前記車両の運動の少なくとも１つのパラメータとに従って生成された進行方向角度のプロファイルを考慮した前記車両の第１の運動モデルを近似することと、

前記次の目標を完了することができることに関連した制約を、最小の車両加速度及び最大の車両加速度、ブレーキング、並びにステアリングに従って計算される一組の線形不等式として近似することと、

前記将来の衝突を回避するという制約を、前記最小の車両加速度及び前記最大の車両加速度並びにブレーキングに従って計算される一組の線形不等式として近似することと、

前記現時点における衝突を回避するという制約を、交通参加者と重なり合わない状態の広いチューブ形状の領域に基づいて、線形コスト関数を定義することによって計算される

一組の線形不等式として近似することと、
によって、線形計画法によって近似される、請求項９に記載の制御システム。
【請求項１４】
計算された前記実現可能な中間目標は、衝突の危険から離れる確率と、前記車両の第２の運動モデルに対する制約を満たす確率と、少なくとも１つの車両との衝突を防止する最後の予測ホライズン中に選択された前記計算された実現可能な中間目標と整合する確率と、前記少なくとも１つの車両との前記衝突を防止する前記最後の予測ホライズン中に計算された軌道と整合する確率との組み合わせに従ってランク付けされる、請求項１に記載の制御システム。
【請求項１５】
計算された前記実現可能な中間目標を選択することは、前記計算された実現可能な中間目標の集合をそれらの確率に従って生成するために、前記計算された実現可能な中間目標のランク付けに従って確率を割り当てることに基づいている、請求項１４に記載の制御システム。
【請求項１６】
計算された以前の前記実現可能な中間目標との整合は、異なる以前の予測ホライズン中の同様の計算された前記実現可能な中間目標を用いることの優先度に基づいて判断される、請求項１４に記載の制御システム。
【請求項１７】
前記車両の第２の運動モデルに対する制約は、車線からの最大のずれに関する範囲と、前記車両の最大の許容されたステアリング角度に関する範囲と、好ましい速度プロファイルからの最大の許容されたずれに関する範囲とを含む、請求項１４に記載の制御システム。
【請求項１８】
前記計算された実現可能な中間目標と前記最後の予測ホライズン中に決定された軌道との整合性は、前記計算された実現可能な中間目標に到達するために必要とされる制御入力の変化の量を測定するスコアリング関数に基づいており、前記スコアリング関数を最小にする前記計算された実現可能な中間目標の集合からの前記計算された実現可能な中間目標は、前記制御入力として決定される、請求項１４に記載の制御システム。
【請求項１９】
前記軌道の性能の評価値は、道路の中央からの前記車両の位置のずれと、前記車両の所望の速度プロファイルからのずれと、道路上の障害物までの最小距離からのずれと、前記車両の快適性レベルのずれとの組み合わせのうちの１つを含み、前記快適性レベルは、前記車両の所望の横加速度と、所望のステアリングレートと、所望の縦加速度とから決定されるようになっている、請求項１に記載の制御システム。
【請求項２０】
各前記実現可能な中間目標について前記軌道を計算することは、
前記車両の初期状態を決定し、前記初期状態を前記車両の第２の運動モデルに提供することと、
不確実性を有する前記車両の第２の運動モデルと、前記交通参加者の第２の運動モデルとを用いて、前記車両の第２の運動モデルに対する制約を満たし、計算された実現可能な中間目標に到達する前記車両の第２の運動モデルへの入力の集合及び前記車両の対応する状態推移の集合を決定することと、
前記軌道の性能の評価値を求めることであって、計算された軌道は、前記制御入力を決定する際に前記性能の評価値に関して比較されるようになっていることと、
を含む、請求項１に記載の制御システム。
【請求項２１】
車両を制御する方法であって、
メモリに記憶された地図データ及び車両データを用いて、予測ホライズンごとに道路形状、及び方位の系列によって形成される走行ルートから中間目標の系列である中間目標系

列（ＳＩＧ）を生成することであって、前記ＳＩＧは、特定の目標と、追加の特定の目標と、任意選択の目標とを含むことと、
前記中間目標が、交通状況及び前記車両の運動能力を満たすことによって達成されると判断し、前記中間目標を達成した後、前記特定の目標の中の次の目標及び前記追加の特定の目標も達成することができると判断するとともに、車両の第１の運動モデル及び交通参加者の第１の運動モデルを用いて各中間目標の実現可能性を検査することと、
車両の第２の運動モデル及び交通参加者の第２の運動モデルを用いて各実現可能な中間目標の軌道を計算し、コスト関数によって求められた数値に従って計算された各軌道を比較し、前記車両の運動並びに道路及び交通参加者との前記車両の相互作用に対する制約が満たされたと判断することと、
前記車両の運動が前記計算された軌道に近い軌道を生成するように、前記車両の少なくとも１つのアクチュエータへの制御入力を、車両コントローラを介して計算することと、
少なくとも１つのアクチュエータコントローラを介して前記車両の前記運動を変更して、前記車両の前記少なくとも１つのアクチュエータへの前記制御入力を実行することと、
を含み、前記方法のステップは、前記車両のプロセッサを用いて実施される、方法。
【請求項２２】
各中間目標の前記実現可能性を検査することは、前記予測ホライズンの開始時における車両状態及び前記交通状況に基づいており、前記特定の目標は、最終目的地に到達するために特定的である交差点における特定の方位を含み、前記追加の特定の目標は、交通規則に従った車両動作制約を含み、前記任意選択の目標は、前記特定の目標又は前記追加の特定の目標のいずれにも違反することのない前記車両の車線変更を含む、請求項２１に記載の方法。
【請求項２３】
方法を実行するプロセッサによって実行可能なプログラムが具現化される非一時的コンピュータ可読メモリであって、前記方法は、
入力インターフェースから受信された地図データ及び車両データを用いて、予測ホライズンごとに道路形状、及び方位の系列によって形成される走行ルートから中間目標の系列である中間目標系列（ＳＩＧ）を生成することであって、前記ＳＩＧは、特定の目標と、追加の特定の目標と、任意選択の目標とを含むことと、
前記中間目標が、交通状況及び車両の運動能力を満たすことによって達成されると判断し、前記中間目標を達成した後、前記特定の目標の中の次の目標及び前記追加の特定の目標も達成することができると判断するとともに、車両の第１の運動モデル及び交通参加者の第１の運動モデルを用いて各中間目標の実現可能性を検査することと、
車両の第２の運動モデル及び交通参加者の第２の運動モデルを用いて各実現可能な中間目標の軌道を計算し、コスト関数によって求められた数値に従って計算された各軌道を比較し、前記車両の運動並びに道路及び前記交通参加者との前記車両の相互作用に対する制約が満たされたと判断することと、
前記車両の運動が計算された軌道に近い軌道を生成するように、前記車両の少なくとも１つのアクチュエータへの制御入力を、車両コントローラを介して計算することと、
少なくとも１つのアクチュエータコントローラを介して前記車両の運動を変更して、前記車両の前記少なくとも１つのアクチュエータへの前記制御入力を実行することと、
を含み、前記方法のステップは、前記車両のプロセッサを用いて実施される、非一時的コンピュータ可読メモリ。
【請求項２４】
各中間目標の前記実現可能性を前記検査することは、前記予測ホライズンの開始時における車両状態及び前記交通状況に基づいており、前記特定の目標は、最終目的地に到達するために特定的である交差点における特定の方位を含み、前記追加の特定の目標は、交通規則に従った車両動作制約を含み、前記任意選択の目標は、前記特定の目標又は前記追加の特定の目標のいずれにも違反することのない前記車両の車線変更を含む、請求項２３に記載の非一時的コンピュータ可読メモリ。

【発明の詳細な説明】
【技術分野】
【０００１】
本開示は、包括的には、自律運転及び先進運転支援システムに関し、より詳細には、車両、自転車、及び歩行者の挙動を考慮して意思決定系列を判断すること及び車両の運動を制御することに関する。
【背景技術】
【０００２】
従来の自律運転車両は、その走行目的を達成するために、法律上の交通規則及び周辺の交通状況を考慮して、車両が道路上をどのように走行すべきかを判断する制御システムを用いる必要がある。従来の制御システムは、センサによって取得され、認識アルゴリズム及びマッピングアルゴリズムによって処理されたデータに基づいて環境を分析し、目標となる経路及び速度を計算する。さらに、車両のアクチュエータを用いて、その経路に沿って走行するように車両を制御することで、車両運動を制御する。そのような複雑な動作を実現するため、従来の制御システムは、経路計画及び車両制御を有している。例えば、特許文献１では、車両が所望の走行目的を達成することを保証するために、車両制御及び経路計画をどのように統合することができるのかを論述している。
【０００３】
例えば、自律車両の従来の経路計画は、車両が走行すべき経路の決定を行う経路計画によって実現することができる。経路計画には、幾つかの手法が提案されている。これらについては、例えば、特許文献２を参照されたい。これらの従来の経路計画は、現在の車両情報、現在の環境情報、及び車両運動の目標を知ることが必要である。リアルタイムで動作する必要があるため、従来の経路計画の計画可能な範囲は、初期の位置から最終目的地に至るまでの走行全体での計画ではなく、或る特定の部分の計画しか立てることができない。
【先行技術文献】
【特許文献】
【０００４】
【特許文献１】米国特許第９，９１５，９４８号
【特許文献２】米国特許第９，５６８，９１５号
【発明の概要】
【発明が解決しようとする課題】
【０００５】
したがって、交通規則及び交通状況に基づいて、経路計画によって計画された車両運動によって各中間目標を達成できることが必要となる。さらに、中間目標を時間順に並べた一連の中間目標系列を達成することによって、全体の走行目的を確実に達成する、自律車両の経路計画の目標を決定するシステム及び方法が必要とされている。
【課題を解決するための手段】
【０００６】
本開示の幾つかの実施の形態は、自律車両が最終目的地に向かって運動しながら実行することができる意思決定の有限集合が存在するという認識に基づいている。例えば、都市部の運転において、意思決定の集合は、車線に留まるのか又は車線を変更するのか、速度を維持するのか又は加速するのか、及び交差点で他の車両に道を譲るのか否か等のほとんどの運転作業を含む。したがって、少なくとも１つの理解は、車両が行うことができる意思決定の有限集合が存在するが、同じ意思決定をもたらす無限の数の軌道も存在するということである。他の車両との衝突を防止する意思決定と整合させるために、ある軌道を選択することが可能であるか否かも判断しながら、車両が選択することができる全ての軌道を求めて、車線変更等の或る特定の意思決定を得ることは、困難な作業であり、計算上高負荷である。
【０００７】

本開示の幾つかの実施の形態は、或る特定の意思決定を行うべきか否かを判断することは、その意思決定が車両の安全な軌道をもたらすか否かに依存するという理解に基づいている。しかしながら、そのような軌道を明確に求めることは、計算上高負荷であるため、リアルタイムで実施することは困難である。その結果、幾つかの実施の形態は、或る特定の意思決定が車両の安全な軌道をもたらすか否かを判断することが、その意思決定が関連している所望の状態に到達するために車両が選択することができる状態を判断することと整合しているとの理解に基づいている。例えば、車線変更の意思決定によって、車両は、最終的には所望の車線に、場合によっては所望の時刻に存在することになる。幾つかの実施の形態では、車両の現在の位置から他の車線におけるある位置に到達することができるか否かに応じて、車線を変更するか否かを判断する。

【０００８】

他の実施の形態は、車線変更等の意思決定と整合する車両の状態が、車両の現在の位置から到達することが可能であるか否かを判断することが十分に行えないことを理解している。その代わりに、自動車、歩行者、及び自転車等の他の障害物が、車両の可能な軌道の集合と交差する危険を有するか否かを判断することが必要である。

【０００９】

このため、１つの実施の形態では、車両の意思決定と整合する集合に到達することができる車両の初期状態の集合を求める。ここで、車両の状態は、車両の位置、車両の速度、及び車両のヨーレートのうちの少なくとも１つを含む。そのようにすると、意思決定を安全に実行することが可能であるか否かを判断することが可能である。

【００１０】

本開示の幾つかの実施の形態は、メモリに記憶された地図データ、及び車両データを用いて予測ホライズンの道路形状、及び方位の系列によって形成される走行ルートから中間目標系列を生成することによって、車両を制御することを含む。地図データは、住所、道路網、交差点、一時停止標識の位置、交通信号機の位置、交通車線の数及び位置並びに制限速度等の地図データを含むことができる。車両データは、最大加速度、ステアリング、及びステアリングレート等の車両の挙動のパラメータを含むことができる。中間目標系列は、特定の目標、追加の特定の目標及び任意選択の目標等の種々のタイプの中間目標を含むことができる。特定の目標には、最終目的地に到達するために特定の交差点における目標方位を含めることができる。追加の特定の目標には、交通規則に従った車両動作の制約を含めることができる。例えば、追加の特定の目標は、車両が停止線で停止するために減速すること、車両が停止線で停止して留まること、及び車両が特定の交差点において、最終目的地に到達するために、特定の交差点において選択するべき方位に基づいて特定の車線に留まることを含めることができる。任意に選択できる目標には、車両が特定の目標又は追加の特定の目標のいずれにも違反することなく、車線変更することを含めることができる。目標の数は、場合によっては多くなるが有限である。そのため、各目標又は目標のあるサブセットにおける動作は、有限の数のステップで完了できることは注目に値する。異なるタイプの中間目標の名称は、限定されるものではないが、強制的目標（mandatory goals）、識別可能目標又は特殊目標（すなわち、特定の目標）、追加の強制的目標、追加識別可能目標又は追加の特殊目標（すなわち、追加の特定の目標）等の別の用語／語句を用いて参照することができる。

【００１１】

さらに、本開示は、中間目標が交通状況及び車両の運動能力を満たすと判断し、中間目標が特定の目標及び追加の特定の目標の中で次の目標を完了することもできると判断するとともに、車両の第１の運動モデル及び交通参加者の第１の運動モデルを用いて系列内の各中間目標の実現可能性を検査することを含む。

【００１２】

そのため、本開示の幾つかの実施の形態は、例えば、モジュールを用いて系列内の各中間目標の実現可能性の検査を実施する車両の制御システムを含むことができる。モジュールは、本開示の幾つかの実施の形態のステップを実施するのに用いることができるが、モ

ジュールは必ずしも必要とされない。例えば、メモリに記憶されたモジュールを用いる代わりに、プロセッサは、モジュールを用いることなく、ステップを実施することができる。非限定な例として、コントローラ又はプロセッサは、ルーティングモジュール、意思決定モジュール及び計画制御モジュールを含むことができ、計画制御モジュールは、非限定な例として、運動計画サブモジュール、車両制御サブモジュール及びアクチュエータ制御サブモジュール等のサブモジュールを含む。

【００１３】

例えば、ハードウェアプロセッサは、メモリに記憶されたデータから、道路形状、及び方位の系列によって形成された運動経路を、特定の目標の系列の集合に分割又はセグメント化するように構成することができ、ルーティングモジュールは、そのような作業を実施するように構成することができる。

【００１４】

さらに、制御システムは、意思決定モジュールを用い、現在の状態において、車両の第１の運動モデル及び車両の周囲の交通参加者の第１の運動モデルを用いて、各中間目標の実現可能性を検査し、実現可能な中間目標の集合を中間目標の集合から選択することができる。

【００１５】

本開示の最初の理解は、或る特定の意思決定を行うか否かを判断する必要性が含まれる意思決定モジュールのステップを設計することであった。これは、その意思決定が車両の安全な軌道をもたらすか否かに依存する。しかしながら、そのような軌道を明確に決定することは、上述したように困難な作業である。その結果、或る特定の意思決定が車両の安全な軌道をもたらすか否かを判断することに関連した実験から分かったことは、その意思決定が、車両が所望の状態に到達するために存在することができる状態を決定することと整合する必要があるということである。例えば、車線変更の意思決定は、車両が、場合によっては、所望の時点に所望の車線に存在することにつながるはずである。幾つかの実施の形態では、車両の現在の位置から他の車線におけるそのような位置に到達することができるか否かに応じて、車線変更するか否かを判断する。

【００１６】

さらに、別の理解は、車両の状態が車線変更等の意思決定と整合しながら、車両の現在の位置から目標に到達することが可能であるか否かを判断することが十分に行えないということである。その代わりに、必要なことは、自動車、歩行者、及び自転車等の他の障害物が、車両の可能な軌道の集合と交差するという危険をもたらすか否かを判断することである。このため、幾つかの実施の形態は、車両の意思決定と整合する集合に到達することができる車両の初期状態の集合を求める。ここで、車両の状態は、車両の位置、車両の速度、及び車両のヨーレートのうちの少なくとも１つを含む。そのようにすると、意思決定を安全に実行することが可能であるか否かを判断することが可能になる。

【００１７】

例えば、本開示の幾つかの実施の形態は、車両が近い将来においてどの中間目的を達成することができるのかを確認し、軌道を生成し、そのような軌道に従って車両を制御する異なる運動モデルを用いる必要があるという認識に基づいている。例えば、車両が目標系列を達成することが可能であるか否かを確認するために、長い将来のホライズンを考慮する必要がある。複雑な物理モデルを用いて、拡張された将来のホライズンにわたって車両運動を計算することは、計算上困難である。逆に、当面の目標が既知であるとき、所望の軌道に従った車両の制御は、短い将来のホライズンのみを考慮することができる。そのため、幾つかの実施の形態では、コントローラは、第１の運動モデル、すなわち、簡略化された運動モデルを用いて次の目標を決定する一方、計画及び制御は、第２の運動モデル、すなわち、より複雑な運動モデルを用いる。

【００１８】

本開示の別の理解は、意思決定モジュールが、車線変更するのか、又は現在の車線に留まるのか、停止線に停止するために減速を開始するのか否か、交差点を横断するのか否か

等の離散的な意思決定を操作し、これを計画制御モジュールの実現可能な中間目標に変換する場合に、離散的な意思決定及び連続的な意思決定に関して問題を分解することができるということである。計画制御モジュールは、現在の実現可能な中間目標と、場合によっては、その計算を現在の実現可能な中間目標に調整する追加のパラメータとを意思決定モジュールから受信することができ、その計算を実行する。計画制御モジュールは、現在の実現可能な中間目標を達成したこと、又は、現在の実現可能な中間目標を達成することができないことを意思決定モジュールに通知することができる。

【００１９】

したがって、意思決定モジュールは、メモリに記憶された地図を用いてルーティングモジュールからの情報を処理し、目標系列を生成することができ、センサからの情報及び車両の通信を用いて１つ以上の選び得る現在の目標を選択し、計画制御モジュールに提供することができる。計画制御モジュールは、それらの目標を用いて、現在の軌道を決定して実行する。

【００２０】

例えば、幾つかの実施の形態は、計画制御モジュールの運動計画サブモジュールのステップを実施し、車両の第２の運動モデル及び交通参加者の第２の運動モデルを用いて各実現可能な中間目標の軌道を計算する。次に、コスト関数によって求められた数値に従って計算された複数の軌道が比較される。軌道が、車両の運動及び性能の評価値の双方についての制約を満たすと判断されたとき、制御入力が決定される。この制御入力は、車両コントローラを介して、車両の少なくとも１つのアクチュエータへの制御コマンドにマッピングすることができる。マッピングされた車両の少なくとも１つのアクチュエータへの制御コマンドを用いて、アクチュエータコントローラによって、車両運動は制御される。この方法のステップは、車両のプロセッサを用いて実施される。

【００２１】

その結果、意思決定モジュールは、複数の連続した中の期間（すなわち、複数の予測ホライズンのうちの予測ホライズン）ごとに、反復的に、最終目的地への開始位置において、車両の第１の運動モデル及び交通参加者の第１の運動モデルを用いて、その期間の開始時における車両状態及び交通状況に基づいて、中間目標系列から１つ以上の実現可能な中間目標を選択することができる。１つ以上の実現可能な中間目標が、交通状況、車両の運動能力を含む制約を満たし、特定の目標及び追加の特定の目標の中の次の目標を完了することが可能である場合には、これらの１つ以上の実現可能な中間目標を制御入力として選択することができる。

【００２２】

本開示の幾つかの代替の実施の形態では、各モード又は各意思決定に関連した連続的な車両ダイナミクスの集合であるハイブリッドシステムとして処理を行う意思決定モジュールを有することが可能である。意思決定と整合することができる軌道の数は限られている。しかしながら、意思決定は非常に僅かであり、したがって、意思決定の有限集合を有するハイブリッドシステムとしてシステムをモデル化し、車両の初期状態の集合を決定する以前の実施の形態を利用することは、車両の意思決定と整合する集合に到達することができる。これにより、軌道及び意思決定の最良の組み合わせを最適化及び発見するのではなく、安全な離散的モード系列を見つけるという計算的に高速な問題定式化が可能になっている。軌道及び意思決定の最良の組み合わせの最適化及び発見は、計算上困難であるだけでなく、計算時間が長くなる点で多くの計算コストを要するため、ロバストなコンピュータハードウェアを必要とする。

【００２３】

本開示の幾つかの代替の実施の形態では、車両の運動計画サブモジュールと、完全に決定論的とは限らない環境を考慮するために擾乱等のモデルとしての他の物体とを有することが可能である。別の実施の形態では、そのような擾乱を受ける安全モードスイッチの集合を決定することができ、それによって、車両、したがって、車両の同乗者は、より慎重な運転を行うことが可能になる。

【００２４】
他の実施の形態は、例えば、車両が進行する道路上での通常の運転に対応する所望の進行方向角度を定める対応する箇所の集合について求められる、車両のダイナミクスの状態の領域の集合等の他の態様を含むことができる。ダイナミクスの各状態は、車両の縦変位、横変位、及び横方位を含む。各領域は、領域内の状態を有する車両が車両の意思決定と整合する挙動を行うように決定されたダイナミクスの状態の集合を定義する。
【００２５】
さらに、幾つかの実施の形態では、意思決定プロセスに情報を提供するために用いることができる他の車両の方向指示器、車載センサ、車車間通信、及び停止信号から情報を取得するような態様を含むことができる。他の実施の形態では、この情報を用いて、道路上又は道路に近い他の物体が自身の車両のダイナミクスの状態の領域の集合に入る何らかの危険を及ぼすか否かを判断することができる。さらに、幾つかの実施の形態では、モードスイッチについての情報を利用し、データを運動計画に送信することができる。運動計画は、安全な状態系列に基づいて、意思決定と整合する車両の軌道を決定することができる。さらに、幾つかの実施の形態では、車両によって用いられるとき、所望のモード系列を満たすことができる車両への制御入力の集合を意思決定系列とともに決定する態様を含むことができる。
【００２６】
他の実施の形態では、決定された制御入力の集合、状態系列、及び意思決定系列を運動計画に転送することが可能である。運動計画は、意思決定系列に対応する軌道を決定するときの基準として、これらの制御入力の集合及び状態系列を用いる。そのようにすることによって、意思決定プロセスは、車両及び運動計画の長期の意思決定に焦点を当てて車両の詳細な軌道計画に対処することが可能になる。さらに、幾つかの実施の形態では、１つのステップで状態系列全体を計画するのではなく、部分情報を抽出するために運動計画によって用いられる車両のメモリに、意思決定の集合が制御入力及び状態系列とともに記憶される態様を含むことができる。
【００２７】
したがって、本開示の１つの実施の形態は、地図データ及び車両データを含むデータを記憶するメモリを備える車両の制御システムを含む。制御システムは、地図データ及び車両データを用いて、予測ホライズンごとに道路形状、及び方位の系列によって形成される走行ルートから中間目標系列（ＳＩＧ：sequence of intermediate goals）を生成するように構成されたハードウェアプロセッサを備える。ＳＩＧは、最終目的地に到達するために特定の交差点における目標方位を含んだ特定の目標と、交通規則に従った車両動作制約を含む追加の特定の目標と、任意選択の目標とを含む。ハードウェアプロセッサは、予測ホライズンの開始時における車両状態及び交通状況に基づいて、車両の第１の運動モデル及び交通参加者の第１の運動モデルを用いて各中間目標の実現可能性を検査するとともに、中間目標が、交通状況及び車両の運動能力を満たすことによって達成されることと、中間目標を達成した後、特定の目標の中の次の目標及び追加の特定の目標も達成することができることとを検査するように構成されている。ハードウェアプロセッサは、車両の第２の運動モデル及び交通参加者の第２の運動モデルを用いて、各実現可能な中間目標の軌道を計算し、コスト関数によって求められた数値に従って計算された各軌道を比較し、車両の運動、並びに道路及び交通参加者との車両の相互作用に対する制約が満たされたと判断するように構成されている。制御システムは、車両の運動が計算された軌道に近い軌道を生成するように、車両の少なくとも１つのアクチュエータへの制御入力を計算する車両コントローラを備える。制御システムは、車両の少なくとも１つのアクチュエータへの制御入力を実行して、車両の運動を変更する少なくとも１つのアクチュエータコントローラを備える。
【００２８】
本開示の別の実施の形態は、メモリに記憶された地図データ及び車両データを用いて、予測ホライズンごとに道路形状、及び方位の系列によって形成される走行ルートから中間

目標系列（ＳＩＧ）を生成することを含む、車両を制御する方法を含む。ＳＩＧは、特定の目標と、追加の特定の目標と、任意選択の目標とを含む。方法は、中間目標が、交通状況及び車両の運動能力を満たすことによって達成されると判断し、中間目標を達成した後、特定の目標の中の次の目標及び追加の特定の目標も達成することができると判断するとともに、車両の第１の運動モデル及び交通参加者の第１の運動モデルを用いて各中間目標の実現可能性を検査することを含む。方法は、車両の第２の運動モデル及び交通参加者の第２の運動モデルを用いて各実現可能な中間目標の軌道を計算し、コスト関数によって求められた数値に従って計算された各軌道を比較し、車両の運動、並びに道路及び交通参加者との車両の相互作用に対する制約が満たされたと判断することを含む。方法は、車両の運動が計算された軌道に近い軌道を生成するように、車両の少なくとも１つのアクチュエータへの制御入力を車両コントローラを介して計算することを含む。方法は、少なくとも１つのアクチュエータコントローラを介して車両の運動を変更して、車両の少なくとも１つのアクチュエータへの制御入力を実行することを含む。方法の各ステップは、車両のプロセッサを用いて実施される。

【００２９】

本開示の別の実施の形態は、方法を実行するプロセッサによって実行可能なプログラムが具現化される非一時的コンピュータ可読メモリを含む。方法は、入力インターフェースから受信された地図データ及び車両データを用いて、予測ホライズンごとに道路形状、及び方位の系列によって形成される走行ルートから中間目標系列（ＳＩＧ）を生成することを含む。ＳＩＧは、特定の目標と、追加の特定の目標と、任意選択の目標とを含む。方法は、中間目標が、交通状況及び車両の運動能力を満たすことによって達成されると判断し、中間目標を達成した後、特定の目標の中の次の目標及び追加の特定の目標も達成することができると判断するとともに、車両の第１の運動モデル及び交通参加者の第１の運動モデルを用いて各中間目標の実現可能性を検査することを含む。方法は、車両の第２の運動モデル及び交通参加者の第２の運動モデルを用いて各実現可能な中間目標の軌道を計算し、コスト関数によって求められた数値に従って計算された各軌道を比較し、車両の運動、並びに道路及び交通参加者との車両の相互作用に対する制約が満たされたと判断することを含む。方法は、車両の運動が計算された軌道に近い軌道を生成するように、車両の少なくとも１つのアクチュエータへの制御入力を車両コントローラを介して計算することを含む。方法は、少なくとも１つのアクチュエータコントローラを介して車両の運動を変更して、車両の少なくとも１つのアクチュエータへの制御入力を実行することを含む。方法の各ステップは、車両のプロセッサを用いて実施される。

【図面の簡単な説明】

【００３０】

【図１】本開示の幾つかの実施形態の原理を使用する制御ユニットを備える車両の概略図である。

【図２】本開示の幾つかの実施形態による図１の制御ユニットのブロック図である。

【図３】本開示の幾つかの実施形態による制御ユニットのレイヤの概略図である。

【図４】例示的な交通シーンにおける本開示の幾つかの実施形態において用いられるルーティング情報の説明を示す図である。

【図５】図４の例示的な交通シーンにおける本開示の幾つかの実施形態において用いられる特定の中間目標の説明を示す図である。

【図６】図４の例示的な交通シーンにおける本開示の幾つかの実施形態において用いられる任意選択の目標の説明を示す図である。

【図７】図４の例示的な交通シーンにおける本開示の幾つかの実施形態において用いられる特定の目標からの目標グラフの構築の説明を示す図である。

【図８】図４の例示的な交通シーンにおいて、図６に記載された目標グラフについて本開示の幾つかの実施形態において用いられる、特定の目標を含めることによる目標グラフの構築の説明を示す図である。

【図９】図４の例示的な交通シーンにおいて、図７に記載された目標グラフについて本開

示の幾つかの実施形態において用いられる、許容された目標系列の構築を示す図である。
【図１０】本開示の幾つかの実施形態において用いられる目標グラフにおける現在の目標に基づいて次の許容された目標を選択することに、車両の運動モデルの状態の領域を用いることを示す図である。
【図１１】本開示の幾つかの実施形態において用いられる目標グラフにおける次の特定の目標に基づいて次の許容された目標を選択することに、車両の運動モデルの状態の領域を用いることを示す図である。
【図１２】現在の交通状況に基づいて及び本開示の幾つかの実施形態において用いられる交通参加者の運動モデルに従って次の許容された目標を選択することに、車両の運動モデルの状態の領域を用いることを示す図である。
【図１３】本開示の幾つかの実施形態において用いられる異なる許容された目標に従った軌道計算を示す図である。
【図１４Ａ】本開示の幾つかの実施形態による車両制御方法の意思決定モジュールの動作を要約したブロック図である。
【図１４Ｂ】本開示の幾つかの実施形態による制御ユニット内の計画制御モジュールの運動計画サブモジュールの動作を示すブロック図である。
【図１５】図１４Ａ及び図１４Ｂに示すブロック図の本開示の幾つかの実施形態による次の目標を選択するステップを要約したブロック図である。
【図１６】本開示の実施形態による、道路上で運転する自律車両の運動に対する可能な要件の例示的なリストを示す図である。
【図１７Ａ】本開示の一実施形態による、軌道を決定し車両を制御する方法のブロック図である。
【図１７Ｂ】本開示の一実施形態による目標の決定の例示的な実施態様を示す図である。
【図１７Ｃ】本開示の一実施形態による良好な軌道及び対応する制御入力を決定する方法のフローチャートである。
【図１７Ｄ】本開示の一実施形態による車両の状態を接続する状態推移によって定義される運動を示す図である。
【図１７Ｅ】本開示の１つの実施形態による状態の集合を決定する例示的な実施態様のフローチャートである。
【図１７Ｆ】本開示の１つの実施形態による、車両の運動に対する制約を満たす状態への運動を生み出す各入力の品質を求める方法のフローチャートである。
【図１７Ｇ】本開示の１つの実施形態による、自律車両の位置の予測が障害物の不確実性領域と交差するとともに、障害物が位置にある確率が衝突閾値よりも高い一例を示す図である。
【図１７Ｈ】本開示の１つの実施形態による、車両の軌道を選択する（１７５０ｃ）ブロック図である。
【図１８Ａ】本開示の幾つかの実施形態によって使用される幾つかの原理に従って決定される異なる運動の概略図である。
【図１８Ｂ】本開示の幾つかの実施形態によって使用される幾つかの原理に従って決定される異なる運動の概略図である。
【図１８Ｃ】本開示の１つの実施形態による、公称速度、この場合には定速度を維持するという要件１８６０ｃとともに、１８８０ｂ及び１８９０ｂに対応するそれぞれの速度プロファイル１８８０ｃ及び１８９０ｃを示す図である。
【図１９】本開示の幾つかの実施形態による運動計画システムと車両コントローラとの間の相互作用の概略図である。
【発明を実施するための形態】
【００３１】
上記で明らかにされた図面は、ここに開示されている実施形態を記載しているが、この論述において言及されるように、他の実施形態も意図されている。この開示は、限定ではなく代表例として例示の実施形態を提示している。ここに開示されている実施形態の原理

の範囲及び趣旨に含まれる非常に多くの他の変更及び実施形態を、当業者は考案することができる。

【００３２】

図１は、本開示の幾つかの実施形態の原理を使用する制御ユニットを備える車両の概略図である。例えば、図１は、本開示の幾つかの実施形態の原理を使用する制御ユニット１０２を備える車両１０１の概略図を示している。本明細書において、車両１０１は、乗用車、バス、又はローバー等の任意のタイプの装輪車両とすることができる。また、車両１０１は、自律車両又は半自律車両とすることができる。例えば、幾つかの実施形態では、車両１０１の運動を制御する。運動の例は、車両１０１のステアリングシステム１０３によって制御される車両の横運動を含む。ステアリングシステム１０３は、制御ユニット１０２によって制御される。

【００３３】

車両は、制御ユニット１０２又は車両１０１の他の構成要素によって制御することができるエンジン１０６も備えることができる。車両１０１は、非限定的な例として、その現在の運動量及び内部ステータスを検知する１つ以上のセンサ１０５も備えることができる。センサ１０５は、例えば、全地球測位システム（ＧＰＳ：global positioning system）、加速度計、慣性測定ユニット、ジャイロスコープ、シャフト回転センサ、トルクセンサ、撓みセンサ、圧力センサ、及び流量センサである。車両は、入力インターフェース１０８を介して無線通信チャネルを通じた制御ユニット１０２の通信機能を可能にする送受信機１０７を装備することができる。車両は、周囲の環境を検知する１つ以上の他のセンサ１０４ａ、１０４ｂも備えることができる。センサ１０４ａ、１０４ｂの例は、距離レンジファインダー、レーダー、ライダー、及びカメラである。或いは、周囲の環境についての情報は、送受信機１０７を通じて受信することができる。車両１０１は、車両が動作するエリア内の道路についての情報を記憶する地図データベースシステムを装備するか、又は、遠隔に記憶された地図情報に送受信機１０７を通じてアクセスすることができる。

【００３４】

図２は、本開示の幾つかの実施形態による図１の制御ユニットのブロック図である。例えば、図２は、本開示の１つの実施形態による制御ユニット１０２のブロック図を示している。制御ユニット１０２は、メモリ２０２、例えば、非一時的コンピュータ可読媒体に接続されたハードウェアプロセッサ２０１を備える。幾つかの実施態様では、メモリ２０２は、車両についての情報を記憶する第１のセクション２１１と、車両を制御するプログラムを記憶する第２のセクション２１２と、運転地図データを記憶する第３のセクション２１３と、交通参加者の運動モデルを記憶する第４のセクション２１４とを含む。

【００３５】

例えば、メモリ２０２の第１のセクション２１１は、最大加速度、ステアリング、及びステアリングレート等の車両の挙動のパラメータを記憶することができるとともに、車両の第１の運動モデル及び車両の第２の運動モデルを記憶することができる。様々な実施形態において、車両の第２の運動モデルを記述する式の数及び複雑度は、車両の第１の運動モデルを記述する式の数及び複雑度よりも大きい。また、例えば、メモリ２０２の第４のセクション２１４は、交通参加者の第１の運動モデル及び交通参加者の第２の運動モデルを記憶することができる。

【００３６】

図２を更に参照すると、様々な実施形態において、交通参加者の第２の運動モデルを記述する式の数及び複雑度は、交通参加者の第１の運動モデルを記述する式の数及び複雑度よりも大きい。それらの実施形態は、車両が近い将来においてどの中間目的を達成することができるのかを確認し、軌道を生成し、そのような軌道に従って車両を制御する異なる運動モデルを用いる必要があるという認識に基づいている。例えば、車両が目標系列を達成することが可能であるか否かを確認するために、長い将来のホライズンを考慮する必要がある。高次物理モデルを用いて、拡張された将来のホライズンにわたって車両運動を計算することは、計算上困難である。逆に、当面の目標が既知であるとき、所望の軌道に従

った車両の制御は、短い将来のホライズンのみを考慮することができる。そのため、幾つかの実施形態では、制御ユニット１０２は、第１の運動モデル、すなわち、低次運動モデルを用いて次の目標を決定する一方、計画及び制御は、第２の運動モデル、すなわち、より高次運動モデルを用いる。

【００３７】

メモリ２０２の第２のセクション２１２は、車両１０１を制御する方法を実行する、プロセッサ２０１によって実行可能なプログラムを具現化しておくことができる。

【００３８】

図２を更に参照すると、メモリ２０２の第３のセクション２１３は、住所及び道路網等の地図情報を含み、交差点、停車場及び交通信号機の位置、車線の数及び位置、制限速度等の付加情報も含むことができる。地図情報は、車両１０１が運転を開始するときに、メモリの第３のセクション２１３に既に記憶しておくこともできるし、通信送受信機１０７及び環境センサ１０４ａ、１０４ｂによって制御ユニットで利用可能とすることもできる。

【００３９】

プロセッサ２０１は、計算を実行することが可能な任意の計算デバイスとすることができ、同じ又は異なるタイプの１つ又は多くの物理デバイスを含むことができる。プロセッサ２０１は、複数の計算デバイス、例えば、マイクロプロセッサを含むことができる。同様に、メモリ２０２は、情報を記憶することが可能な任意の論理メモリ及び／又は非一時的コンピュータ可読記憶媒体とすることができ、同じ又は異なるタイプの１つ以上の物理情報記憶手段を含むことができる。プロセッサ２０１によって実行される計算は、メモリの第２のセクション２１２に記憶されたプログラムによって命令され、メモリの第１のセクション２１１に記憶された車両情報、メモリの第２のセクション２１２に記憶された地図についての情報、センサ１０５から取得された車両１０１についての情報、およびセンサ１０４ａ、１０４ｂから取得された環境２０３の情報を用いる。プロセッサ２０１の計算によって、車両運動を変化させるコマンド２０４が得られる。

【００４０】

図２を更に参照すると、プロセッサ２０１によって実行されるプログラムは、車両１０１の自律運転（ＡＤ：autonomous driving）を可能にする。この動作中に、プロセッサ２０１によって実行されるプログラムは、特定の位置に到達すること等の運転の特定の最終目的を達成することを目指す。この最終目的は、車両１０１の運動に適切に影響を与えることによって達成される。プロセッサ２０１によって実行されるソフトウェアプログラムは、複数のモジュールに論理的に分離することができる。例えば、１つの実施形態では、プロセッサ２０１によって実行されるプログラムは、１つのレイヤの出力が次のレイヤへの入力となるようなレイヤとして順番に配列された少なくとも２つのモジュールを含む。本明細書においては、そのような階層化は、制御ユニット１０２のレイヤ又は論理モジュールを指定するものであり、異なる情報を必要とする異なるステージに制御を分割することを可能にする。

【００４１】

図３は、本開示の１つの実施形態による制御ユニットのレイヤの概略図を示している。この実施形態では、制御ユニット１０２は、３つの制御レイヤを備える。ルーティングモジュール３０１は、図２のメモリの第３のセクション２１３に記憶された静的な地図情報と、センサ１０４ａ、１０４ｂから取得された車両の現在の位置とを用いて、車両が、例えばユーザによって提供されるような最終目的地に到達するために、現在の位置から通行しなければならない道路網における道路系列を決定する。ルーティングモジュール３０１は、既知のカーナビゲーションシステムによって実施することができる。車両制御サブモジュール３０５は、車両が現在の最良の軌道に可能な限り近い実際の軌道を通過するように車両の挙動を変更するステアリング、加速、減速等の車両アクチュエータのコマンドを決定する。車両アクチュエータへのコマンドは、その後、アクチュエータ制御サブモジュール３０６によって受信される。アクチュエータ制御サブモジュール３０６は、電気モー

タ電圧、スロットル開放、ブレーキパッド圧力等のアクチュエータへの制御信号を変更して、所望の車両コマンドを作成する。

【００４２】

図４は、例示的な交通シーンにおける本開示の幾つかの実施形態において用いられるルーティング情報の説明を示している。例えば、図４は、自車両４１１と呼ばれる、制御下にある車両を有するとともに、同様に４１２と示された他の車両と、例えばＬ６とマーキングされた車線４１３と、例えばＳ１とマーキングされた停止線４１４と、例えばＩ３とマーキングされた交差点４１５とから構成される交通状況を有するシナリオを示している。図４を参照すると、最終目的地４０２を有する位置４０１にある車両について、ルーティングモジュール３０１は、矢印４０３によって示す道路系列と、矢印４０４によって示す方位の系列とを提供する。ただし、道路系列４０３及び方位の系列４０４は、それだけで車両の軌道又は経路を指定するものでないことに留意されたい。車両がどの車線を運転すべきか、車両が車線を変更すべきか又は現在の車線に留まるべきか、車両が停止線に停止するために減速を開始すべきか否か、車両が交差点を通過することが可能であるか否か等の、行うべき複数の離散的な意思決定がある。さらに、車両がその初期地点からその目的地への運動において達成すべき時間決めされた位置及び方位の系列等の、行うべき複数の連続的な意思決定がある。これらの意思決定は、ルーティングモジュール３０１が行うことはできない。なぜならば、それらの意思決定は、車両が対応する位置に到達した瞬間における現在の交通状況に依存し、一般に、交通運動の不確実性及び車両が位置に到達する瞬間の不確実性のため、ルーティングモジュールには未知であるからである。

【００４３】

車両が最終目的地に到着するために実行すべき位置及び方位の系列並びに対応する時刻に関する実際の軌道は、通常、計画制御モジュール３０３によって決定される。しかしながら、図３の計画制御モジュール３０３は、ルーティングモジュール３０１によって提供される情報に直接基づいて動作することができない場合がある。特に、離散的な意思決定及び連続的な意思決定を単一のステップで動作させると、実験に基づくと、非常に大量の計算を必要とするいわゆるハイブリッド意思決定問題が発生する。代わりに、制御ユニット１０２は、多くの場合に、メモリ及び処理速度が限られており、したがって、この問題を計算上扱いやすくする方法ではあるが、分解によって確実に不整合が生じない方法で、この問題を分解することが有益である。すなわち、全体的な問題を多くのより単純な部分問題に分解し、単一の各部分問題を順に解き、部分問題の一連の解に従って動作することによって、全体的な問題の解が得られる。

【００４４】

図４を更に参照すると、本開示の別の理解は、図３の意思決定モジュール３０２が、車線変更するのか又は現在の車線に留まるのか、停止線に停止するために減速を開始するのか否か、交差点を横断するのか否か等の離散的な意思決定を操作し、これを図３の計画制御モジュール３０３の中間目標に変換する場合に、離散的な意思決定及び連続的な意思決定に関して問題を分解することができるということである。計画制御モジュール３０３は、現在の中間目標と、場合によっては、その計算を現在の中間目標に調整する追加のパラメータとを意思決定モジュール３０２から受信し、その計算を実行する。計画制御モジュールは、現在の中間目標を達成したこと、又は、現在の中間目標を達成することができないことを意思決定モジュールに通知することができる。意思決定モジュール３０２によって提供される目標は、現在の交通状況及び車両状況に従って計画制御モジュール３０３によって達成可能であるべきであり、中間目標系列を相互接続することを可能にすること、すなわち、計画が、１つの目標から次の目標に切り替えることができること、及び、全ての中間目標を達成することによって、全体的な目標が達成されること、すなわち、最終位置に到達することを確実に行うべきである。

【００４５】

したがって、図３の意思決定モジュール３０２は、図２のメモリの第３のセクション２１３に記憶された地図を用いてルーティングモジュール３０１からの情報を処理して、目

標系列を生成し、センサ及び通信１０４ａ、１０４ｂからの情報を用いて、図３の計画制御モジュール３０３に提供する１つ以上の択一的な現在の目標を選択し、計画制御モジュール３０３は、それらの目標を用いて、現在の軌道を決定し実行する。

【００４６】

図４を更に参照すると、幾つかの中間目標が特定的であり、幾つかの他の目標が任意選択的であるということが本開示の更なる理解である。図３のルーティングモジュール３０１によって示された道路セグメントは、交差点における目標方位等の特定の目標を決定する。一方、交通規則に従った車両の適切な動作に起因した追加の特定の目標がある。例えば、停止線において停止した状態を維持することは、交通規則に従った特定のものであり、停止線において停止するために減速することも、交通規則に従った特定のものである。同様に、特定の交差点における目標方位に基づいて、そのような交差点において特定の車線に留まることは、強制的なものであり得る。同じことは、一般道路から出る前に特定の車線にいることについても言える。

【００４７】

図５は、図４の例示的な交通シーンにおける本開示の幾つかの実施形態において用いられる特定の中間目標の説明を示している。例えば、図５では、停止線において停止することに関係した特定の中間目標５０１、５０２、５０３が得られる。特定の中間目標５０１及び５０２は車線の特定を必要とするが、中間目標５０３は必要としない。特定の中間目標５０４は、一般道路から出る前に特定の車線にいることに関係したものであり、特定の中間目標５０５は、最終目的地、すなわち、最終目標と一致する。

【００４８】

図６は、図４の例示的な交通シーンにおける本開示の幾つかの実施形態において用いられる任意選択の中間目標の説明を示している。特定の中間目標に加えて、任意選択である複数の中間目標がある。例えば、図６では、軌道６０３及び６０４はともに特定の中間目標５０３に到達するが、軌道６０３は、２回の車線変更を促す中間目標６０６及び６０７を有する一方、軌道６０４はそのような中間目標を有しない。２つの軌道６０３、６０４は、停止線の前に車線を変更するという中間目標６０８、６０９を有するが、双方の車線では交差点Ｉ４において直進することが可能であるので、これも必要ではない。実際、軌道６０５には中間目標がなく、軌道６０５は特定の目標５０３に直接到達する。また、中間目標系列に加えて、それらのタイミングは異なる可能性がある。なぜならば、軌道６０１、６０２はともに、交差点Ｉ１において左折するために車線Ｌ２において停止線Ｓ１に停止するという特定の中間目標に起因して必要となるＬ２への車線変更という中間目標６１１、６１２を有するが、中間目標６１１、６１２が適用される位置は大幅に異なるからである。

【００４９】

図７は、図４の例示的な交通シーンにおける本開示の幾つかの実施形態において用いられる特定の目標からの目標グラフの構築の説明を示している。例えば、中間目標を選択するために、意思決定モジュールは、図７で説明する目標グラフを構築する。最初に、図３のルーティングモジュール３０１から決定された道路セグメント系列が、初期位置７０１及び最終位置７０２を含むグラフ内に配置される。この配置は、例えば、車両が分流（merge out）しなければならない（７０７）交差点及び車線と、車両が合流（merge in）しなければならない（７０６）交差点及び車線とを通過するという目標７０３、７０４、７０５をグラフノードとして含めることによって行われる。例えば、７０３は、交差点Ｉ１に到達すべきことと、左折しなければならないこととを示し、７０４は、交差点Ｉ３に到達すべきことと、右折しなければならないこととを示し、７０５は、交差点Ｉ４に到達すべきことと、車両が直進しなければならないこととを示し、７０６は、車線Ｌ１への最初の合流（merge-in）が必要であることを示し、７０７は、車線Ｌ５０内への分流（merge out）が必要であることを示す。

【００５０】

その後、特定の目標がグラフ内に配置され、対応する道路セグメントへの目標に接続さ

れる。例えば、７１０は、車両が車線Ｌ１における停止線Ｓ１に停止しなければならないことを示し、７１２は、車両が車線Ｌ１４又は車線Ｌ１３における停止線Ｓ８に停止しなければならないことを示し、７１１は、車両が分流する前に車線Ｌ１７にいなければならないことを示す。図７では、７２１のような実線は、２つの目標の間に他の中間目標を伴わずに目標を順に行わなければならないことを表す一方、７２２のような破線は、幾つかの任意選択の目標が２つの目標の間にあってもよいことを示す。７２１のような実線は、許容された目標推移を指定し、７２２のような破線は、目標の順序付けを指定し、必ずしも許容された推移を指定しない。

【００５１】

最後に、７２２のような破線は、２つの特定の目標の間に任意選択の目標がある場合に、それらの目標を含めることによって置き換えられる。目標の総数は、場合によっては多くなるが、常に有限であり、そのため、各目標又は目標の特定のサブセットに対する動作の実行は、有限のステップ数で完了することができる。

【００５２】

図８は、図４の例示的な交通シーンにおいて、図６に記載された目標グラフについて本開示の幾つかの実施形態において用いられる特定の目標を含めることによる目標グラフの構築の説明を示している。例えば、図８において、７０６と７１０とを接続する破線は、車線Ｌ１において始動するという中間目標８０１と、場合によっては車線Ｌ１とＬ２との間で未定の回数だけ車線を変更するという中間目標８０１、８０２と、その後、最終的には、Ｌ１から減速を開始して（８０３）、車線Ｌ１において停止線Ｓ１で停止されるという強制的目標７１０に達することに置き換えられる。同様に、７０４と７１２とを接続する破線は、車線Ｌ１３又はＬ１４のいずれかにおいて交差点Ｉ３を去るという中間目標８１１又は８１２と、場合によっては車線Ｌ１３とＬ１４との間で未定の回数だけ車線を変更するという中間目標８１１、８１２と、その後、現在の車線Ｌ１３又はＬ１４において減速を開始して（８１３、８１４）、車線Ｌ１３又はＬ１４のいずれかにおいて停止線Ｓ８で停止されるという強制的目標７１２に達することに置き換えられる。あらゆる破線についてそのようなプロセスを動作させることによって、最終的に、目標グラフを、初期車両位置に対応する目標から、実線のみと交差する所望の最終位置に対応する目標まで横断することができる。図９を参照すると、グラフには、初期ノード７０１から最終ノード７０２に進む９０１、９０２等の複数の経路が存在する。図３の意思決定モジュール３０２は、中間目標系列を選択することによって実際の経路を選択する。例えば、図９は、図４の例示的な交通シーンにおいて、図７に記載された目標グラフについて本開示の幾つかの実施形態において用いられる許容された目標系列の構築を示している。

【００５３】

図３の意思決定モジュール３０２は、達成する中間目標を決定するとき、現在の交通状況を考慮する必要がある。例えば、図６を参照すると、軌道６０３に沿って、車線を変更するという中間目標６０７は、現在の車線において低速で運動している車両６２０の存在によって決定付けられる。また、意思決定は、車両位置並びに車両の速度及び進行方向等の現在の車両状態を考慮する必要がある。

【００５４】

例えば、特定の目標５０１を達成するために、車線変更目標６１１、６１２は、現在の車両速度及びステアリング能力を考慮して必要な空間において車線変更を完了することができるようなものでなければならない。したがって、意思決定モジュール３０２は、交通状況に基づいてどの中間目標を達成することができるのか、及び次の特定の目標を達成する必要性を評価し、現在の車両及び交通状況に基づいて達成可能であるとともに、次の特定の目標を達成することができる１つ以上の目標を計画制御モジュール３０３に提供する。これらの要件を満たす中間目標がない場合には、意思決定モジュールは、運転手が制御する必要があること、又は車両を安全に停止させること等の回復動作を可能にする警告エラーを発行する。

【００５５】

図８を更に参照すると、現在の車両及び交通状況に基づいて達成可能であるとともに次の特定の目標を達成することができる中間目標の選択は、目標グラフに基づいて行われる。どの時点においても、現在の中間目標は、現在アクティブなグラフのノードを示す。そこから、意思決定モジュール３０２は、次の期間の中間目標を選択する。これは、現在の中間目標の維持、したがって、グラフの同じノードの維持、又は、現在の目標に関連したノードの後続となるグラフのノードに関連した目標の中の異なる中間目標への変更のいずれかをもたらす。例えば、図８では、車線Ｌ１における運転の現在の中間目標を有する、したがって、目標グラフにおけるノード８０１にいる車両の場合、意思決定モジュール３０２は、車線Ｌ１における運転の維持８０１、又はＬ２への車線の変更８０２、又は車線Ｌ１における減速の開始８０３を選択することができる。しかし、８０１から７１０への許容された目標推移はないので、車両は、車線Ｌ１において停止線Ｓ１に直接停止すること（７１０）はできない。

【００５６】

グラフに基づいて、次の期間の中間目標として、複数の選択肢が存在する場合がある。したがって、目標推移は非決定論的である。すなわち、目標推移は、目標グラフによって一意に指定されない。しかしながら、車両情報及び交通情報、並びに次の特定の目標の達成を含む付加情報を考慮する必要がある。次に、各目標は、この目標を達成可能にする車両状況及び交通状況に関連付けられる。

【００５７】

車両状況は、最大ステアリング、ステアリングレート、加速度等の車両特性に基づいて車両の状態空間における領域を決定する。車両状況及び車両の第１の運動モデルは、メモリの第１のセクション２１１に記憶されている。現在の時刻において、現在の中間目標について、現在の車両状態が、推移が目標グラフに基づいて許容されている別の中間目標の領域内にある場合には、そのような目標は達成することができ、意思決定モジュール３０２は、その目標を次の期間の中間目標として選択することができる。

【００５８】

図１０は、本開示の幾つかの実施形態において用いられる目標グラフにおける現在の目標に基づいて次の許容された目標を選択することに、車両の運動モデルの状態の領域を用いることを示している。例えば、図１０において、車線Ｌ１の目標８０１、車線Ｌ２の目標８０２、及び車線Ｌ１における減速する目標８０３は、３つの領域１００１、１００２、１００３に関連付けることができる。車両状態が１０１１である場合、これらの３つの目標のいずれも次の中間目標として選択することができる一方、車両状態が１０１２である場合には、８０１、８０２しか次の中間目標として選ぶことができない。車両状態が１０１３である場合には、目標のいずれもが許容されず、警告エラーが発行される。

【００５９】

次の特定の中間目標を達成する必要があることは、同様の効果を有する。第１に、車両状態空間の領域が、メモリの第１のセクション２１１に記憶された車両の第１の運動モデルに従って次の特定の中間目標を達成することができる車両状態の領域である領域に関連付けられる。次に、次の特定の中間目標に対応するグラフノードに推移することが許容された任意のグラフノードについて、メモリの第１のセクション２１１に記憶された車両の第１の運動モデルに従って、中間目標を達成することを可能にするとともに、次の特定の目標が達成される状態の領域に入ることも可能にする車両状態の領域が計算される。このプロセスは、現在の中間目標に関連付けられたグラフノードの後続である任意のグラフノードについて、後続ノードに関連付けられた目標に推移することが、次の特定の中間目標の達成をもたらす中間目標系列を可能にするような車両状態の領域を取得することによって、反復的に繰り返すことができる。

【００６０】

図１１は、本開示の幾つかの実施形態において用いられる目標グラフにおける次の特定の目標に基づいて次の許容された目標を選択することに、車両の運動モデルの状態の領域を用いることを示している。例えば、図１１において、車線Ｌ１において減速するという

目標８０３は、領域１００３に関連付けることができる。しかしながら、車線Ｌ１における停止線Ｓ１に停止するという目標７１０を達成することができる領域１１０１に入るという追加の要件を考慮すると、これらの双方の条件が満たされる領域は、１００３よりも小さい１１０２である。したがって、車両状態が１１１１である場合には、８０３を次の目標として選ぶことができ、７１０が目標として選ばれる領域に入ることが可能である。しかしながら、車両状態が１１１２である場合には、７１０が目標として選ばれる領域に入ることは可能でない。したがって、目標８０３への推移は現在行われるべきでない。

【００６１】

交通参加者との衝突及び他の危険な相互作用を回避することは、或る目標を次の中間目標として選択することができる領域のサイズを更に削減する。例えば、交通参加者がいない場合には操作を正しく完了することが可能である車両状態空間の領域全体において、他の車両が隣接車線の一部を占有しているがために、車線Ｌ１から車線Ｌ２への移動が可能でない場合がある。削減された車両状態の領域は、メモリの第１のセクション２１１に記憶された車両の第１の運動モデルに従って次の目標を達成することができる車両状態の領域から、メモリの第４のセクション２１４に記憶された交通参加者の第１の運動モデルに従って、他の車両との衝突又は危険な相互作用を必然的にもたらす車両状態の領域を除去することによって取得することができる。

【００６２】

図１２は、現在の交通状況に基づいて及び本開示の幾つかの実施形態において用いられる交通参加者の運動モデルに従って次の許容された目標を選択することに、車両の運動モデルの状態の領域を用いることを示している。例えば、図１２において、車線Ｌ２の目標８０２は、領域１００２に関連付けることができる。しかしながら、交通参加者との衝突又は危険な相互作用を回避する追加の要件を考慮すると、領域は、双方の条件を満たすより小さな領域１２０１になる。したがって、車両状態が１２１１である場合には、８０１を次の目標として選ぶことができ、交通参加者との衝突又は危険な相互作用を回避することが可能である。一方、車両状態が１２１２である場合には、交通参加者との衝突又は危険な相互作用を回避することが可能でなく、したがって、目標８０２への推移は現在行われるべきでない。

【００６３】

目標を達成することができ、次の特定の目標を達成することができ、かつ、交通参加者との衝突又は危険な相互作用が回避される状態の領域のみを考慮することによって、現在、目標に推移することができる状態の領域が取得される。現在の車両状態がそのような領域に含まれる場合には、その目標を次の期間の中間目標として選択することができる。

【００６４】

したがって、そのような選択に基づいて、図３の意思決定モジュール３０２は、次の中間目標となることが可能な１つ以上の目標を決定し、それらの目標を計画制御モジュール３０３に提供する。

【００６５】

１つ以上の現在の目標を受信すると、図３の計画制御モジュール３０３内の運動計画サブモジュール３０４は、各目標の軌道の計算を試み、少なくとも１つの指定された基準を含むコスト関数によって求められた数値に従って、計算に成功した全ての軌道の中で現在の最良の軌道を選択する。指定された基準は、目標が異なるごとに異なっていてもよい。

【００６６】

図１３は、本開示の幾つかの実施形態において用いられる異なる許容された目標に従った軌道計算を示している。例えば、図１３において、車両状態１０１２について、車両状態領域１００１、１００２によれば、車線Ｌ１の目標８０１及び車線Ｌ２の目標８０２の双方が可能である。その場合、意思決定モジュール３０２は、目標８０１、８０２を運動計画サブモジュール３０４に発行し、運動計画サブモジュール３０４は、目標８０１、８０２にそれぞれ対応する軌道１３０１、１３０２を計算する。２つの双方の軌道が計算されるので、経路計画モジュールはそれらを比較する。例えば、経路計画モジュールは、１

３０１が現在の道路セグメント上でより前方に到達するが、１３０２は、今後予定されている左折に必要とされる位置に既にあると評価する。したがって、軌道１３０２が選ばれる。

【００６７】

現在の最良の軌道が選択された後、車両制御サブモジュール３０５は、前述したように、車両が現在の最良の軌道に可能な限り近い実際の軌道を達成するように、車両の挙動を変更するステアリング、加速、減速等の車両アクチュエータのコマンドを決定する。車両アクチュエータへのこれらのコマンドは、その後、アクチュエータ制御サブモジュール３０６によって受信される。アクチュエータ制御サブモジュール３０６は、前述したように、電気モータ電圧、スロットル開放、ブレーキパッド圧力等のアクチュエータへの制御信号を変更して、所望の車両コマンドを作成する。

【００６８】

図１４Ａは、本開示の幾つかの実施形態による車両制御方法の意思決定モジュールの動作を要約したブロック図を示している。最初に、目標グラフが特定の目標及び任意選択の目標に基づいて更新される（１４０１）。次に、車両の第１の運動モデルの現在の状態に基づいて目的地の目標に到達したか否かの確認が行われ（１４０２）、この確認が肯定的である場合には、システムはその動作を終了する（１４０３）。そうでない場合には、次の容認できる目標が計算され（１４０４）、車両の第１の運動モデルの現在の状態に基づいていずれかの目標が容認できるか否かの確認が行われる（１４０５）。否定的な場合には、正常な動作を継続することができないという警告エラーが発行される（１４０６）。肯定的な場合には、容認できる目標が計画制御モジュール３０３に提供され（１４０７）、意思決定モジュールは、次の動作期間の開始を待機する（１４０８）。そのような期間は、周期的な動作の場合には、固定された所要時間後に開始することもできるし、例えば、容認できる目標のうちの１つ以上の完了又はいずれの目標も達成することができないことを示す信号が計画制御モジュールから受信された後に開始することもできる。周期的な動作及び非周期的な動作の組み合わせも可能であり、期間は、固定された所要時間後に開始することができるが、運動計画によって要求される場合には、通常よりも早く開始することができる。

【００６９】

図１４Ｂは、本開示の幾つかの実施形態による制御ユニット内の計画制御モジュールの運動計画サブモジュールの動作を示している。運動計画サブモジュールは、１つ以上の許容された目標を意思決定モジュールから受信し（１４０９）、車両の第２の運動モデルの現在の状態に基づいて、受信される許容された目標ごとに１つの軌道の計算を試みる（１４１０）。次に、運動計画サブモジュールは、いずれかの目標のいずれかの軌道を計算することができるか否かを確認する（１４１２）。否定的な場合には、正常な動作を継続することができない警告エラーが発行され（１４１５）、新たな目標が要求される（１４１６）。肯定的な場合には、計算された軌道のうちの１つが現在の軌道として選択され（１４１３）、この軌道は、車両制御サブモジュール３０５に提供され（１４１４）、運動計画サブモジュールは、次の運動計画期間の開始まで待機する（１４１９）。この期間は、固定された間隔によって決まり、意思決定の期間も固定されているときは、意思決定の期間よりも長い。次に、目標が周期的に計算される場合には（１４１８）、運動計画サブモジュールは、新たな目標が計算されているか否かを確認する。新たな目標が計算されている場合には、運動計画サブモジュールは、新たな目標を受信し（１４０９）、そうでない場合には、運動計画サブモジュールは、古い目標を続ける。目標が周期的に計算されないが、例えば、現在の目標のうちの１つ以上が達成されたことによって運動計画から要求された場合には、少なくとも１つの現在の目標が完了すると（１４１７）、新たな目標が要求され（１４１６）、そうでない場合には、運動計画は、新たな目標が意思決定モジュールによって提供されたか否かを引き続き確認する（１４１１）。

【００７０】

図１５は、図１４Ａ及び図１４Ｂに示すブロック図の本開示の幾つかの実施形態による

次の目標を選択するステップを要約したブロック図を示している。例えば、図１５は、次の容認できる目標の計算のステップ（１４０４）の詳細を示している。最初に、目標グラフの許容された推移が決定される（１５０１）。それらの推移に基づいて、現在の車両状態の許容された目標が決定され（１５０２）、それらの目標の中で、現在の車両状態の次の特定の目標を達成する目標が選択される（１５０３）。最後に、それらの目標の中で、交通状況内で挙動している間に達成可能な目標が、許容された次の目標として選択される（１５０４）。

【００７１】

（車両の運動モデル）

車両の運動モデルは、車両の運動モデル入力ｕ、ｗ及び車両の運動モデル状態ｘに基づいて車両の運動モデル状態の進展を記述する一組の式である。

【数１】

$$x(t+1) = f(x(t), u(t), w(t)) \qquad (1)$$

【００７２】

車両の運動モデル（１）において、ｔは時間ステップインデックス、すなわち、持続時間Ｔ$_s$のそれぞれであるサンプリング期間のカウンターである。車両の運動モデル入力は、制御入力ｕと擾乱入力ｗとに分割される。制御入力ｕは、制御アルゴリズムから選ぶことができ、加速度、トルク、ステアリング角度及び角速度等の適切なアクチュエータを通じて作動することができる量であるとともに、車両の挙動を変更する量である。擾乱入力ｗは、道路勾配、摩擦、風力等の車両を取り囲む環境に依存する量であり、したがって、制御アルゴリズムによって選ぶことができないが、それでも、車両の将来の挙動に影響を及ぼす。車両の運動モデル状態ｘは、時間間隔中の車両の運動モデルへの入力の知識とともに時間間隔の開始時の状態の知識が、そのような時間間隔中の車両の運動モデル状態の進展を完全かつ一意に記載するような、位置ベクトル及び速度ベクトル、角度方位、並びに角速度等の量の集合である。

【００７３】

異なる車両の運動モデルは、異なる目的に用いることができる。車両の運動モデルへの入力が固定されると、異なる量の状態を有する車両の運動モデルを用いることができる。ここで、状態の量がより大きいことは、運動モデルが車両の挙動をより詳細に表すことを意味するが、車両の運動モデルがより多くの数の式によって定義され、場合によってはより複雑な式によって定義されることを意味する。したがって、より多くの状態を有する車両の運動モデルは、より精密であるが、より多くの計算を必要とする。

【００７４】

車両の運動モデルは、幾つかの特定の意思決定を行うこと及び幾つかの特定の入力を車両挙動に適用することの影響を予測するために制御ユニット１０２において用いられる。

【００７５】

しかしながら、異なる精度を有する運動モデルを制御ユニット１０２における異なるレイヤに適用することができるように、制御ユニット１０２における異なるレイヤは、遠い将来又は近い将来を高精度又は低精度に予測する必要がある。特に、メモリ２０２の第１のセクション２１１には、意思決定モジュール３０２及び計画制御モジュール３０３において用いられる車両の第１の運動モデル及び車両の第２の運動モデルが記憶される。

【００７６】

加えて、車両の運動モデルは、制御下にある車両の周囲の交通参加者の運動を予測するのに用いられる。

【００７７】

（車両の第１の運動モデル）

車両の第１の運動モデル

【数２】

$$x_1(t+1) = f_1(x_1(t), u_1(t), w(t)) \quad (2)$$

は、車両がどの中間目標を達成することができるのか及び次の特定の目標への推移がいつ行われるのかを選択するために、意思決定モジュール３０２において用いられる。この運動モデルは、車両の第２の運動モデルよりも次数が低く、パラメータが少ない。なぜならば、この運動モデルは、将来をより長く予測する必要があり、したがって、より少ない計算を行うことを必要とするからである。

【００７８】

例えば、本開示の幾つかの実施形態は、車両の第１の運動モデル（２）として、状態$x_1 = (p_x, p_y, v, \theta)$と、入力$u_1 = (u_v, u_\theta)$と、擾乱$w = (w_1, w_2, w_3, w_4)$とを有する一輪車運動モデルを用いる。これらの式において、(p_x, p_y)は非運動デカルト座標系に対する位置ベクトルであり、ｖは速度であり、θは進行方向であり、u_vは加速度であり、u_θは進行方向の変化であり、擾乱ｗは、集中した外部の擾乱を表し、対応する式に関する誤差をモデル化したものである。

【数３】

$$\begin{aligned} p_x(t+1) &= p_x(t) + T_s^{(1)} v(t)\cos(\theta(t)) + w_1(t) \\ p_y(t+1) &= p_y(t) + T_s^{(1)} v(t)\sin(\theta(t)) + w_2(t) \\ v(t+1) &= v(t) + T_s^{(1)} u_v(t) + w_3(t) \\ \theta(t+1) &= \theta(t) + T_s^{(1)} u_\theta(t) + w_4(t) \end{aligned} \quad (3)$$

上記の式において、$T_s^{(1)}$は車両の第１の運動モデルのサンプリング期間である。

【００７９】

（車両の第２の運動モデル）

車両の第２の運動モデル

【数４】

$$x_2(t+1) = f_2(x_2(t), u_2(t), w(t)) \quad (4)$$

は、意思決定モジュール３０２によって決定された目標を実際に達成する車両軌道を計算するために、運動計画サブモジュール３０４において用いられる。運動計画サブモジュール３０４によって計算された軌道は、目標を達成するために車両によって実際に実行されなければならないので、運動計画サブモジュール３０４によって用いられる車両の運動モデルは、より精密である必要があり、したがって、より高い次数、より多くのパラメータ及び場合によってはより複雑な式を有する。しかしながら、運動計画サブモジュール３０４の予測は、通常、意思決定の予測よりも短いので、より高い次数の運動モデルは、それでも、必要とされる計算の観点から実現可能である。

【００８０】

例えば、本開示の幾つかの実施形態は、車両の第２の運動モデル（４）として、状態$x_1 = (p_x, p_y, v_x, \theta, \delta)$と入力$u_2 = (u_v, u_\delta)$とを有する自転車の運動モデルを用いる。これらの式において、(p_x, p_y)は非運動デカルト座標系に対する位置ベクトルであり、v_xは、速度ベクトルの縦成分であり、θは進行方向であり、δはステアリング角度であり、u_vは加速度であり、u_δはステアリング角度の変化である。

【数５】

$$p_x(t+1) = p_x(t) + T_s^{(2)} v_x(t) \frac{\cos(\psi(t)+\beta(t))}{\cos(\beta(t))}$$

$$p_y(t+1) = p_y(t) + T_s^{(2)} v_x \frac{\sin(\psi(t)+\beta(t))}{\cos(\beta(t))}$$

$$\theta(t+1) = \theta(t) + T_s^{(2)} v_x(t) \frac{\tan(\delta(t))}{L}$$

$$v_x(t+1) = v_x(t) + T_s^{(2)} u_v$$

$$\delta(t+1) = \delta(t) + T_s^{(2)} u_\delta \qquad (5)$$

上記の式において、Ｌは、ホイールベースＬ＝ｌ$_{f}$＋ｌ$_{r}$であり、ｌ$_{f}$及びｌ$_{r}$は、車両質量中心からの前車軸距離及び後車軸距離であり、β＝ａｒｃｔａｎ（ｌ$_{r}$ｔａｎ（δ）／Ｌ）は車体スリップ角であり、Ｔ$_{s}$$^{（２）}$は車両の第２の運動モデルのサンプリング期間であり、一般にＴ$_{s}$$^{（２）}$＜Ｔ$_{s}$$^{（１）}$である。

【００８１】

（車両の運動モデルの入力に対する制約）

車両軌道を正確に計算するには、車両の運動モデルの状態及び入力に対する制約を考慮しなければならない。そのような制約は、最小ステアリング角度及び最大ステアリング角度、角速度、加速度及びブレーキング等のアクチュエータの許容された範囲と、最小速度及び最大速度等の法定要件及び安全要件とによって決定される。制約によって、第１の運動モデルの状態ベクトル及び入力ベクトルに境界が生じ、

【数６】

$$x_1 \in X_1 \qquad (6a)$$

$$u_1 \in U_1 \qquad (6b)$$

第２の運動モデルの状態ベクトル及び入力ベクトルに境界が生じる。

【数７】

$$x_2 \in X_2 \qquad (7a)$$

$$u_2 \in U_2 \qquad (7b)$$

【００８２】

これらの境界は、運動モデルにおいて動作する意思決定計画アルゴリズムによって満たされるべきである。

【００８３】

（車両の第１の運動モデル及び車両の第２の運動モデルの整合）

本開示の幾つかの実施形態では、擾乱ｗは、目標を達成するための制約（６ａ）、（６ｂ）を満たす車両の第１の運動モデル（２）の状態の軌道が見つかると、同じ目標を達成する制約（７ａ）、（７ｂ）を満たす車両の第２の運動モデル（４）の状態の軌道が見つかることを確実にするために用いられる。

【００８４】

このために、（７ａ）を満たす車両の第２の運動モデルの全ての状態ｘ$_{2}$及び（６ｂ）を満たす全ての入力ｕ$_{1}$について、以下の式となるような集合Ｗ内のベクトルｗ及び（７ｂ）を満たす入力ｕ$_{2}$が存在するように、集合Ｗを設計することができる。

【数８】

$$f_1(T_1(x_2), u_1, w) = f_2(x_2, u_2) \tag{8}$$

上記の式において、T_1は、（６ａ）を満たす車両の第１の運動モデルの状態を、（７ａ）を満たす車両の第２の運動モデルの状態に関連付ける既定の変換である。T_1の一例は、x_2の空間の特定の部分空間における射影演算子である。

【００８５】

（交通参加者の運動モデル）

本開示の幾つかの実施形態では、意思決定モジュール３０２及び計画制御モジュール３０３は、メモリ２０２の第１のセクション２１１に記憶された交通参加者の第１の運動モデル及び交通参加者の第２の運動モデルを用いて、道路に存在する他の車両の将来の挙動を予測する。ここで、交通参加者の第１の運動モデルは、交通参加者の第２の運動モデルよりも計算の観点から評価が簡単である。

【００８６】

交通参加者の第１の運動モデル及び交通参加者の第２の運動モデルによる交通参加者の状態x_{t1}、x_{t2}は、制御下にある車両が現在位置しているエリアにおける道路上の全ての交通車両の状態を組み合わせることによって取得される。

【数９】

$$x_{ti} = (x_{ti}^{(1)}, \ldots, x_{ti}^{(N_T)}),\ i = 1,2 \tag{9}$$

上記の式において、例えば、$x_{t1}^{(1)}$は、交通参加者の第１の運動モデルによる第１の交通車両の状態であり、N_Tは、交通参加者における全車両の数である。交通参加者の第１の運動モデルは、以下の第１の式に従って交通参加者における各車両の運動を記述する。

【数１０】

$$x_{t1}^{(i)}(t+1) = f_{t1}(x_{t1}^{(i)}(t), u_{t1}^{(i)}(t), w_{t1}^{(i)}(t)) \tag{10}$$

上記の式において、$u_{t1}^{(i)}$、$w_{t1}^{(i)}$は、交通参加者の第１の運動モデルによる交通参加者における第ｉの車両への入力及び擾乱である。

【００８７】

交通参加者の第２の運動モデルは、以下の第２の式に従って交通参加者における各車両の運動を記述する。

【数１１】

$$x_{t2}^{(i)}(t+1) = f_{t1}(x_{t2}^{(i)}(t), u_{t2}^{(i)}(t), w_{t2}^{(i)}(t)) \tag{11}$$

上記の式において、$u_{t2}^{(i)}$、$w_{t2}^{(i)}$は、交通参加者の第２の運動モデルによる交通参加者における第ｉの車両への入力及び擾乱である。

【００８８】

制御ユニット１０２は、交通状況についての情報をセンサ及び通信１０４ａ、１０４ｂから受信する。式（１０）、（１１）は、一輪車の運動モデル（２）又は自転車の運動モデル（４）等の任意の標準的な車両の運動モデルによって指定することができる。

【００８９】

（許容された中間目標の計算）

（目標の達成）

意思決定モジュール３０２は、メモリの第３のセクション２１３に記憶された静的な地図を用いてルーティングモジュール３０１からの情報を処理して、目標系列を生成し、１

つ以上の択一的な現在の目標を選択して計画制御モジュール３０３に提供する。計画制御モジュール３０３は、それらの目標を用いて、センサ及び通信１０４ａ、１０４ｂからの情報を用いることによって現在の軌道を決定し実行する。目標q_iは、目標q_iの目標集合と呼ばれる以下の式によって表される、車両の第１の運動モデル（２）の状態の集合に関連付けられる。

【数１２】

$$\mathcal{G}(q_i) \subset X_1 \tag{12}$$

車両の第１の運動モデル（２）の状態が目標集合

【数１３】

$$\mathcal{G}(q_i)$$

内にあるときは常に、目標q_iは達成されている。例えば、q_iが車線Ｌ１の目標８０１である場合には、対応する目標集合

【数１４】

$$\mathcal{G}(q_i)$$

は、車線Ｌ１のセンターラインの周辺の状態の集合である。q_iが車線Ｌ１における停止線Ｓ１に停止するという目標７１０である場合には、対応する目標集合

【数１５】

$$\mathcal{G}(q_i)$$

は、車線Ｌ１における停止線Ｓ１においてゼロ速度である。

【００９０】

車両状況は、前述したように、最大ステアリング、ステアリングレート、加速度等の車両特性に基づいて車両の状態空間における領域を決定する。車両状況及び車両の第１の運動モデルは、メモリの第１のセクション２１１に記憶されている。現在の時刻において、現在の中間目標について、現在の車両状態が、推移が目標グラフに基づいて許容されている別の中間目標の領域内にある場合には、そのような目標は達成することができ、意思決定モジュールは、その目標を次の期間の中間目標として選択することができる。例えば、図１０において、車線Ｌ１の目標８０１、車線Ｌ２の目標８０２、及び車線Ｌ１において減速するという目標８０３は、３つの領域１００１、１００２、１００３に関連付けることができる。中間目標のそのような領域は、後方可到達集合として構築される。

【００９１】

本開示の幾つかの実施形態は、目標集合の後方可到達集合を計算し、現在の車両状態が、計算量が限られている集合内にあるか否かを判断する。目標集合

【数１６】

$$\mathcal{G}(q_i)$$

が与えられると、車両の第１の運動モデル（２）の１ステップ後方可到達集合は、以下のように構築される。

【数１７】

$$\mathrm{Pre}(\mathcal{G}(q_i)) = \{x_1 \in X_1 : \exists u_1 \in U_1 \text{ such that } f_1(x_1, u_1, w) \in \mathcal{G}(q_i),\ \forall w \in W\} \tag{13}$$

【００９２】

任意の数のステップの後方可到達集合が、以下の再帰に基づいて構築される。

【数１８】

$$\mathrm{Pre}^0(\mathcal{G}(q_i)) = \mathcal{G}(q_i) \tag{14a}$$

$$\mathrm{Pre}^{k+1}(\mathcal{G}(q_i)) = \mathrm{Pre}\left(\mathrm{Pre}^k(\mathcal{G}(q_i))\right) \tag{14b}$$

【００９３】

（２）に従ってｎ個のステップの後に車両の第１の運動モデルの状態ｘ$_1$を目標集合

【数１９】

$$\mathcal{G}(q_i)$$

に到達させる長さｎの入力系列が存在することは、その状態が、以下の式のようにｎステップ後方可到達集合に属するか否かを確認することによって検証される。

【数２０】

$$x_1 \in \mathrm{Pre}^n(\mathcal{G}(q_i)) \tag{15}$$

【００９４】

車両の第１の運動モデルの状態ｘ$_1$が目標集合

【数２１】

$$\mathcal{G}(q_i)$$

に到達する任意の長さの入力系列が存在することは、その状態が、以下の式のように任意のステップ長の後方可到達集合の和集合に属するか否かを確認することによって検証される。

【数２２】

$$x_1 \in \bigcup_{k=0}^{\infty} \mathrm{Pre}^k(\mathcal{G}(q_i)) \tag{16}$$

【００９５】

意思決定モジュール３０２は、現在の目標ｑ$_i$から、推移が目標グラフに基づいて許容されている別の中間目標ｑ$_{i+1}$への推移を達成することができるか否かを、車両の第１の運動モデルの現在の状態ｘ$_1$が現在の中間目標ｑ$_i$の目標集合に含まれるか否かと、車両の第１の運動モデルの車両状態を目標ｑ$_{i+1}$の目標集合に移す入力系列が存在するか否かとを確認することによって判断する。具体的には、意思決定モジュール３０２は、現在の目標ｑ$_i$の目標集合と、目標ｑ$_{i+1}$の目標集合

【数２３】

$$\mathcal{G}^*(q_{i+1})$$

の任意の数のステップの後方可到達集合との交差集合である集合

【数２４】

$$\mathcal{G}^*(q_i) := \mathcal{G}(q_i) \cap \bigcup_{k=0}^{\infty} \mathrm{Pre}^k(\mathcal{G}^*(q_{i+1})) \tag{17}$$

を構築し、次に、

【数２５】

$$x_1 \in \mathcal{G}^*(q_i) \tag{18}$$

であるか否かを確認する。

【００９６】
幾つかの実施形態は、現在の目標集合と別の目標集合の後方可到達集合の和集合との交差集合（１７）が、後方可到達集合の和集合（１６）と比較して計算により便利であるという理解に基づいている。これは、現在の目標集合
【数２６】

$$\mathcal{G}(q_i)$$

が単純な構造を有し、時間のほとんどが車両の第１の運動モデル（２）の縦方向挙動に集中しているからである。例えば、車線Ｌ１の目標８０１から車線Ｌ２の目標８０２への車線変更の場合、現在の中間目標は、車線Ｌ１に沿って進むという目標８０１であり、次の中間目標は、車線Ｌ２に沿って進むという目標８０２であり、車線Ｌ１において減速するという目標８０３は、現在の中間目標（車線Ｌ１の目標８０１）から次の中間目標（Ｌ１における停止線Ｓ１に停止するという目標７１０）への推移を示し、交差点を通過するという目標７０４は、車線Ｌ２１において停止線Ｓ３に停止するという現在の中間目標から車線Ｌ１３に沿って進むという次の中間目標への推移である。現在の中間目標は、車線に沿って進むこと及び停止することであり、したがって、集合
【数２７】

$$\mathcal{G}^*(q_i)$$

の計算は、車両の第１の運動モデル（２）の縦方向の運動に基づいていることに留意されたい。
【００９７】
【数２８】

$$\mathcal{G}^*(q_i)$$

の過小近似の計算は、最大ステアリング、ステアリングレート、加速度等の車両特性と、車両の第１の運動モデル（２）とに基づいている。
【００９８】
１つの実施形態は、交差点を通過するという目標に関するものである。例えば、交差点Ｉ３を通過するという目標７０４は、車線Ｌ２１において停止線Ｓ３に停止するという目標と、別の車線に沿って進むという目標、すなわち、車線Ｌ１３に沿って進むという目標８１１又は車線Ｌ１４に沿って進むという目標８１２のいずれかとを接続する。車線Ｌ２１から車線Ｌ１３（又は車線Ｌ１４）へのそのような目標方位が、メモリの第３のセクション２１３に記憶された静的な地図上で実現可能であり、したがって、車両の第１の運動モデルの車両状態を、車線Ｌ２１における停止線Ｓ３から開始して交差点Ｉ３を通って別の車線Ｌ１３（又は車線Ｌ１４）に導く入力系列が存在する場合に、目標グラフはこの推移を可能にする。換言すれば、任意の停止線において停止するという目標集合と、目標グラフによって許容された別の中間目標集合の後方可到達集合の和集合との交差集合は、停止線において停止するという目標集合に等しい。
【数２９】

$$\mathcal{G}^*(S) = \mathcal{G}(S) \tag{19}$$

上記の式において、Ｓは停止線において停止するという目標を示す。
【００９９】
１つの実施形態は、減速して停止線で完全停止するという目標に関するものである。例えば、車線Ｌ１において減速するという目標８０３は、車線Ｌ１に沿って進むという目標８０１と、車線Ｌ１における停止線Ｓ１に停止するという目標７１０とを接続する。
【数３０】

$$\mathcal{G}^*(q_i)$$

の計算は、車両の最大減速度及び車両の第１の運動モデルに基づく。これは、車両の位置が車線Ｌ１の中心近くに維持された状態で、最大減速度が車線Ｌ１における停止線Ｓ１の前で完全停止をもたらす場合には、車両の第１の運動モデルの現在の状態が集合
【数３１】
$$\mathcal{G}^*(q_i)$$
にあることを示す。
【０１００】
１つの実施形態は、車線を変更するという目標に関するものである。一例は、車線Ｌ１に沿って進むという目標８０１から車線Ｌ２に沿って進むという目標８０２への推移である。メモリの第３のセクション２１３に記憶された静的な地図は、車線Ｌ１に沿った初期進行方向角度と、車線Ｌ２に沿った最終進行方向角度とを提供する。
【数３２】
$$\mathcal{G}^*(q_i)$$
の計算は、最も急な車線変更が、車両の第１の運動モデルの現在の状態において実現可能である場合に、他のいずれの滑らかな車線変更も実現可能であるという理解に基づいている。最も急な車線変更は、車両の第１の運動モデル（２）に基づいて車両速度が最小の非ゼロである場合の最大及び最小のステアリング及びステアリングレートによって決定される。これによって、車両の第１の運動モデルの現在の状態x_1における最も急な車線変更が実現可能である場合には、
【数３３】
$$x_1 \in \mathcal{G}^*(q_i)$$
であるという結論が得られる。
【０１０１】
この方法を適用すると、限られた量の計算を用いて、車両の第１の運動モデルの現在の状態と、目標集合
【数３４】
$$\mathcal{G}^*(q_i)$$
、都市部での運転において起こる他の様々な目標及び推移とのメンバーシップを判断することが可能である。
【０１０２】
（交通参加者）
交通参加者との衝突及び他の危険な相互作用の回避は、或る目標を次の中間目標として選択することを可能にする領域のサイズを更に削減する。削減された車両状態の領域は、車両の第１の運動モデル（２）に従って次の目標を達成することができる車両状態の領域から、交通参加者の第１の運動モデル（１０）に従って他の車両との衝突又は危険な相互作用を必然的にもたらす車両状態の領域を除去することによって取得することができる。１つの実施形態は、削減された領域を明確に計算するのではなく、車両の第１の運動モデルの状態が、削減された領域にあるか否かを判断することが必要であるという理解に基づいている。このメンバーシップを確認するために、衝突を回避し、次の目標に到達するような、車両の第１の運動モデルの現在の状態から開始する車両の第１の運動モデルの有限の状態系列の存在が判断される。
【０１０３】
意思決定モジュール３０２は、以下の条件を満たす車両の第１の運動モデルの安全な状態系列が存在するか否かを確認することによって、車両の第１の運動モデルの現在の状態が、交通参加者の第１の運動モデルに従って他の交通参加者との衝突を回避しながら次の目標を達成することができる削減された領域にあるか否かを判断する。

【０１０４】
安全な系列の存在は、（１）状態のうちの１つが次の目標に到達し、（２）状態のいずれもが交通参加者の第１の運動モデルに従って他の車両の状態と重なり合わず、（３）最後の状態が、その後の時間ステップにおいて差し迫った衝突をもたらさない入力の存在を保証するような車両の第１の運動モデルの有限の状態系列が存在することを検証することによって確認される。
【０１０５】
安全な系列の最後の状態がその後の時間ステップにおいて差し迫った衝突をもたらさない入力の存在を保証することを検証するために、制御不変集合が、車両の第１の運動モデルの状態をその後の時間ステップにおいてその集合内に維持する入力が存在する車両の第１の運動モデルの状態の集合として構築される。
【０１０６】
衝突集合Ｃが、車両の第１の運動モデル（２）の状態と交通参加者の第１の運動モデル（１０）の状態との間の差の集合であって、車両の第１の運動モデル（２）の位置と同じ車線における交通参加者の第１の運動モデル（１０）の位置との間の距離が最小安全マージンよりも短い集合として構築される。第ｉの車両が、同じ車線における先頭車両であるとき、１ステップ不良集合（one-step bad set）が以下のように構築される。
【数３５】

$$B(C) = \{x_1 \in X_1 : \forall u_1 \in U_i, \exists w \in W, u_{t1}^{(i)}, w_{t1}^{(i)} \text{ such that } f_1(x_1, u_1, w) - f_{t1}(x_{t1}^{(i)}, u_{t1}^{(i)}, w_{t1}^{(i)}) \in C\} \quad (20)$$

上記の式において、$x_{t1}^{(i)}$は、交通参加者の第１の運動モデルに従った交通参加者における第ｉの車両の現在の状態である。
【０１０７】
任意の数のステップの不良集合が、以下の再帰に基づいて構築される。
【数３６】

$$B^0(C) = C \quad (21a)$$

$$B^{k+1}(C) = B\left(B^k(C)\right) \quad (21b)$$

【０１０８】
車両の第１の運動モデルの状態x_1を衝突集合Ｃの外部のｎステップに留まらせる長さｎの入力系列の存在は、以下の式のように、状態がｎステップ不良集合の補集合に属するか否かを確認することによって検証される。
【数３７】

$$x_1 \in \left(B^n(C)\right)^c \quad (22)$$

【０１０９】
本開示の１つの実施形態は、不良集合の和集合の補集合
【数３８】

$$\left(\bigcup_{k=0}^{\infty} B^k(C)\right)^c \quad (23)$$

が制御不変集合であるという理解に基づいている。車両の第１の運動モデルの状態x_1が衝突集合Ｃの外部に維持される任意の長さの入力系列が存在することは、以下の式のように、状態が任意のステップ長の不良集合の和集合の補集合に属するか否かを確認すること

によって検証される。

【数３９】

$$x_1 \in \Big(\bigcup_{k=0}^{\infty} B^k(C) \Big)^c \tag{24}$$

【０１１０】

不良集合は、車線における追突の構成を含むが、側面衝突の構成を含まないことに留意されたい。これは、安全な系列内の状態のうちの１つが次の目標に到達すべきであり、次の目標が車両の第１の運動モデルの縦方向部分に関連付けられているという理解に基づいている。例えば、車線Ｌ１の目標８０１から車線Ｌ２の目標８０２への車線変更の場合、現在の中間目標は、車線Ｌ１に沿って進むという目標８０１であり、次の中間目標は、車線Ｌ２に沿って進むという目標８０２であり、車線Ｌ１において減速するという目標８０３は、現在の中間目標（車線Ｌ１の目標８０１）から次の中間目標（Ｌ１における停止線Ｓ１に停止するという目標７１０）への推移を示し、交差点を通過するという目標７０４は、車線Ｌ２１において停止線Ｓ３に停止するという現在の中間目標から車線Ｌ１３に沿って進むという次の中間目標への推移である。次の目標は、車線に沿って進むこと及び停止することである。車両の第１の運動モデルの安全な系列における最後の状態は、制御不変集合（任意のステップ長の不良集合の和集合の補集合）内にあるべきであり、次の目標集合に既に到達しているので、不良集合は、車両の第１の運動モデル（２）の縦方向運動にのみ基づいて構築することができる。

【０１１１】

不良集合の計算は、車両の第１の運動モデル（２）及び交通参加者の第１の運動モデル（１０）の縦方向運動に基づいている。任意のステップ長の不良集合の和集合の補集合への車両の第１の運動モデルの状態x_1のメンバーシップは、先頭車両が適用する交通参加者の運動モデルの第１の運動モデルのどのような入力についても、車両の第１の運動モデルの最大ブレーキングが先頭車両との衝突を回避することができるか否かを確認することによって検証される。

【０１１２】

車両の第１の運動モデルの安全な状態系列$x_{\text{評価値}1}$＝（x_1（０），．．．，x_1（Ｎ））の存在は、以下の問題を解くことによって検証される。

【数４０】

$$\min_{\mathbf{x}_1, \mathbf{u}_1} J(\mathbf{x}_1, \mathbf{u}_1) \tag{25a}$$

Subject to

$$x_1(t+1) = f_1(x_1(t), u_1(t), 0), \forall t \in \{0, \ldots, N-1\} \tag{25b}$$

$$x_1(N_0) \in \mathcal{G}^*(q_{i+1}) \text{ for some } N_0 \leq N \tag{25c}$$

$$x_1(t) \notin O(x_{t1}^{(i)}(t)), \forall t \in \{0, \ldots, N\}, i \in \{1, \ldots, N_T\} \tag{25d}$$

$$x_1(N) \in \Big(\bigcup_{k=0}^{\infty} C^k(B) \Big)^c \tag{25e}$$

上記の式において、目的関数Ｊ（x_1，u_1）は、運動時間、燃料消費量、又は運転手の快適性等の或る性能を最適化するように選ぶことができる。この問題の解x_1は、車両の第１の運動モデルの安全な系列を構築する。なぜならば、制約（２５ｂ）は、車両の第１の運動モデルを示し、制約（２５ｃ）は、状態のうちの１つが次の目標集合に到達するこ

とを示し、制約（２５ｄ）は、車両状態が他の交通参加者の状態と重なり合わないことを示し、この制約において、Ｏ（$x_{t_1}^{(i)}$（ｔ））は、制約（２５ｄ）が車両の第１の運動モデルの全ての擾乱ｗについて車両間の衝突がないことを確保するような状態$x_{t_1}^{(i)}$（ｔ）の周辺の交通参加者の第１の運動モデルの状態の集合として構築され、制約（２５ｅ）は、最後の状態が、その後の時間ステップにおける入力の存在を保証する制御不変集合内にあることを示すからである。

【０１１３】

車両の第１の運動モデルの現在の状態x_1が、車両の第１の運動モデルに従って他の交通参加者との衝突を回避しながら次の目標を達成することができる削減された領域内にあるか否かを検証するために、x_1（０）＝x_1から開始する安全な系列が存在するか否かを確認する問題（２５）が解かれる。本開示の幾つかの実施形態は、車両の第１の運動モデルの極端な入力のみを利用することによって、制約（２５ｂ）～（２５ｅ）を線形不等式の集合として近似することが可能であるという理解に基づいている。

【０１１４】

問題（２５）は、コスト関数Ｊ（x_1，u_1）が線形である場合には、線形計画問題によって近似することができる。進行方向角度θ（０）、．．．、θ（Ｎ）のプロファイルを、最大及び最小のステアリング入力を適用することによって計算することができる最も急なカーブとして固定することによって、動的制約（２５ｂ）は線形になる。目標集合

【数４１】

$$\mathcal{G}^*(q_i)$$

は、必然的に凸であり、そのため、制約（２５ｃ）は、線形不等式の集合によって近似することができ、その境界は、最大及び最小の加速度、ブレーキング、及びステアリングの入力を利用することによって計算される。不良集合の補集合

【数４２】

$$(\cup_{k=0}^{\infty} B^k(C))^c$$

は、必然的に凸であり、そのため、制約（２５ｅ）は、線形不等式の集合によって近似することができ、その境界は、最大及び最小の加速度及びブレーキングを利用することによって計算される。制約（２５ｄ）は必然的に凸でない。ｋ＝０，．．．，Ｎの交通参加者の第１の運動モデルの状態$x_{t_1}^{(i)}$（ｔ）の知識に基づいて、制約（２５ｄ）は、車両の第１の運動モデルの状態があらゆる衝突を回避しながら次の目標に到達する広いチューブ（tube）を生成することによって凸にされ、それによって、状態$x_{t_1}^{(i)}$（ｔ）の位置に関して線形不等式の集合として近似される。

【０１１５】

本開示の１つの実施形態は、車両の第１の運動モデル及び車両の第２の運動モデルの間の関係（７）によって、車両の第１の運動モデルの安全な系列の存在が、状態のうちの幾つかが目標に到達し、全ての状態が他の交通参加者と衝突せず、最後の状態が制御不変集合にある車両の第２の運動モデルの有限の状態系列の存在を保証することである。

【０１１６】

計算負荷は、問題（２５）を解くことによって意思決定モジュール３０２に安全な系列を生成させないが、計画制御モジュール３０３内の運動計画サブモジュール３０４に、車両の第２の運動モデルの安全な状態系列の存在を確認させることによって更に削減することができる。この場合に、意思決定モジュール３０２は、障害物が存在しないときに達成可能な中間目標及び関連付けられたパラメータのみを計画制御モジュール３０３に提供する。

【０１１７】

上記では、全て（メモリの第１のセクション２１１に記憶された車両の第１の運動モデル、及び第１の運動モデルと第２の運動モデルとの間の誤差の境界）を用いた。

【０１１８】

（複数の目標を有する計画の計算）
意思決定モジュール３０２によって１つ以上の択一的な現在の目標を選択することに基づいて、計画制御モジュール３０３の目的は、これらの目標を用いて、センサ及び通信１０４からの情報を用いることによって現在の軌道を実行することである。
【０１１９】
運動計画サブモジュール３０４は、意思決定モジュール３０２によって与えられた目標のうちの少なくとも１つへの軌道を決定し、コスト関数に従って目標に到達する軌道を比較する。運動計画サブモジュール３０４は、メモリの第１のセクション２１１に記憶された車両の第２の運動モデルを用いて、車両の運動に対する要件を達成する軌道を決定する。
【０１２０】
図１６は、本開示の実施形態による、道路上で運転する自律車両の運動に対する可能な要件の例示的なリストを示している。運動に対する要件は、車両の運動に対する制約にマッピングすることができる。例えば、車両の運動に対する要件は、車両が道路上に留まる（１６００）ことを規定することができる。可能な追加の要件は、車両が公称速度を用いて（１６２０）車線の中央を運転すべきである（１６１０）ことを規定することができる。公称速度は、地図から取得又は検知システムによって検知された道路制限速度によって与えることもできるし、車両の運転手又は同乗者が与えることもできるし、意思決定モジュール３０２によって計算された目標内に符号化することもできる。例えば、図１６を参照すると、意思決定モジュール３０２は、車両が停止線５０１に停止することを規定することができる。例えば、これらの要件は、車両が周囲の障害物までの安全マージンを維持することも規定することができる。周囲の障害物は、センサ１０５によって検出することができ、障害物の将来の挙動は、予測システムによって予測することができる。加えて、別の可能な要件は、同じ車線にいる車両までの安全距離を維持することである（１６４０）。これは、１６３０と同じものとすることができるが、一般的には同じではない。同乗者の快適性、燃料消費量、摩損、又は他の理由から、仕様は、車両の滑らかな運転（１６５０）を規定することができる。図１６に表にされているような要件は、互いに効果を打ち消している可能性がある。例えば、周囲の障害物までの安全マージンを維持（１６３０）しながら定速度を維持する（１６２０）ことが不可能であることもあるし、仕様（１６１０）が、車両が幾つかの車線のうちの１つの中央を維持すべきことのみを明示することもある。
【０１２１】
幾つかの実施形態では、運動計画サブモジュール３０４は、意思決定モジュール３０２からの択一的な目標のそれぞれに到達する軌道を決定し、それらの軌道を運転要件に対する性能の観点から比較する。しかしながら、幾つかの実施形態は、全ての可能な目標を余すことなく検査することは、時に、計算上法外なものとなる可能性があることを理解している。
【０１２２】
このために、幾つかの実施形態は、運転要件及び目標を、運動計画システムの軌道が満たすべき運動に対する制約$y_k = h(x_k)$として記述する。例えば、目標のうちの１つが公称速度v_{nom}における車線Ｌ１であり、２つの状態が位置ｐ及び車両の速度ｖである場合に、理想的には、$v_{nom} = v$であり、位置ｐは、車線Ｌ１の座標に非常に近くあるべきである。すなわち、車両の速度は公称速度と同じであるべきであり、位置は車線の中央にあるべきである。
【０１２３】
１つの実施形態では、ランダム雑音源e_kが制約に追加される。すなわち、$y_k = h(x_k, e_k)$となる。雑音源e_kは、組み合わされた対象を正確に満たすことが可能でない場合があり、おそらく可能でないことを考慮する。雑音源は、幾つかの方法で選ぶことができる。例えば、雑音源は、$y_k = h(x_k) + e_k$を与えるゼロ平均及び共分散行列R_kを有する加法的ガウスＰＤＦとして、すなわち、ｅｋ～Ｎ（０，R_k）として選ぶこ

ともできるし、最小値及び最大値を有する一様分布として選ぶこともできるし、乗法性雑音として選ぶこともできる。雑音源は、用途固有の方法で選ぶことが可能である。ＰＤＦに関して、仕様は、$y_k \sim p(y_k \mid x_k)$として記述することができる。

【０１２４】

そのために、本開示の１つの実施形態では、車両の運動に対する制約は、道路の中央からの車両の位置のずれに関する範囲、車両の現在の加速度及び進行方向角度からの変化に関する範囲、車両の所望の速度プロファイルからのずれに関する範囲、並びに道路上の障害物までの最小距離に関する範囲のうちの１つ又は組み合わせを含む。車両の運動に対する制約は、確率的なものとすることができ、道路の中央からの車両の位置のずれの確率、車両の現在の加速度及び進行方向角度からのずれの確率、車両の所望の速度プロファイルからのずれに関する確率、道路上の障害物までの最小距離に違反することに関する確率のうちの１つ又は組み合わせを含むことができることが可能である。

【０１２５】

意思決定モジュール３０２から決定された目標は、種々の形態を取ることができる。例えば、１つの実施形態では、各目標集合は、車両の状態空間内の領域であり、別の実施形態では、目標集合は対象車線であり、第３の実施形態は、車両速度及び側方位置の組み合わせを目標領域として用いる。

【０１２６】

図１７Ａは、本開示の一実施形態による、軌道を決定し車両を制御する方法のブロック図を示している。この方法は、車両のプロセッサを用いて実施することができる。この方法は、意思決定モジュール３０２から決定された目標領域の集合（１７０９）から目標領域１７１１を決定する（１７１０）。次に、メモリに記憶された車両の第２の運動モデル１７１５及び車両の運動に対する制約１７１７を用いて、方法は、車両の運動モデル１７１５に適用されると、車両の運動に対する制約１７１７を満たしながら目標領域に到達する軌道１７２１を与える良好な軌道及び一組の制御入力を決定する（１７２０）。車両の第２の運動モデル１７１５は、運動モデルが車両の実際の運動の正確なものでないことを捉え、検知誤差を考慮するために、車両の運動に関する不確実性を含むことができる。方法は、終了条件１７３０が満たされるまで反復する（１７３１）。条件１７３０が満たされると、方法は、目標領域１７１０に到達する生成された軌道１７２１の中で最良の軌道１７４１を選択する（１７４０）。例えば、終了条件は、期間又は所定の反復回数とすることができる。

【０１２７】

次に、方法は、最良の軌道１７４１に対応する制御入力系列を、車両の少なくとも１つのアクチュエータへの制御コマンド１７５１にマッピングし（１７５０）、この制御コマンドに従って車両の運動を制御する（１７６０）。

【０１２８】

幾つかの実施形態では、目標領域を決定すること（１７１０）は、余すことなく行われる。すなわち、全ての目標１７０９が反復的に選択される（１７３１）。他の実施形態は、目標を統計的に決定する（１７１０）。これは、例えば、目標領域１７０９の数が非常に多く、全ての目標にわたって反復する（１７３１）ことを計算上行うことができないときに有利である。

【０１２９】

図１７Ｂは、本開示の一実施形態による目標１７１１の決定１７１０の例示的な実施態様を示している。決定１７１０は、運動計画サブモジュール３０４の実行中に選択された軌道１７４０、他の車両等の環境の予測された挙動、及び図１６にあるような運転の優先事項についての情報を用いる。決定１７１０は、目標の集合１７０９内の各目標が好ましい目標である確率を求める（１７１０ｂ）。決定１７１０は、次に、確率（１７１０ｂ）に従って目標領域の集合１７０９から目標をサンプリングする（１７２０ｂ）。目標をサンプリングした（１７２０ｂ）後、対応する目標は、目標の集合１７０９から除去され（１７３０ｂ）、したがって、軌道が既に計算された目標に対して運動計画サブモジュール

３０４が労力を費やすことがないようにされる。

【０１３０】

これらの確率は、幾つかの方法で求めることができる。例えば、モードを完全停止（Ｓ）、車線維持（ＳＬ）、左への車線変更（ＣＬＬ）、及び右への車線変更（ＣＬＲ）とすると、１つの実施形態は、可能な目標をモードの集合Ｍ＝｛Ｓ，ＳＬ，ＣＬＬ，ＣＬＲ｝としてモデル化し、各意思決定に関連付けられた推移確率を有する有限状態マルコフ過程を用いる。推移確率は、検知システムから感知された運転状況を、意思決定モジュール３０２から伝達された情報と組み合わせることで求めることができる。任意の２つのモードｊ及びｉの間の推移モデルは、確率密度関数をｐとすると$m_j \sim p(m_j \mid m_i)$である。

【０１３１】

幾つかの反復において、中間目標は、衝突の危険から離れている確率と、車両の第２の運動モデルに対する制約を満たす確率と、これまでの反復中に選択された中間目標と一貫している確率と、これまでの反復中に決定された軌道と一貫している確率との組み合わせに従ってランク付けされる。

【０１３２】

例えば、１つの実施形態は、それぞれの目標を実現するために車両への制御入力をどれだけ変化させる必要があるのかに関して目標をランク付けする。すなわち、これまでに決定された軌道について、これまでに決定された軌道から逸脱する場合にしか特定の目標を実現することができない場合には、その目標には、より低い優先順位が与えられる。別の実施形態では、道路上の他の物体との衝突の危険を避ける軌道を与える可能性がより高い目標には、より高いランクが与えられる。

【０１３３】

他の実施形態は、他の基準を用いて、重要度に関して相互間で目標をランク付けする。例えば、１つの実施形態は、これまでに選ばれた目標と類似する目標をより高くランク付けする。例えば、２車線道路上に２つの中間の任意選択の目標があり、それらの目標のそれぞれが車線のいずれかに沿って進むことを可能にする場合、及び、意思決定モジュール３０２の以前の反復において、意思決定モジュール３０２が左車線に到達することに対応する目標を決定していた場合には、左車線に留まるという現在の任意選択の目標に優先度が与えられる。

【０１３４】

図１７Ｃは、本開示の一実施形態による良好な軌道及び対応する制御入力１７２１を決定する（１７２０）方法１７９９のフローチャートを示している。この方法は、車両の初期状態から車両の対象状態への車両の運動を指定する制御入力系列を反復的に決定する。異なる実施形態では、初期状態は車両の現在の状態であり、及び／又は、初期状態は、方法の以前の反復中に決定された制御入力に対応する状態である。

【０１３５】

図１７Ｄは、本開示の一実施形態による車両の状態を接続する状態推移によって定義される運動を示している。各状態は、車両の位置、速度、及び進行方向を含む。軌道は、終了条件が満たされるまで、例えば、或る期間の間又は所定の反復回数の間、反復的に決定される。図１７Ｃの方法の反復は、以下のステップを含む。

【０１３６】

方法は、初期状態と、制御入力の集合と、状態及び推移が車両の状態に対する静的及び動的な制約を満たすような対応する状態推移の集合とを決定する（１７２０ｃ）。例えば、方法は、図１７Ｄにおける状態１７８０ｄと、状態推移１７８１ｄと、状態１７６０ｄとを決定する。

【０１３７】

図１７Ｅは、本開示の１つの実施形態による状態の集合を決定する（１７２０ｃ）例示的な実施態様のフローチャートを示している。決定１７２０ｃは、以前の反復を用いて決定された環境及び状態についての情報を用いる。以前の状態の例には、図１７Ｄにおける

状態１７２０ｄ、１７８０ｄ、１７７０ｄ、及び１７９０ｄがある。

【０１３８】

例示的な実施態様は、状態の初期検出を実行する（１７０１ｅ）。これが方法の最初の反復である場合には、初期状態は車両の現在の状態である。そうでない場合には、初期状態は多くの方法で決定することができる。例えば、初期状態は、目標領域１７１１の位置までの最小ユークリッド距離を有する状態として決定することもできるし、初期状態は、初期状態を数値１とし、以前の反復において決定された最後の状態を数値Ｍとした場合に、［１，Ｍ］の間の一様整数乱数を生成することによって決定することもできるし、初期状態は、以前の反復中に決定された制御入力に対応する状態として決定することもできる。

【０１３９】

方法は、制御入力の集合を生成し（１７０２ｅ）、この制御入力の集合を用いて状態を予測する。幾つかの実施形態では、制御入力は、車両の第２の運動モデルの雑音源から生成される。例えば、制御入力は、ガウス分布から生成することもできるし、用途に合わせた確率分布から選ぶこともできるし、運転要件からのずれの組み合わせとして制御入力を生成するフィードバックコントローラを設計することによって生成することもできる。１つの実施形態では、制御入力の生成（１７０２ｅ）及び対応する状態の予測（１７０３ｅ）はループで行われ、反復回数は前もって決定することができる。

【０１４０】

図１７Ｆは、本開示の１つの実施形態による、車両の運動に対する制約を満たす状態への運動を生み出す各入力の品質を求める方法１７３０ｃのフローチャートを示している。各入力の品質が求められると、次の状態１７０３ｅの衝突の有無が最初に確認される（１７１１ｆ）。次の状態１７０３ｅ及びこの状態に通じる状態推移１７１１ｆに衝突がない場合には、状態が要件に整合していると判断され（１７１２ｆ）、各入力の確率が計算される（１７１３ｆ）。

【０１４１】

１つの実施形態では、衝突確認１７１１ｆが、次の状態が障害物と衝突すると判断した場合には、車両の運動に対する制約を満たす状態をもたらす入力の確率を０に設定することができる。衝突確認は決定論的とすることもできるし、確率論的とすることもできる。ここで、衝突は、衝突の確率が或る閾値を上回っている場合に発生すると仮定することができ、障害物の予測は、障害物の確率的運動モデルに従って行われる。

【０１４２】

図１７Ｇは、本開示の１つの実施形態による、自律車両の位置の予測１７１０ｇが障害物１７２０ｇの不確実性領域１７２１ｇと交差するとともに、障害物１７２０ｇが位置１７１０ｇにある確率が衝突閾値１７３０ｇよりも高い一例を示している。例えば、車両のセンサは、障害物の位置を時間の関数として求めることができる。運動計画サブモジュール３０４は、次の状態が障害物の不確実性領域と交差する確率を求め、次の状態が障害物の不確実性領域と交差する確率が衝突閾値を上回っているときは、生成された状態及び制御入力に０の確率を割り当てる。

【０１４３】

１つの実施形態では、領域１７２１ｇは、不確実性を考慮して予測モジュールから決定される。別の実施形態では、これらの領域は、意思決定モジュール３０２から決定される。例えば、図１０を参照すると、領域１００１、１００２、又は１００３は、１７２１ｇとして選ぶことができる。

【０１４４】

入力及び対応する状態の決定１７４０ｃは、幾つかの方法で行うことができる。例えば、１つの実施形態は、加重平均関数を用いて、

【数４３】

$$x_{k+1} = \sum_{i=1}^{N} \omega_{k+1}^{i} x_{k+1}^{i}$$

として状態を生成することによって制御入力を決定し、制御入力についても同様に決定する。別の実施形態は、最も高い確率を有する状態及び入力、すなわち、

【数４４】

$$i = argmax\, \omega_{k+1}^{i}$$

として制御入力を決定する。１つの実施形態は、固定数ｍ＜Ｎ個のサンプリングされた制御入力にわたって平均することによって制御入力を決定することが可能である。

【０１４５】

図１７Ｈは、本開示の１つの実施形態による、車両の軌道を選択する（１７５０ｃ）ブロック図を示している。目標１７１１に到達した全ての起動が、それらのコスト関数に従って確認され（１７４１ｈ）、最良のコストを与える軌道が決定され（１７４２ｈ）、対応する制御入力を有する軌道が車両制御システムに送信される（１７４３ｈ）。

【０１４６】

幾つかの実施形態は、運動計画サブモジュール３０４によって決定された軌道に従って車両を制御する（１７６０ｃ）。運動計画システムによって計算された軌道は、車両の制御システムへの基準軌道として用いられる。１つの実施形態では、制御入力は、車両制御システムへのフィードフォワード成分として用いられる。例えば、本開示の１つの実施形態は、デカルト平面位置の形態で基準軌道を用い、車両のステアリング角度及び加速度をフィードフォワード成分として用いる。１つの実施形態では、基準軌道は、車両の位置、速度ベクトル、及び進行方向を含む。

【０１４７】

図１８Ａは、本開示の様々な実施形態によって使用される幾つかの原理に従って決定される異なる運動の概略図を示している。運転可能エリア１８００ａは、障害物が存在するエリア１８２０ａを除く道路１８１０ａを含む。車線情報、車両の運転手、同乗者の意図、又は意思決定モジュール３０２から決定することができる好ましい運動１８３０ａは、車両の現在の状態１８５０ａから対象領域１８４０ａに到達するが、障害物１８２０ａの非運転可能エリアを通過する基準運動と解釈することができる。好ましい運動１８３０ａは、車両の状態にわたる確率密度関数（ＰＤＦ）１８３１ａの形の確率的制約としてモデル化することができ、好ましい運動１８３０ａはＰＤＦの平均であり、この平均からの許容されたずれは標準偏差１８３２ａとしてモデル化される。そのような場合には、運動には、それらの運動がＰＤＦ１８３１ａと交差する程度に応じて異なる確率が与えられる。運動計画は、障害物１８２０ａを回避するが、所望の運動１８３０ａと同じ位置において開始及び終了する運動１８６０ａ及び１８７０ａ等の運動を生成する。

【０１４８】

本開示の実施形態のうちの幾つかでは、運動は、第１に、良好な運動である確率に従って初期状態から対象状態への幾つかの運動を決定することと、第２に、公称運動及び他の性能尺度からのずれ、例えば、公称速度、周囲の障害物までの距離、又はステアリング入力の大きさからのずれを組み合わせた決定論的コスト関数を最適化することとによって計算される。例示として、運動１８６０ａは、所望の運動に近い状態にあるのに対して、運動１８７０ａは、小さなステアリング入力を維持することの重要性を示す。対象領域１８４０ａにつながる幾つかの異なる運動を計算することができ、コスト関数は、どの運動を選択するのかを決定する。

【０１４９】

図１８Ｂは、本開示の幾つかの実施形態によって使用される幾つかの原理に従って決定される異なる運動の概略図を示している。自律車両は、第１の車線における運動障害物１

８２０ｂとともに、車線分離標１８１０ｂを有する２車線道路上の現在の状態１８５０ａにある。意思決定モジュール３０２から決定された２つの目標領域１８４０ａ及び１８４１ｂがある。運動に対する要件は、車両が、この要件からのそれぞれの許容された確率的なずれ１８６１ｂ及び１８７１ｂを有する２つの車線１８６０ｂ及び１８７０ｂのいずれかを維持すべきこととすることができ、そのため、運動計画は、目標のいずれかに到達する限り、第１の車線に留まるか又は第２の車線に運動するかのいずれかを決定することができる。黒色の線１８８０ｂ及び１８９０ｂは、運動計画サブモジュール３０４によって計算された２つの可能な運動を示している。軌道１８９０ｂは、この経路のほぼ中間地点を過ぎるまで要件１８６０ｂを満たしていない。したがって、コスト関数が、要件１８６０ｂからのずれに関して大きな重みを有する場合には、目標１８４０ａに到達する軌道が選ばれることになる。

【０１５０】

図１８Ｃは、本開示の１つの実施形態による、公称速度、この場合には定速度を維持するという要件１８６０ｃとともに、１８８０ｂ及び１８９０ｂに対応するそれぞれの速度プロファイル１８８０ｃ及び１８９０ｃを示している。図１８Ｃでは、軌道１８８０ｂに対応する速度１８８０ｃは制約を満たしていない。本開示の幾つかの実施形態は、最良の運動を決定するときにこれらの２つの要件及び追加の要件をともに重み付けする。

【０１５１】

図１９は、本開示の幾つかの実施形態による運動計画システムと車両コントローラとの間の相互作用の概略図を示している。例えば、本開示の幾つかの実施形態では、車両１０１の車両制御サブモジュール３０５は、車両１０１の回転及び加速度を制御するステアリングコントローラ１９１０及びブレーキ／スロットルコントローラ１９２０である。一方、１つの実施形態では、運動計画サブモジュール３０４は、運動計画サブモジュール３０４における制御入力がステアリング及び速度であるような運動モデルを用いる。そのために、車両制御サブモジュール３０５が、この制御入力を、車両のステアリングホイール及び／又はブレーキ等の車両の少なくとも１つのアクチュエータへの制御コマンドにマッピングし、車両のアクチュエータへのこの制御コマンドを用いて車両の運動を制御する。

【０１５２】

例えば、運動計画の制御入力は、車両制御サブモジュール３０５の基準軌道に追加することができる。１つの実施形態では、車両を動かすために運動計画において計算される制御入力は、例えば、運動計画サブモジュール３０４の制御入力が１９１０及び１９２０と部分的に同じであるときは、真の車両制御システムへのフィードフォワード制御入力として用いられる。そのように行うと、真の車両制御システムは、運動計画におけるモデル化誤差に起因したずれのみを制御する。

【０１５３】

運動計画サブモジュール３０４は、コスト関数

【数４５】

$$J(x,u,\sigma_y) = j\left(x(T),u(T),\sigma_y(t)\right) + \int_0^T g\left(x(t),u(t),\sigma_y(t)\right)dt$$

を最小にすることと、車両の運動に対する制約を満たし障害物との衝突を回避することとを条件として運動を選択する。１つの実施形態は、

【数４６】

$$J = \int_0^T k_1||p - p_{ref}|| + k_2||v - v_{ref}||dt$$

としてコスト関数を選ぶ。この式において、k_1及びk_2は、ユークリッド距離に関する正の重みであり、p_{ref}及びv_{ref}は、意思決定モジュール３０２から得られるそれ

ぞれ所望の経路及び速度であるか、又は、例えば、運転手若しくは同乗者の入力から事前に決定若しくは計算されるか、若しくはカメラから推定され、ｐ及びｖは車両の位置及び速度である。他の実施形態では、コスト関数は、Ｔを初期状態から目標１７１１に到達するための運動の時間とすると、Ｊ＝Ｔとして選ばれる。更に別の実施形態は、Δδ及びΔｖを、２つの連続した時間ステップの間のそれぞれステアリング差及び速度差として、ｇ＝k_1Δδ＋k_2Δｖを用い、逆の場合も同様である。他の実施形態では、性能の評価値は、車両の搭乗者の快適性レベルの尺度を含む。例えば、快適性レベルは、車両の所望の横加速度、所望のステアリングレート、及び所望の縦加速度にマッピングされる車両の搭乗者のエクスペリエンスから求めることができる。

【０１５４】

（特徴）

本開示の態様によれば、車両状態は、車両位置、車両の速度及び車両の進行方向を含むことができ、地図データは、住所、道路網、交差点、一時停止標識位置、交通信号機位置、交通車線の数及び位置並びに制限速度のような地図データを含む。車両状態の集合によって構成される目標集合は目標に関連付けられ、目標を達成する実現可能性が、車両の第１の運動モデルに従った目標集合の後方可到達集合系列及び車両の第１の運動モデルにおける不確実性集合を計算することと、現在の車両状態が後方可到達集合系列のうちのいずれかに含まれるか否かを検査することとに基づくようになっている。さらに、不確実性集合は、車両の第１の運動モデルに基づいて決定することができ、車両の第１の運動モデルに従った車両状態が、車両の第１の運動モデル及び不確実性集合に従って計算された目標集合の後方可到達集合に含まれる場合には、目標集合における車両状態は、車両の第２の運動モデルに従って達成することができるようになっている。さらにまた、系列における後方可到達集合は、系列における第１の後方可到達集合を目標の目標集合となるように初期化することと、不確実性集合内の不確実性のあらゆる値について車両の第１の運動モデルに従って１つの時間間隔において系列における以前の後方可到達集合に持って行くことができる状態の集合を決定することによって系列における以前の後方可到達集合から系列における次の後方可到達集合を構築することとによって反復的に計算される。

【０１５５】

本開示の態様によれば、次の特定の目標を完了することが実現可能であることの検査は、現在の中間目標から開始して次の特定の目標で終了する中間目標系列が存在することを検証することに基づいており、各次の目標は、予測ホライズンによって決定される時間内で系列における以前の目標の目標集合において任意の車両状態から達成することができる。さらに、中間目標系列の完了は、系列における連続した中間目標の任意の対について、対における第１の中間目標の中間目標車両状態と対における第２の中間目標の後方可到達集合との交差集合に含まれる車両の第１の運動モデルの少なくとも１つの車両状態が存在することと、車両状態が第１の中間目標を含む中間目標系列に含まれることとを検証することによって判断することができる。

【０１５６】

本開示の態様によれば、中間目標が交通状況を満たすことの実現可能性を検査することは、車両の第１の運動モデル及び交通参加者の第１の運動モデルによる衝突が回避されると判断することに基づいている。さらに、衝突が回避されると判断することは、コスト関数と、車両の第１の運動モデルに関連した制約と、次の目標を完了させることに関連した制約と、現時点における衝突を回避することに関連した制約と、将来の時点における衝突を回避することに関連した制約とを含む最適化問題を解くことに基づいている。さらにまた、現時点における衝突を回避することに関連した制約は、衝突集合に属する車両の状態及び交通参加者の状態に基づいて決定され、衝突集合は、車両の第１の運動モデルの状態及び交通参加者の第１の運動モデルの状態を含むようになっており、車両の第１の運動モデルの位置と交通参加者の第１の運動モデルの位置との間の距離は、最小安全マージンよりも小さい。将来の時点における衝突を回避することに関連した制約は、集合系列内の各集合が、衝突が将来における特定の時間間隔において発生するか否かを判断するような集

合系列を生成する前方再帰によって、車両の第１の運動モデルと、不確実性と、交通参加者の第１の運動モデルとに従って構築された不良集合系列の補集合によって決定されることが可能である。このように、前方再帰は、車両の第１の運動モデル及び交通参加者の第１の運動モデルに従って将来における次の時間間隔において衝突を回避する車両へのコマンドが存在しない状態の集合から開始し、車両へのコマンドが存在しない状態の集合を検証することによって進み、以前の反復において計算された集合に入ることを回避する。さらに、最適化問題は、最も急なカーブの集合と、車両の運動の少なくとも１つのパラメータとに従って生成された進行方向角度のプロファイルを考慮した車両の第１の運動モデルを近似することと、次の目標を完了することができることに関連した制約を、最小の車両加速度及び最大の車両加速度、ブレーキング、並びにステアリングに従って計算される一組の線形不等式として近似することと、将来の衝突を回避するという制約を、最小及び最大の車両加速度並びにブレーキングに従って計算される一組の線形不等式として近似することと、現在の時点における衝突を回避するという制約を、交通参加者と重なり合わない状態の広いチューブ形状の領域に基づいて、線形コスト関数を定義することによって計算される一組の線形不等式として近似することとによって、線形計画法によって近似される。

【０１５７】

本開示の態様によれば、計算された実現可能な中間目標は、衝突の危険から離れる確率と、車両の第２の運動モデルに対する制約を満たす確率と、少なくとも１つの車両との衝突を防止する最後の予測ホライズン中に選択された計算された実現可能な中間目標と整合する確率と、少なくとも１つの車両との衝突を防止する最後の予測ホライズン中に計算された軌道と整合する確率との組み合わせに従ってランク付けされる。さらに、計算された実現可能な中間目標を選択することは、計算された実現可能な中間目標の集合をそれらの確率に従って生成するために、計算された実現可能な中間目標のランク付けに従って確率を割り当てることに基づいている。さらにまた、計算された以前の実現可能な中間目標との整合は、異なる以前の予測ホライズン中の同様の計算された実現可能な中間目標を用いることの優先度に基づいて判断される。さらにまた、車両の第２の運動モデルに対する制約は、車線からの最大のずれに関する範囲と、車両の最大の許容されたステアリング角度に関する範囲と、好ましい速度プロファイルからの最大の許容されたずれに関する範囲とを含む。計算された実現可能な中間目標と最後の予測ホライズン中に決定された軌道との整合性は、計算された実現可能な中間目標に到達するために必要とされる制御入力の変化の量を測定するスコアリング関数に基づいており、スコアリング関数を最小にする計算された実現可能な中間目標の集合からの計算された実現可能な中間目標は、制御入力として決定されることが可能である。

【０１５８】

本開示の態様によれば、性能の評価値は、道路の中央からの車両の位置のずれと、車両の所望の速度プロファイルからのずれと、道路上の障害物までの最小距離からのずれと、車両の快適性レベルのずれとの組み合わせのうちの１つを含み、快適性レベルは、車両の所望の横加速度と、所望のステアリングレートと、所望の縦加速度とから決定されるようになっている。別の態様は、車両の初期状態を決定し、初期状態を車両の第２の運動モデルに提供することと、不確実性を有する車両の第２の運動モデルと、交通参加者の第２の運動モデルとを用いて、車両の第２の運動モデルに対する制約を満たし、計算された実現可能な中間目標に到達する車両の運動モデルへの入力の集合及び車両の対応する状態推移の集合を決定することと、軌道の性能の評価値を求めることであって、計算された軌道は、制御入力を決定する際に性能の評価値に関して比較されるようになっていることとを含み、各実現可能な中間目標について軌道を計算することを含むことができる。

【０１５９】

本開示の態様によれば、各実現可能な中間目標について軌道を計算することは、車両の初期状態を決定し、初期状態を車両の第２の運動モデルに提供することと、不確実性を有する車両の第２の運動モデルと、交通参加者の第２の運動モデルとを用いて、車両の第２

の運動モデルに対する制約を満たし、計算された実現可能な中間目標に到達する車両の運動モデルへの入力の集合及び車両の対応する状態推移の集合を決定することと、軌道の性能の評価値を求めることであって、計算された軌道は、制御入力を決定する際に性能の評価値に関して比較されるようになっていることとを含む。別の態様は、各中間目標の実現可能性を検査することは、予測ホライズンの開始時における車両状態及び交通状況に基づくことを含むことができ、特定の目標は、最終目的地に到達するために特定的である交差点における目標方位を含み、追加の特定の目標は、交通規則に従った車両動作制約を含み、任意選択の目標は、特定の目標又は追加の特定の目標のいずれにも違反することのない車両の車線変更を含む。別の態様は、各中間目標の実現可能性を検査することは、予測ホライズンの開始時における車両状態及び交通状況に基づくことを含み、特定の目標は、最終目的地に到達するために特定の交差点における目標方位を含み、追加の特定の目標は、交通規則に従った車両動作制約を含み、任意選択の目標は、特定の目標又は追加の特定の目標のいずれにも違反することのない車両の車線変更を含む。

【０１６０】

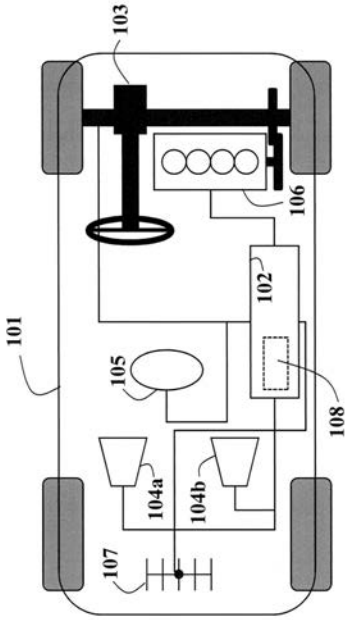
（実施形態）

本説明は、例示的な実施形態のみを提供し、本開示の範囲も、適用範囲も、構成も限定することを意図していない。そうではなく、例示的な実施形態の以上の説明は１つ以上の例示的な実施形態を実施することを可能にする説明を当業者に提供する。添付の特許請求の範囲に明記されているような開示された主題の趣旨及び範囲から逸脱することなく要素の機能及び配置に行うことができる様々な変更が意図されている。

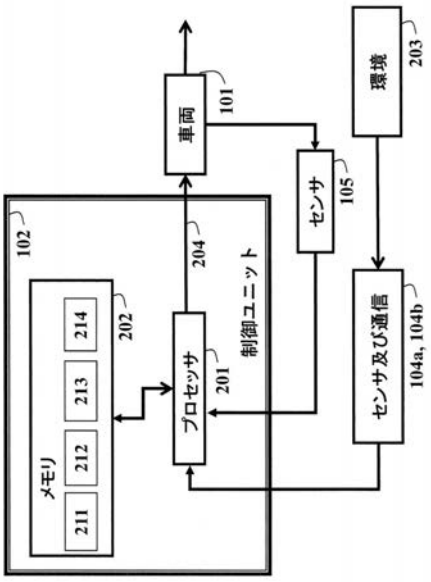
【０１６１】

個々の実施形態は、フローチャート、フロー図、データフロー図、構造図、又はブロック図として描かれるプロセスとして説明される場合がある。フローチャートは、動作を逐次的なプロセスとして説明することができるが、これらの動作の多くは、並列又は同時に実行することができる。加えて、これらの動作の順序は、再配列することができる。プロセスは、その動作が完了したときに終了することができるが、論述されない又は図に含まれない追加のステップを有する場合がある。さらに、特に説明される任意のプロセスにおける全ての動作が全ての実施形態において行われ得るとは限らない。プロセスは、方法、関数、手順、サブルーチン、サブプログラム等に対応することができる。プロセスが関数に対応するとき、その関数の終了は、呼び出し側関数又はメイン関数へのその機能の復帰に対応することができる。

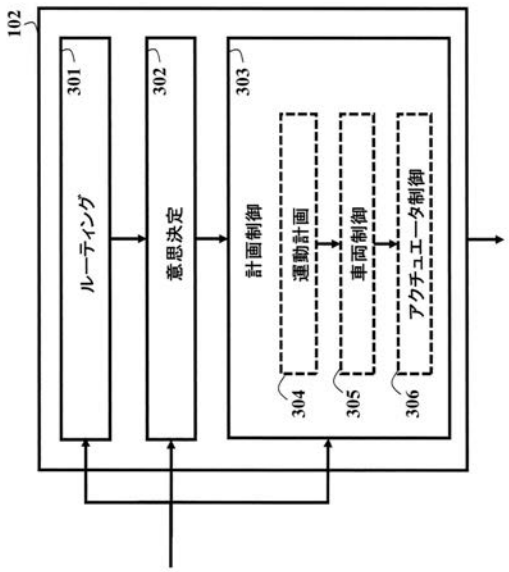
【図１】


103
106
102
101
105
108
104a
104b
107

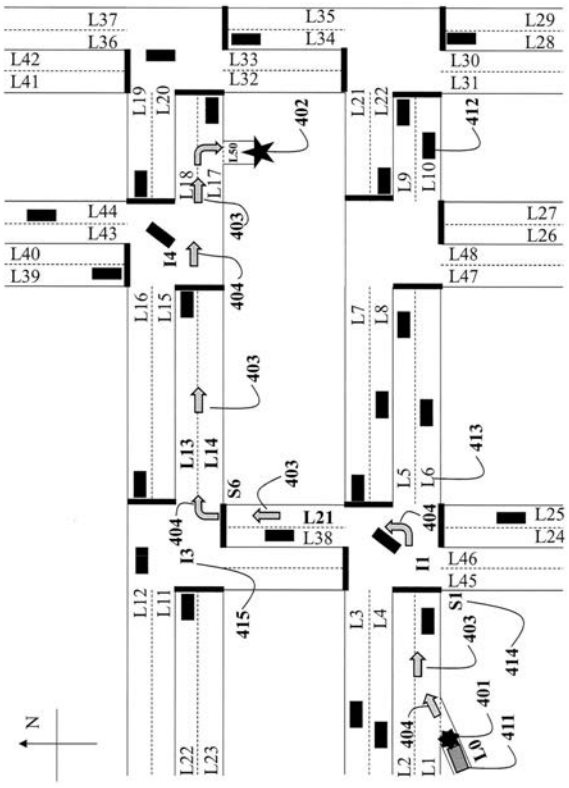
【図２】


車両
101
環境
203
センサ
105
102
204
制御ユニット
202
214
213
212
211
メモリ
プロセッサ
201
センサ及び通信
104a, 104b

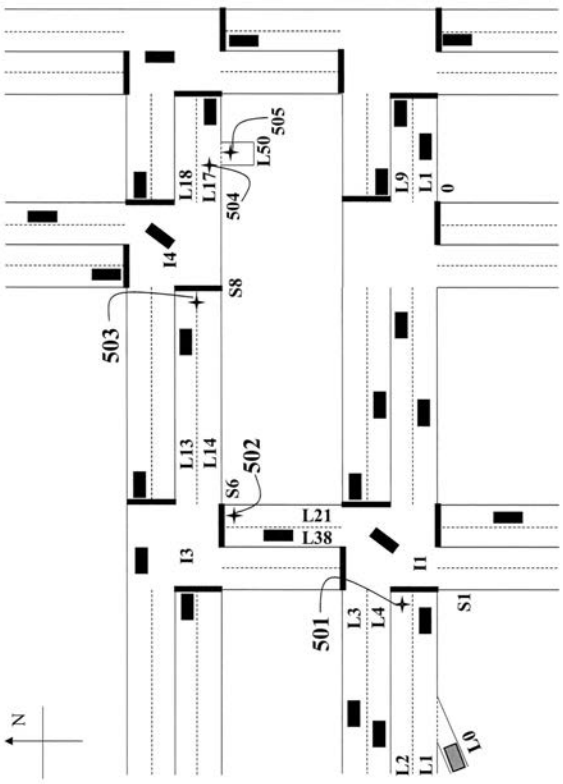
【図３】


102
301
ルーティング
302
意思決定
303
計画制御
304
運動計画
305
車両制御
306
アクチュエータ制御

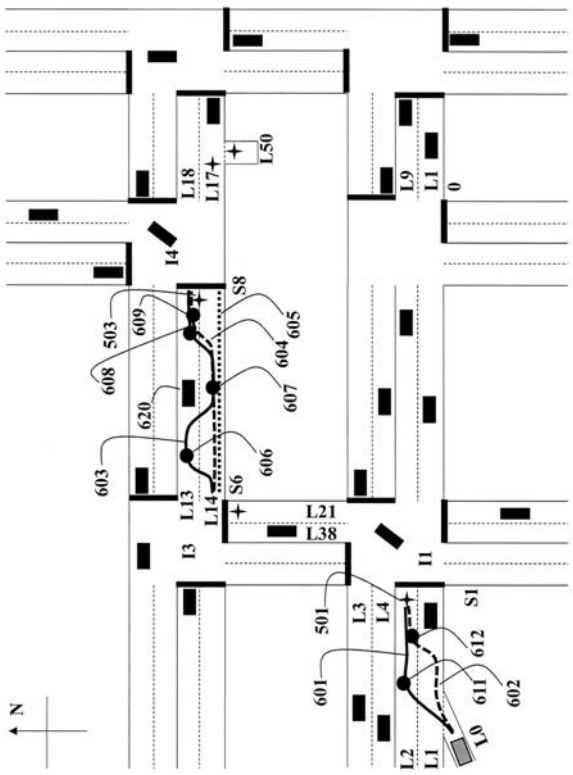
【図４】


N

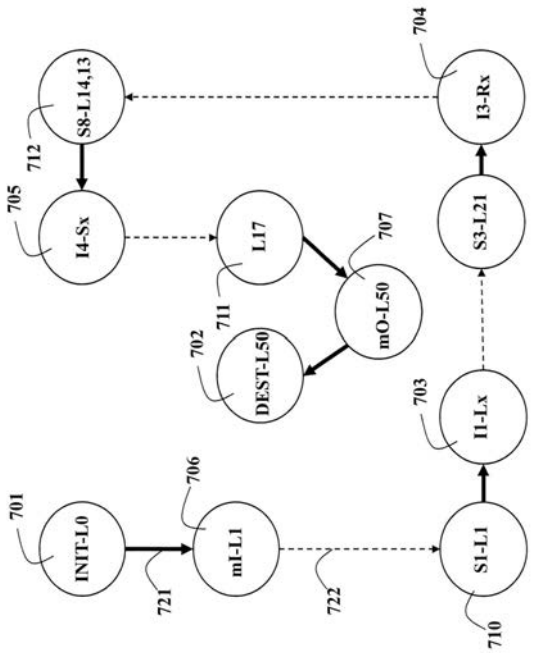
【図５】


N
I4
I3
I1
S8
S6
S1
L0
L1
L2
L3
L4
L9
L13
L14
L17
L18
L21
L38
L50
501
502
503
504
505

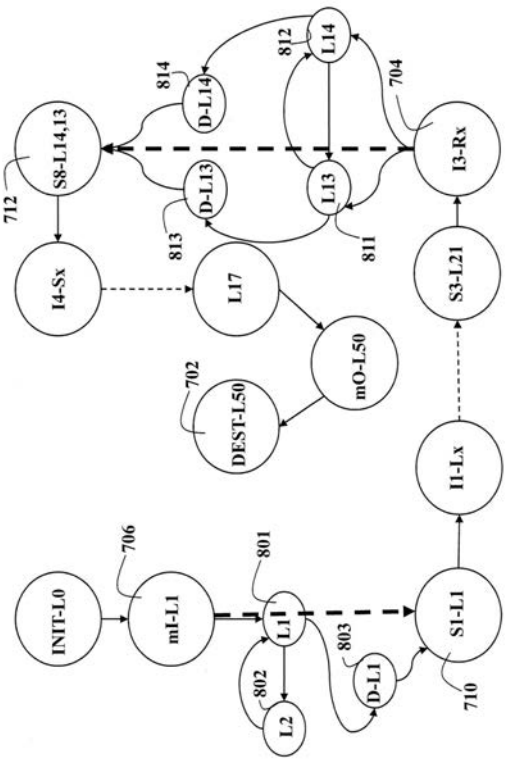
【図６】


N
I4
I3
I1
S8
S6
S1
L0
L1
L2
L3
L4
L9
L13
L14
L17
L18
L21
L38
L50
501
503
601
602
603
604
605
606
607
608
609
611
612
620

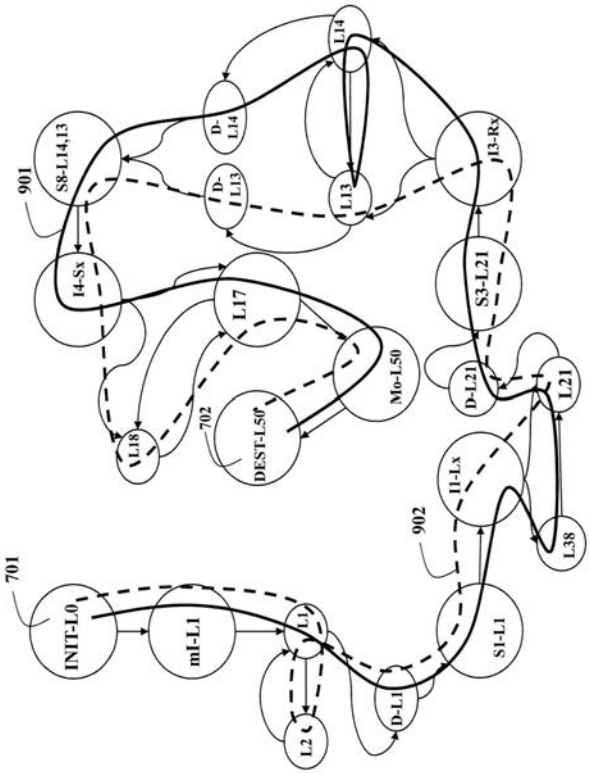
【図７】


INIT-L0
ml-L1
S1-L1
I1-Lx
S3-L21
I3-Rx
S8-L14,13
I4-Sx
L17
mO-L50
DEST-L50
701
702
703
704
705
706
707
710
711
712
721
722

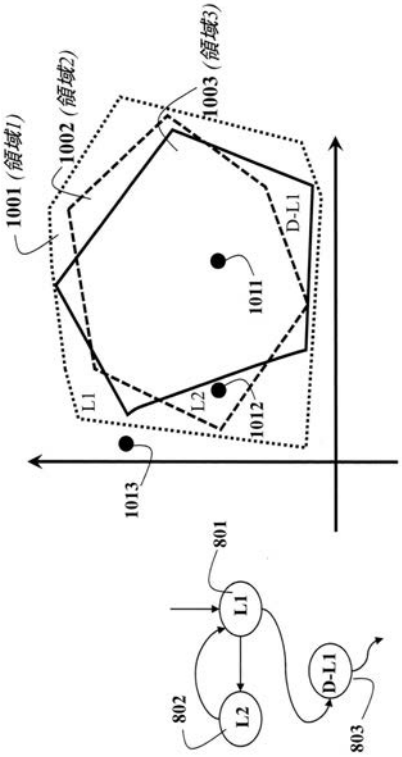
【図８】


INIT-L0
ml-L1
L1
L2
S1-L1
I1-Lx
S3-L21
I3-Rx
S8-L14,13
I4-Sx
L17
mO-L50
DEST-L50
L13
L14
D-L1
D-L13
D-L14
702
704
706
710
711
712
801
802
803
811
812
813
814

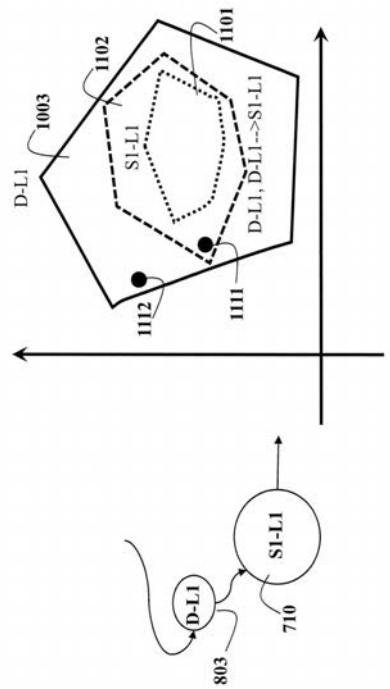
【図９】



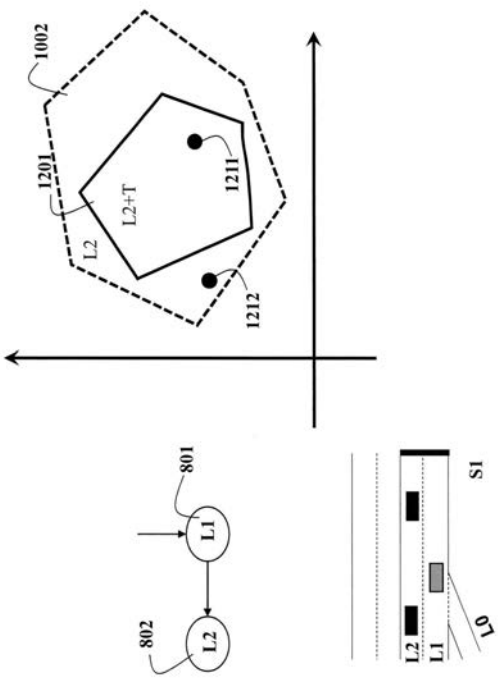
【図１０】



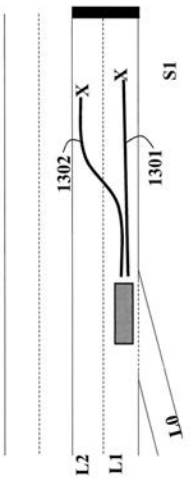
【図１１】



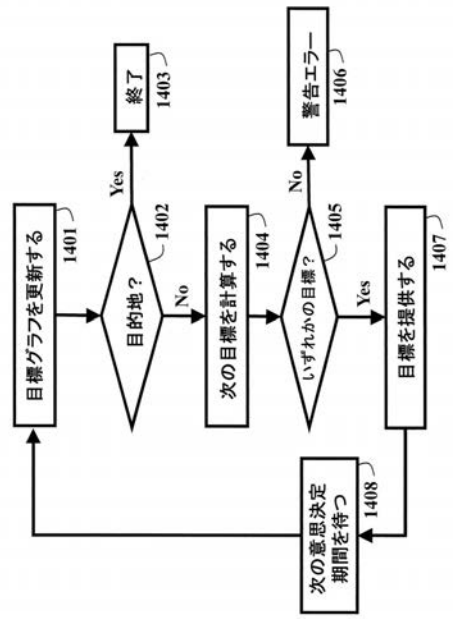
【図１２】



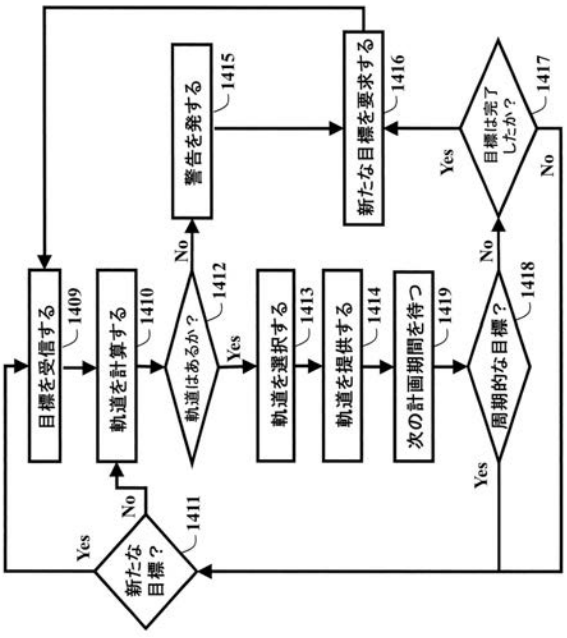
【図１３】



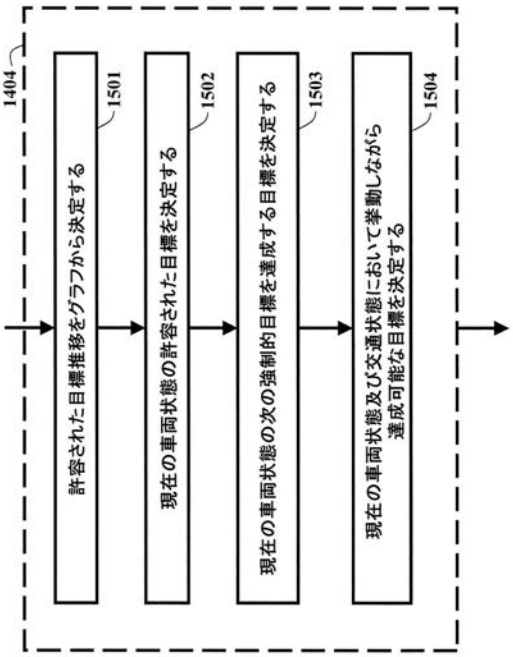
【図１４Ａ】



【図１４Ｂ】



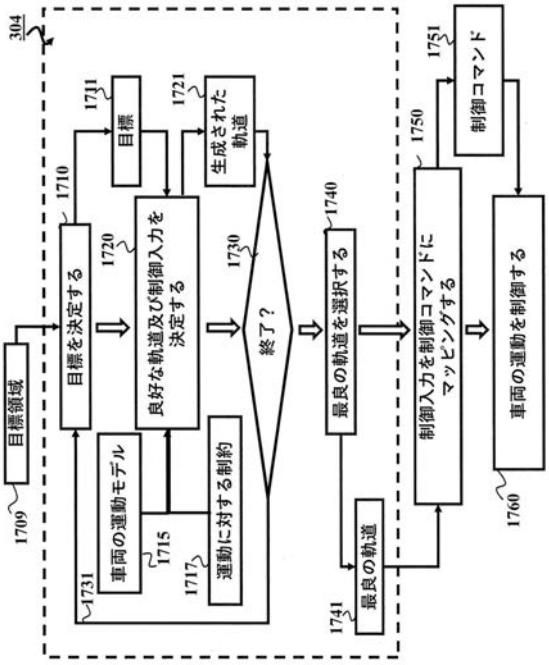
【図１５】



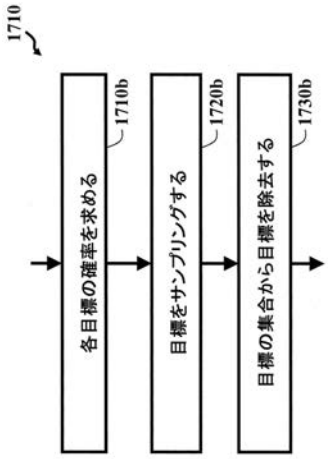
【図１６】

	計算される軌道に対する要件
1600	道路上に留まる
1610	車線の中央に留まる
1620	公称縦速度を維持する
1630	周囲の障害物までの安全マージンを維持する
1640	同じ車線における車両までの最小距離を維持する
1650	滑らかに運転する

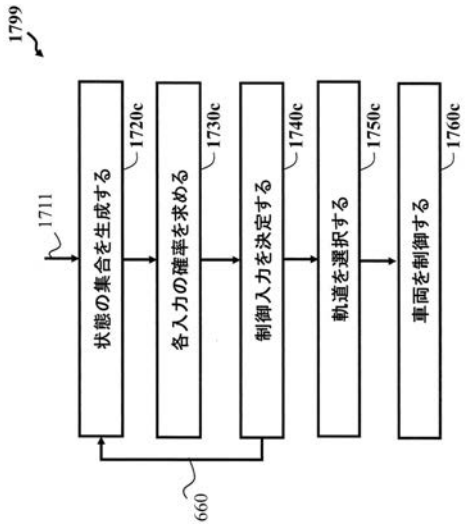
【図１７Ａ】



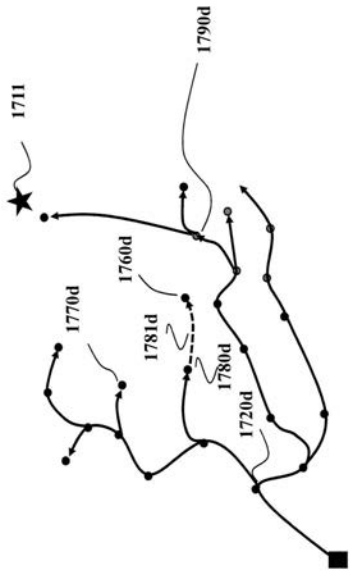
【図１７Ｂ】



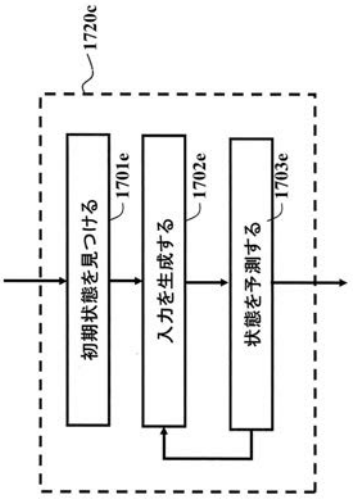
【図１７Ｃ】



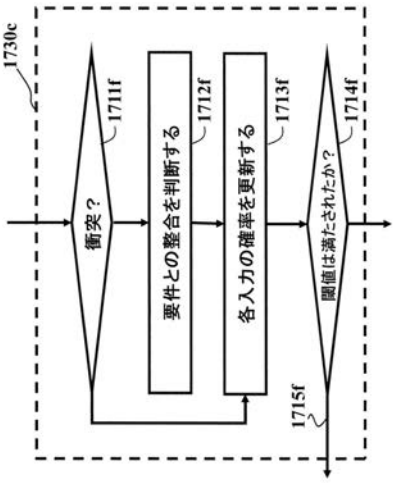
【図１７Ｄ】



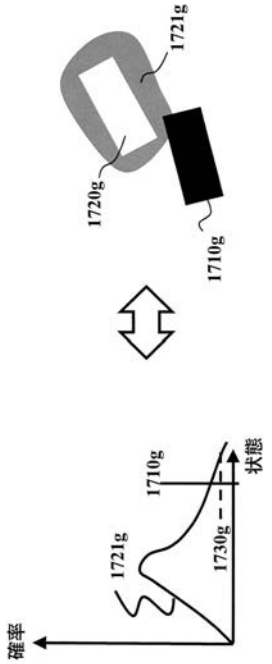
【図１７Ｅ】



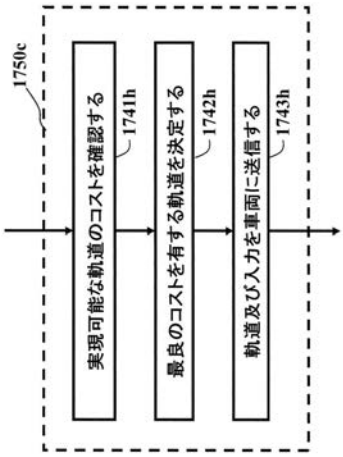
【図１７Ｆ】



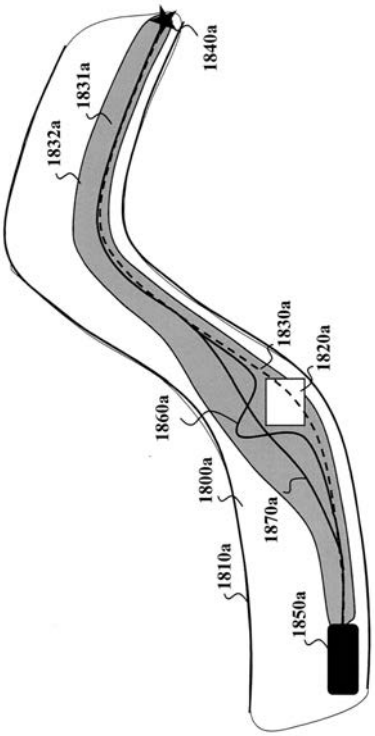
【図１７Ｇ】



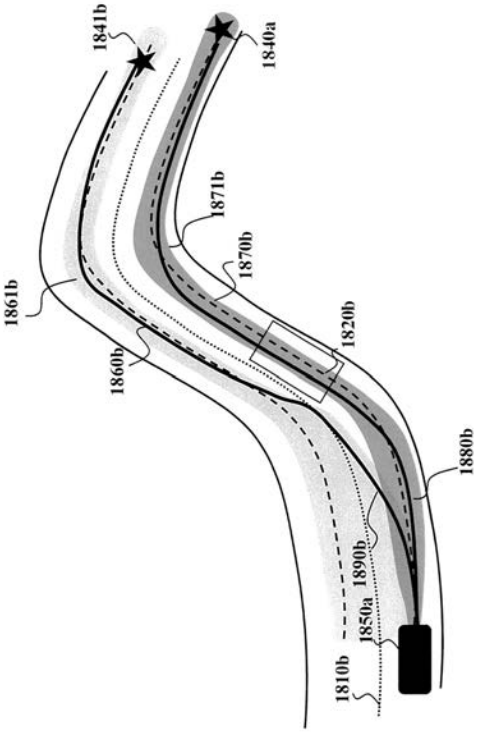
【図１７Ｈ】



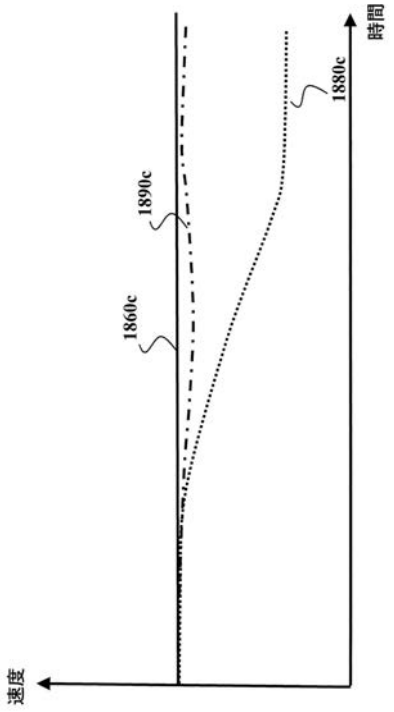
【図１８Ａ】



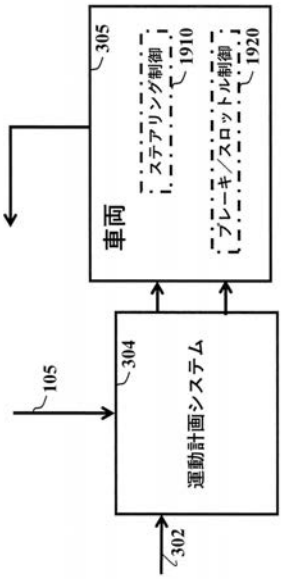
【図１８Ｂ】



【図１８Ｃ】



【図１９】



【手続補正書】
【提出日】令和2年12月11日(2020.12.11)
【手続補正１】
【補正対象書類名】特許請求の範囲
【補正対象項目名】全文
【補正方法】変更
【補正の内容】
【特許請求の範囲】
【請求項１】
車両の制御システムであって、
地図データ及び車両データを含むデータを記憶するメモリと、
ハードウェアプロセッサであって、
前記地図データ及び前記車両データを用いて、予測ホライズンごとに道路形状、及び方位の系列によって形成される走行ルートから中間目標の系列である中間目標系列（ＳＩＧ）を生成することであって、前記ＳＩＧは、最終目的地に到達するために特定の交差点における目標方位を含んだ特定の目標と、交通規則に従った車両動作制約を含む追加の特定の目標と、任意選択の目標とを含むことと、
前記予測ホライズンの開始時における車両状態及び交通状況に基づいて、車両の第１の運動モデル及び交通参加者の第１の運動モデルを用いて各中間目標の実現可能性を検査するとともに、前記中間目標が、前記交通状況及び前記車両の運動能力を満たすことによって達成されることと、前記中間目標を達成した後、前記特定の目標の中の次の特定の目標及び前記追加の特定の目標も達成することができることとを検査することと、
車両の第２の運動モデル及び交通参加者の第２の運動モデルを用いて実現可能な中間目標の各軌道を計算し、コスト関数によって求められた数値に従って計算された軌道のそれぞれを比較し、前記車両の運動並びに道路及び交通参加者との前記車両の相互作用に対す

る制約が満たされたと判断することと、
を行うように構成された、ハードウェアプロセッサと、
前記車両の運動が前記計算された軌道に近い軌道を生成するように、前記車両の少なくとも１つのアクチュエータへの制御入力を計算する車両コントローラと、
前記車両の前記少なくとも１つのアクチュエータへの制御入力を実行して、前記車両の運動を変更する少なくとも１つのアクチュエータコントローラと、
を備える、制御システム。
【請求項２】
前記車両状態は、車両位置、前記車両の速度及び前記車両の進行方向を含み、前記地図データは、住所、道路網、交差点、一時停止標識位置、交通信号機位置、交通車線の数及び位置並びに制限速度のような情報を含む、請求項１に記載の制御システム。
【請求項３】
前記車両状態の集合によって構成される目標集合は目標に関連付けられ、前記目標を達成する実現可能性が、前記車両の第１の運動モデルに従った前記目標集合の後方可到達集合の系列及び前記車両の第１の運動モデルにおける不確実性集合を計算することと、現在の車両状態が前記後方可到達集合の系列のうちのいずれかに含まれるか否かを検査することとに基づくようになっている、請求項２に記載の制御システム。
【請求項４】
前記不確実性集合は、前記車両の第１の運動モデルに基づいて決定され、前記車両の第１の運動モデルに従った前記車両状態が、前記車両の第１の運動モデル及び前記不確実性集合に従って計算された前記目標集合の後方可到達集合に含まれる場合には、前記目標集合における車両状態は、前記車両の第２の運動モデルに従って達成することができるようになっている、請求項３に記載の制御システム。
【請求項５】
前記後方可到達集合の系列における前記後方可到達集合は、前記系列における第１の後方可到達集合を前記目標の前記目標集合となるように初期化することと、前記不確実性集合内の不確実性のあらゆる値について前記車両の第１の運動モデルに従って１つの時間間隔において前記系列における以前の後方可到達集合に持って行くことができる状態の集合を決定することによって前記系列における前記以前の後方可到達集合から前記系列における次の後方可到達集合を構築することとによって反復的に計算される、請求項３に記載の制御システム。
【請求項６】
前記次の特定の目標を完了することが実現可能であることの検査は、現在の中間目標から開始して前記次の特定の目標で終了する中間目標系列が存在することを検証することに基づいており、各次の特定の目標は、予測ホライズンによって決定される時間内で前記中間目標系列における以前の特定の目標の目標集合において任意の車両状態から達成することができる、請求項１に記載の制御システム。
【請求項７】
前記中間目標系列の完了は、前記系列における連続した中間目標の任意の対について、前記対における第１の中間目標の中間目標車両状態と前記対における第２の中間目標の後方可到達集合との交差集合に含まれる前記車両の第１の運動モデルの少なくとも１つの車両状態が存在することと、前記車両状態が前記第１の中間目標を含む前記中間目標系列に含まれることとを検証することによって判断される、請求項６に記載の制御システム。
【請求項８】
前記中間目標が前記交通状況を満たすことの実現可能性を検査することは、前記車両の第１の運動モデル及び前記交通参加者の第１の運動モデルによる衝突が回避されると判断することに基づいている、請求項１に記載の制御システム。
【請求項９】
前記衝突が回避されると判断することは、コスト関数と、前記車両の第１の運動モデルに関連した制約と、前記次の目標を完了させることに関連した制約と、現時点における衝

突を回避することに関連した制約と、将来の時点における衝突を回避することに関連した制約とを含む最適化問題を解くことに基づいている、請求項８に記載の制御システム。
【請求項１０】
前記現時点における衝突を回避することに関連した制約を決めることは、前記車両の状態及び衝突集合に属する交通参加者の状態に基づき、前記衝突集合は、前記車両の第１の運動モデルの状態及び前記交通参加者の第１の運動モデルの状態を含むようになっており、前記車両の第１の運動モデルの位置と前記交通参加者の第１の運動モデルの位置との間の距離は、最小安全マージンよりも小さい、請求項９に記載の制御システム。
【請求項１１】
前記将来の時点における衝突を回避することに関連した制約を決めることは、集合系列内の各集合が、衝突が将来における特定の時間間隔において発生するか否かを判断するような前記集合系列を生成する前方再帰によって、前記車両の第１の運動モデルと、前記車両の第１の運動モデルの不確実性の集合と、前記交通参加者の第１の運動モデルとに従って構築された不良集合系列の補集合によるものである、請求項９に記載の制御システム。
【請求項１２】
前記前方再帰は、前記車両の第１の運動モデル及び前記交通参加者の第１の運動モデルに従って将来における次の時間間隔において前記衝突を回避する前記車両へのコマンドが存在しない状態の集合から開始し、前記車両へのコマンドが存在しない状態の集合を検証することによって進み、以前の反復において計算された集合に入ることを回避する、請求項１１に記載の制御システム。
【請求項１３】
前記最適化問題は、
最も急なカーブの集合と、前記車両の運動の少なくとも１つのパラメータとに従って生成された進行方向角度のプロファイルを考慮した前記車両の第１の運動モデルを近似することと、
前記次の目標を完了することができることに関連した制約を、最小の車両加速度及び最大の車両加速度、ブレーキング、並びにステアリングに従って計算される一組の線形不等式として近似することと、
前記将来の衝突を回避するという制約を、前記最小の車両加速度及び前記最大の車両加速度並びにブレーキングに従って計算される一組の線形不等式として近似することと、
前記現時点における衝突を回避するという制約を、交通参加者と重なり合わない状態の広いチューブ形状の領域に基づいて、線形コスト関数を定義することによって計算される一組の線形不等式として近似することと、
によって、線形計画法によって近似される、請求項９に記載の制御システム。
【請求項１４】
計算された前記実現可能な中間目標は、衝突の危険から離れる確率と、前記車両の第２の運動モデルに対する制約を満たす確率と、少なくとも１つの車両との衝突を防止する最後の予測ホライズン中に選択された前記計算された実現可能な中間目標と整合する確率と、前記少なくとも１つの車両との前記衝突を防止する前記最後の予測ホライズン中に計算された軌道と整合する確率との組み合わせに従ってランク付けされる、請求項１に記載の制御システム。
【請求項１５】
計算された前記実現可能な中間目標を選択することは、前記計算された実現可能な中間目標の集合をそれらの確率に従って生成するために、前記計算された実現可能な中間目標のランク付けに従って確率を割り当てることに基づいている、請求項１４に記載の制御システム。
【請求項１６】
計算された以前の前記実現可能な中間目標との整合は、異なる以前の予測ホライズン中の同様の計算された前記実現可能な中間目標を用いることの優先度に基づいて判断される、請求項１４に記載の制御システム。

【請求項１７】
前記車両の第２の運動モデルに対する制約は、車線からの最大のずれに関する範囲と、前記車両の最大の許容されたステアリング角度に関する範囲と、好ましい速度プロファイルからの最大の許容されたずれに関する範囲とを含む、請求項１４に記載の制御システム。
【請求項１８】
前記計算された実現可能な中間目標と前記最後の予測ホライズン中に決定された軌道との整合性は、前記計算された実現可能な中間目標に到達するために必要とされる制御入力の変化の量を測定するスコアリング関数に基づいており、前記スコアリング関数を最小にする前記計算された実現可能な中間目標の集合からの前記計算された実現可能な中間目標は、前記制御入力として決定される、請求項１４に記載の制御システム。
【請求項１９】
前記軌道の性能の評価値は、道路の中央からの前記車両の位置のずれと、前記車両の所望の速度プロファイルからのずれと、道路上の障害物までの最小距離からのずれと、前記車両の快適性レベルのずれとの組み合わせのうちの１つを含み、前記快適性レベルは、前記車両の所望の横加速度と、所望のステアリングレートと、所望の縦加速度とから決定されるようになっている、請求項１に記載の制御システム。
【請求項２０】
各前記実現可能な中間目標について前記軌道を計算することは、
前記車両の初期状態を決定し、前記初期状態を前記車両の第２の運動モデルに提供することと、
不確実性を有する前記車両の第２の運動モデルと、前記交通参加者の第２の運動モデルとを用いて、前記車両の第２の運動モデルに対する制約を満たし、計算された実現可能な中間目標に到達する前記車両の第２の運動モデルへの入力の集合及び前記車両の対応する状態推移の集合を決定することと、
前記軌道の性能の評価値を求めることであって、計算された軌道は、前記制御入力を決定する際に前記性能の評価値に関して比較されるようになっていることと、
を含む、請求項１に記載の制御システム。
【請求項２１】
車両を制御する方法であって、
メモリに記憶された地図データ及び車両データを用いて、予測ホライズンごとに道路形状、及び方位の系列によって形成される走行ルートから中間目標の系列である中間目標系列（ＳＩＧ）を生成することであって、前記ＳＩＧは、特定の目標と、追加の特定の目標と、任意選択の目標とを含むことと、
前記中間目標が、交通状況及び前記車両の運動能力を満たすことによって達成されると判断し、前記中間目標を達成した後、前記特定の目標の中の次の目標及び前記追加の特定の目標も達成することができると判断するとともに、車両の第１の運動モデル及び交通参加者の第１の運動モデルを用いて各中間目標の実現可能性を検査することと、
車両の第２の運動モデル及び交通参加者の第２の運動モデルを用いて各実現可能な中間目標の軌道を計算し、コスト関数によって求められた数値に従って計算された各軌道を比較し、前記車両の運動並びに道路及び交通参加者との前記車両の相互作用に対する制約が満たされたと判断することと、
前記車両の運動が前記計算された軌道に近い軌道を生成するように、前記車両の少なくとも１つのアクチュエータへの制御入力を、車両コントローラを介して計算することと、
少なくとも１つのアクチュエータコントローラを介して前記車両の前記運動を変更して、前記車両の前記少なくとも１つのアクチュエータへの前記制御入力を実行することと、
を含み、前記方法のステップは、前記車両のプロセッサを用いて実施される、方法。
【請求項２２】
各中間目標の前記実現可能性を検査することは、前記予測ホライズンの開始時における車両状態及び前記交通状況に基づいており、前記特定の目標は、最終目的地に到達するた

めに特定的である交差点における特定の方位を含み、前記追加の特定の目標は、交通規則に従った車両動作制約を含み、前記任意選択の目標は、前記特定の目標又は前記追加の特定の目標のいずれにも違反することのない前記車両の車線変更を含む、請求項２１に記載の方法。

【請求項２３】

方法を実行するプロセッサによって実行可能なプログラムが具現化される非一時的コンピュータ可読メモリであって、前記方法は、

入力インターフェースから受信された地図データ及び車両データを用いて、予測ホライズンごとに道路形状、及び方位の系列によって形成される走行ルートから中間目標の系列である中間目標系列（ＳＩＧ）を生成することであって、前記ＳＩＧは、特定の目標と、追加の特定の目標と、任意選択の目標とを含むことと、

前記中間目標が、交通状況及び車両の運動能力を満たすことによって達成されると判断し、前記中間目標を達成した後、前記特定の目標の中の次の目標及び前記追加の特定の目標も達成することができると判断するとともに、車両の第１の運動モデル及び交通参加者の第１の運動モデルを用いて各中間目標の実現可能性を検査することと、

車両の第２の運動モデル及び交通参加者の第２の運動モデルを用いて各実現可能な中間目標の軌道を計算し、コスト関数によって求められた数値に従って計算された各軌道を比較し、前記車両の運動並びに道路及び前記交通参加者との前記車両の相互作用に対する制約が満たされたと判断することと、

前記車両の運動が計算された軌道に近い軌道を生成するように、前記車両の少なくとも１つのアクチュエータへの制御入力を、車両コントローラを介して計算することと、

少なくとも１つのアクチュエータコントローラを介して前記車両の運動を変更して、前記車両の前記少なくとも１つのアクチュエータへの前記制御入力を実行することと、

を含み、前記方法のステップは、前記車両のプロセッサを用いて実施される、非一時的コンピュータ可読メモリ。

【国際調査報告】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/JP2018/045582

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
INV. G05D1/02 G01C21/00 G08G1/00
ADD.

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
G05D

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)
EPO-Internal, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X Y	US 2018/143641 A1 (RAO LEI [US]) 24 May 2018 (2018-05-24) paragraphs [0043], [0045], [0047], [0049], [0050], [0052], [0063], [0114] - [0116]; figures 3,4,6,7,12, 14, 16	1-13, 20-24 14-19
X Y	DE 10 2016 212292 A1 (VOLKSWAGEN AG [DE]) 3 August 2017 (2017-08-03) paragraphs [0032] - [0037], [0039], [0048] - [0050]; claims 1-10; figures 1-4	1-13, 20-24 14-19
Y	US 9 568 915 B1 (BERNTORP KARL [US] ET AL) 14 February 2017 (2017-02-14) cited in the application column 13, line 7 - column 14, line 61; figures 1-10	14-19

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☒ See patent family annex.

* Special categories of cited documents :

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
21 March 2019	01/04/2019

Name and mailing address of the ISA/	Authorized officer
European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Camerer, Stephan

1

Form PCT/ISA/210 (second sheet) (April 2005)

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No
PCT/JP2018/045582

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 2018143641 A1	24-05-2018	NONE	
DE 102016212292 A1	03-08-2017	NONE	
US 9568915 B1	14-02-2017	CN 108698595 A	23-10-2018
		DE 112017000787 T5	18-10-2018
		JP 2018534205 A	22-11-2018
		US 9568915 B1	14-02-2017
		WO 2017138664 A1	17-08-2017

Form PCT/ISA/210 (patent family annex) (April 2005)

フロントページの続き

(81)指定国・地域 AP(BW,GH,GM,KE,LR,LS,MW,MZ,NA,RW,SD,SL,ST,SZ,TZ,UG,ZM,ZW),EA(AM,AZ,BY,KG,KZ,RU,TJ,TM),EP(AL,AT,BE,BG,CH,CY,CZ,DE,DK,EE,ES,FI,FR,GB,GR,HR,HU,IE,IS,IT,LT,LU,LV,MC,MK,MT,NL,NO,PL,PT,RO,RS,SE,SI,SK,SM,TR),OA(BF,BJ,CF,CG,CI,CM,GA,GN,GQ,GW,KM,ML,MR,NE,SN,TD,TG),AE,AG,AL,AM,AO,AT,AU,AZ,BA,BB,BG,BH,BN,BR,BW,BY,BZ,CA,CH,CL,CN,CO,CR,CU,CZ,DE,DJ,DK,DM,DO,DZ,EC,EE,EG,ES,FI,GB,GD,GE,GH,GM,GT,HN,HR,HU,ID,IL,IN,IR,IS,JO,JP,KE,KG,KH,KN,KP,KR,KW,KZ,LA,LC,LK,LR,LS,LU,LY,MA,MD,ME,MG,MK,MN,MW,MX,MY,MZ,NA,NG,NI,NO,NZ,OM,PA,PE,PG,PH,PL,PT,QA,RO,RS,RU,RW,SA,SC,SD,SE,SG,SK,SL,SM,ST,SV,SY,TH,TJ,TM,TN,TR,TT

(72)発明者 ディ・カイラノ、ステファノ
アメリカ合衆国、マサチューセッツ州、ケンブリッジ、ブロードウエイ ２０１、ケアオブ・ミツビシ・エレクトリック・リサーチ・ラボラトリーズ・インコーポレイテッド
(72)発明者 バーントープ、カール
アメリカ合衆国、マサチューセッツ州、ケンブリッジ、ブロードウエイ ２０１、ケアオブ・ミツビシ・エレクトリック・リサーチ・ラボラトリーズ・インコーポレイテッド
(72)発明者 アン、ヒジン
アメリカ合衆国、マサチューセッツ州、ケンブリッジ、ブロードウエイ ２０１、ケアオブ・ミツビシ・エレクトリック・リサーチ・ラボラトリーズ・インコーポレイテッド

Ｆターム(参考) 3D241 BA11 BA33 BB31 BC01 BC02 CC01 CC08 CC17 CE02 CE04
CE09 DB01Z DB02Z DB05Z DB20Z DC35Z DC39Z DC40Z DC44Z DC59Z
5H181 AA01 BB04 CC03 CC04 CC12 CC14 CC24 FF04 FF10 LL01
LL02 LL04 LL09