

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2024年10月3日(03.10.2024)



(10) 国際公開番号

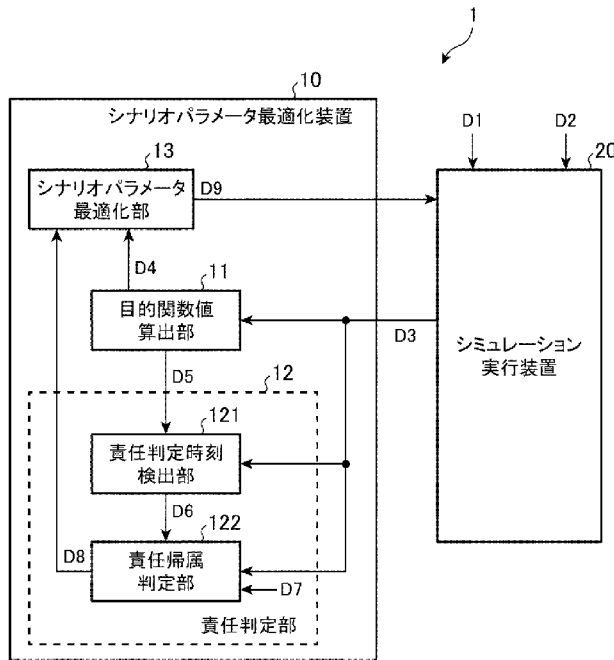
WO 2024/201627 A1

- (51) 国際特許分類:
G06F 11/34 (2006.01) G06N 99/00 (2019.01)
G06F 11/36 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2023/012068
- (22) 国際出願日: 2023年3月27日(27.03.2023)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (71) 出願人: 三菱電機株式会社(MITSUBISHI ELECTRIC CORPORATION) [JP/JP]; 〒1008310 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者: 井對 貴之(ITSUI, Takayuki); 〒1008310 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 Tokyo (JP).
- (74) 代理人: 弁理士法人山王内外特許事務所(SANNO PATENT ATTORNEYS OFFICE); 〒1000014 東京都千代田区永田町二丁目1番2号 赤坂山王センタービル5階 Tokyo (JP).
- (81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU,

(54) Title: SCENARIO PARAMETER OPTIMIZATION DEVICE, SCENARIO PARAMETER OPTIMIZATION METHOD, SCENARIO PARAMETER OPTIMIZATION PROGRAM, AND CONTROL LOGIC INSPECTION SYSTEM

(54) 発明の名称: シナリオパラメータ最適化装置、シナリオパラメータ最適化方法、シナリオパラメータ最適化プログラム、および制御ロジック検査システム

[図1]



- 10 Scenario parameter optimization device
11 Object function value calculating unit
12 Responsibility determination unit
13 Scenario parameter optimization unit
20 Simulation executing device
121 Responsibility determination time detecting unit
122 Responsibility attribution determination unit

(57) Abstract: A scenario parameter optimization device includes an object function value calculation unit (11) that calculates an object function value of a preset event, and an event occurrence time at which the preset event will occur, on the basis of execution results of a simulation test regarding a scenario that includes a first agent and a second agent,

LY, MA, MD, MG, MK, MN, MU, 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, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA,
UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW.

- (84) 指定国(表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, CV, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SC, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, ME, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類：

一 国際調査報告 (条約第21条(3))

executed on the basis of a scenario parameter, a responsibility determination unit (12) that determines whether or not the first agent has responsibility regarding the occurrence of the preset event, from a situation at a responsibility determination time prior to the event occurrence time, on the basis of the execution results and the event occurrence time, and outputs results of the determination as responsibility determination results, and a scenario parameter optimization unit (13) that optimizes the scenario parameter such that the object function value becomes even smaller and also the first agent is determined to be responsible for the occurrence of the preset event, on the basis of the object function value and the responsibility determination results.

(57) 要約：シナリオパラメータ最適化装置は、シナリオパラメータに基づいて実行される、第1のエージェントおよび第2のエージェントを含むシナリオのシミュレーション試験の実行結果に基づいて、予め定められたイベントの目的関数値と、予め定められたイベントが発生するイベント発生時刻とを算出する目的関数値算出部(11)と、実行結果およびイベント発生時刻に基づいて、イベント発生時刻より前の責任判定時刻における状況から、予め定められたイベントの発生について第1のエージェントに責任があるか否かを判定し、判定の結果を責任判定結果として出力する責任判定部(12)と、目的関数値および責任判定結果に基づき、目的関数値がより小さくなり、且つ予め定められたイベントの発生について第1のエージェントに責任があると判定されるように、シナリオパラメータを最適化するシナリオパラメータ最適化部(13)と、を備える。

明 細 書

発明の名称：

シナリオパラメータ最適化装置、シナリオパラメータ最適化方法、シナリオパラメータ最適化プログラム、および制御ロジック検査システム

技術分野

[0001] 本開示は、シナリオパラメータ最適化技術に関する。

背景技術

[0002] 自動車またはロボットのようなエージェントを自動走行させる技術が開発されている。エージェントを自動走行させるために、エージェントを制御するための制御ロジックを、実環境を模擬する種々のシナリオにおいて検査する必要がある。制御ロジックの検査手法として、サーチベースドテストイング (Search-Based Testing) と呼ばれる手法がある。サーチベースドテストイングとは、メタヒューリスティックな最適化技術を用いて検査したいシナリオを探索する手法を意味する。このようなサーチベースドテストイングによる技術を開示する文献として、特許文献1がある。特許文献1は、最適化処理により、検査対象のプログラムのシミュレーション試験で用いられるシナリオのパラメータを設定する技術を開示する。

先行技術文献

特許文献

[0003] 特許文献1：特開2018-190230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の技術においては、複数のエージェントが存在するシナリオが想定されていないので、複数のエージェントが存在するシナリオで用いられるシナリオパラメータを最適化することが難しいという問題がある。

[0005] 本開示は、このような問題を解決するためになされたものであり、複数の

エージェントが存在するシナリオで用いられるシナリオパラメータを最適化できるシナリオパラメータ最適化技術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] 本開示の実施形態によるシナリオパラメータ最適化装置の一側面は、シナリオパラメータに基づいて実行される、第1のエージェントおよび第2のエージェントを含むシナリオのシミュレーション試験の実行結果を受け付けて、その実行結果に基づいて、予め定められたイベントを表現する目的関数から前記予め定められたイベントの目的関数値と、前記予め定められたイベントが発生するイベント発生時刻とを算出する目的関数値算出部と、前記実行結果およびその算出されたイベント発生時刻に基づいて、前記算出されたイベント発生時刻より前の時刻である責任判定時刻における状況から、前記予め定められたイベントの発生について前記第1のエージェントに責任があるか否かを判定し、判定の結果を責任判定結果として出力する責任判定部と、その算出された目的関数値およびその出力された責任判定結果に基づき、前記算出された目的関数値がより小さくなり、且つ前記予め定められたイベントの発生について前記第1のエージェントに責任があると判定されるように、前記シナリオパラメータを最適化するシナリオパラメータ最適化部と、を備える。

発明の効果

[0007] 本開示の実施形態によるシナリオパラメータ最適化部によれば、複数のエージェントが存在するシナリオで用いられるシナリオパラメータを最適化できる。

図面の簡単な説明

[0008] [図1]実施の形態1によるシナリオパラメータ最適化装置および制御ロジック検査システムの構成例を示す機能ブロック図である。

[図2A]シナリオパラメータ最適化装置および制御ロジック検査システムのハードウェアの構成例を示す図である。

[図2B]シナリオパラメータ最適化装置および制御ロジック検査システムのハ

ードウェアの構成例を示す図である。

[図3]シナリオパラメータ最適化方法のフローチャートの一部を示す図である。より詳しくは、シナリオパラメータ最適化装置の目的関数値算出部による動作を示す。

[図4]シナリオパラメータ最適化方法のフローチャートの一部を示す図である。より詳しくは、シナリオパラメータ最適化装置の責任判定部による動作を示す。

[図5]シナリオパラメータ最適化方法のフローチャートの一部を示す図である。より詳しくは、シナリオパラメータ最適化装置の責任判定部による動作を示す。

[図6]シナリオパラメータ最適化方法のフローチャートの一部を示す図である。より詳しくは、シナリオパラメータ最適化装置のシナリオパラメータ最適化部による動作を示す。

[図7]図7Aは、横方向距離が車幅以下の場合におけるシナリオパラメータ最適化装置の動作を説明する図である。図7Bは、横方向距離が車幅より大きい場合におけるシナリオパラメータ最適化装置の動作を説明する図である。

発明を実施するための形態

[0009] 以下、添付の図面を参照して、本開示における種々の実施形態について詳細に説明する。なお、図面において同一または類似の符号を付された構成要素は、同一または類似の構成または機能を有するものであり、そのような構成要素についての重複する説明は省略する。

[0010] また、本開示において、「または」との用語は、特段の記載が無い限り、包括的論理和の意味で用いる。「または」との用語を排他的論理和の意味で用いる場合は、その旨明示する。

[0011] 実施の形態1.

<構成>

図1を参照して、本開示の実施の形態1によるシナリオパラメータ最適化装置および制御ロジック検査システムについて説明する。図1は、実施の形

態 1 によるシナリオパラメータ最適化装置 10、およびシナリオパラメータ最適化装置 10 を備える制御ロジック検査システム 1 の構成例を示す機能ブロック図である。図 1 に示されているように、制御ロジック検査システム 1 は、シナリオパラメータ最適化装置 10 と、シミュレーション実行装置 20 とを備える。シミュレーション実行装置 20 は、シナリオを用いて制御ロジックプログラムの検査を行う装置である。シナリオパラメータ最適化装置 10 は、シミュレーション実行装置 20 が検査を行う際に用いるシナリオで用いられるシナリオパラメータを最適化する装置である。以下、各装置について説明をする。

[0012] (シミュレーション実行装置)

シミュレーション実行装置 20 は、シナリオ設定 D 1、シナリオ設定 D 1 で用いられるシナリオパラメータの値、および制御ロジックプログラム D 2 を入力として受け付け、シナリオパラメータの値により具体的に設定されたシナリオの下において制御ロジックプログラム D 2 を動作させるシミュレーション試験を実行する装置である。シミュレーション実行装置 20 は、不図示のシミュレーション試験のための演算プログラムおよびデータに従ってシミュレーション試験を実行する。不図示の演算プログラムおよびデータには、レーダまたはカメラ等のセンサモデルが含まれる。

[0013] 制御ロジックは、制御対象である制御対象エージェントの挙動を規定する。より具体的には、制御ロジックは、制御対象エージェントの外界に関する認知の結果に基づいて、制御対象エージェントの挙動を制御する。例えば、制御ロジックは、制御対象エージェントの進行方向に物体を認知した場合、この認知した物体と衝突しないように、制御対象エージェントの進行速度を落としたりは制御対象エージェントの進行方向を変更する。制御量は、例えば、100ms 毎に決められる。制御ロジックプログラム D 2 は、制御ロジックを実現するプログラムである。

[0014] 本開示において、制御ロジックによる制御対象のエージェントを制御対象エージェントと称し、制御対象エージェント以外のエージェントであって制

御対象エージェントの周囲に存在するエージェントを周囲エージェントと称する。また、本開示において、制御対象エージェントおよび周囲エージェントは、より一般的に、第1のエージェントおよび第2のエージェントとそれぞれ称される場合がある。エージェントの例には、車両、ロボット、またはドローン等の任意の移動体が含まれる。

[0015] シナリオとは、複数のシーン間の経時的展開を意味する。あるシーンはある時刻において定められる用語である。エージェントが車両の場合、シナリオには、道路状況および制御対象車両の目標位置が含まれる。エージェントが車両の場合におけるシナリオの例として、例えば、1) ある時刻においてあるレーンを制御対象車両が走行し、そのレーンに隣接するレーンにおいて制御対象車両の60 m前方を周囲車両が走行しており、その時刻から所定の時刻までの期間内に周囲車両が制御対象車両の前方40 mの位置に車線変更するというシナリオ、または2) ある時刻においてあるレーンを制御対象車両が走行し、そのレーンに隣接するレーンにおいて制御対象車両の20 m前方を周囲車両が走行しており、その時刻から所定の時刻までの期間内に制御対象車両が周囲車両の40 m後方の位置に車線変更するというシナリオが考えられる。

[0016] シナリオには少なくとも1つのシナリオパラメータに関する設定が与えられる。シナリオパラメータの例には、制御対象エージェントの初期速度、並びに周囲エージェントの初期位置、初期速度、目標速度、および加速度が含まれる。エージェントが車両の場合、シナリオパラメータとして、目標レーンが含まれていてもよい。シナリオパラメータ最適化装置10には、シナリオパラメータD9の初期値が、例えばユーザ入力により与えられており、シナリオパラメータD9の初期値をシミュレーション実行装置20に出力する。シミュレーション実行装置20は、目的関数値D4および責任判定結果D8に基づきシナリオパラメータD9の値を最適化する。

[0017] シミュレーション実行装置20は、シナリオパラメータにより具体的に規定される模擬されたシナリオ設定D1の下において、制御ロジックプログラ

ムD 2による制御対象エージェントの動作についてシミュレーション試験を実行する。シミュレーション実行装置20は、シミュレーション試験の実行結果であるシミュレーション実行結果D 3を、シナリオパラメータ最適化装置10へ出力する。シミュレーション実行結果D 3には、制御対象エージェントおよび周囲エージェントの移動を記録した移動ログが含まれる。移動ログには、例えば、シミュレーション試験の期間中の各時刻における、各エージェントの位置、速度、および加速度の他、制御対象エージェントによる周囲エージェントの認識状況が含まれる。

[0018] (シナリオパラメータ最適化装置)

シナリオパラメータ最適化装置10は、シミュレーション実行結果D 3を受け付け、シミュレーション実行結果D 3を解析して、シナリオ設定D 1で用いられるシナリオパラメータを最適化するための装置である。このような機能を実現するために、シナリオパラメータ最適化装置10は、目的関数値算出部11と、責任判定部12と、シナリオパラメータ最適化部13と、を備える。責任判定部12は、責任判定時刻検出部121と責任帰属判定部122を備える。以下、各機能部について詳しく説明をする。

[0019] (目的関数値算出部)

目的関数値算出部11は、シミュレーション実行結果D 3に基づいて、予め定められたイベントを表現する目的関数から予め定められたイベントの目的関数値D 4を算出し、算出した目的関数値D 4をシナリオパラメータ最適化部13に出力する。予め定められたイベントとは、例えば、制御対象エージェントと周囲エージェントの間のエージェント間距離が時間経過により小さくなることによりエージェント間距離が最小となるというイベントである。また、エージェント間距離が最小となるというイベントが予め定められたイベントである場合、予め定められたイベントを表現する目的関数はエージェント間の距離を表す関数である。エージェント間距離の最小値がある閾値より小さければ、エージェント同士の衝突という問題が発生することを意味する。

[0020] 目的関数値D4の算出について、図7を参照して具体的に説明をする。図7Aおよび図7Bにおいて、制御対象エージェントを制御対象車両V1、周囲エージェントを周囲車両V2とする。また、制御対象車両V1、周囲車両V2の重心を、それぞれ (x_1, y_1) 、 (x_2, y_2) とする。図7Aの場合のように、制御対象車両V1と周囲車両V2の横方向yの距離 $|y_2 - y_1|$ が車幅W以下の場合、目的関数値算出部11は、車両の進行方向である縦方向xの距離 $|x_2 - x_1|$ の最接近時の距離である最小値を目的関数値D4として算出する。車幅Wとして、例えば固定値の2000mmを用いてもよい。また、制御対象車両V1の車幅W1と周囲車両V2の車幅W2とが異なる場合には、車幅W1と車幅W2の平均値を車幅Wとして用いてもよい。

[0021] これに対し、図7Bの場合のように、横方向yの距離 $|y_2 - y_1|$ が車幅Wよりも大きい場合には、制御対象車両V1と周囲車両V2は衝突しないので、目的関数値算出部11は、制御対象車両V1と周囲車両V2の最接近時の車間距離を算出せず、最適化結果に影響を与えない程度に大きい値（例えば10000m）を車間距離と見なす。

[0022] また、目的関数値算出部11は、目的関数値D4の算出に用いたデータが取得された時刻をイベント発生時刻D5として責任判定時刻検出部121に出力する。すなわち、イベント発生時刻D5は、予め定められたイベントの発生時刻である。

[0023] (責任判定部)

責任判定部12は、予め定められたイベントの発生について、制御対象エージェントに責任があるかを判定する機能部である。より詳しくは、シミュレーション実行結果D3およびイベント発生時刻D5に基づいて、イベント発生時刻D5より前の時刻である責任判定時刻D6における状況から、予め定められたイベントの発生について制御対象エージェントに責任があるか否かを判定し、判定の結果を責任判定結果D8として出力する。このような機能を実現するために、責任判定部12は、責任判定時刻検出部121と責任

帰属判定部 1 2 2 を備える。

[0024] (責任判定時刻検出部)

責任判定時刻検出部 1 2 1 は、シミュレーション実行結果 D 3 に基づき、イベント発生時刻 D 5 より前に起こった、予め定められたイベントの発生に繋がる周囲エージェントの挙動が生じた時刻を責任判定時刻候補として検出し、検出した責任判定時刻候補に基づき責任判定時刻 D 6 を決定し、決定した責任判定時刻 D 6 を責任帰属判定部 1 2 2 に出力する。

[0025] ここで、予め定められたイベントの発生に繋がる周囲エージェントの挙動の例について説明をする。例について説明をするために、エージェントとして車両を想定し、制御対象車両と周囲車両の 2 台の車両が道路を走行するシナリオを想定する。また、予め定められたイベントとして、制御対象車両と周囲車両の間の車間距離が時間経過により最小値となるイベントを想定する。このような想定の下では、周囲エージェントのそのような挙動の例として、進路変更（車線変更）、加速、または減速を挙げることができる。

[0026] 進路変更に係る例は、より具体的には、制御対象車両があるレーンを走行中に、隣のレーンを走行している周囲車両が制御対象車両の前方に割り込んで車線を変更する場合である。車線変更の前後に、周囲車両が減速するシナリオを想定してもよい。

[0027] 進路変更に係る別の例は、制御対象車両が第 1 のレーンから第 1 のレーンに隣接する第 2 のレーンに車線変更を開始した後に、第 2 のレーンに隣接する第 3 のレーンを走行中の周囲車両が第 2 のレーンに車線変更する場合である。車線変更の前後に、周囲車両が減速するシナリオを想定してもよい。

[0028] 加速の例は、あるレーンを走行中の制御対象車両が、そのレーンに隣接するレーンに車線変更を開始した後に、その隣接レーンを走行中の後方の周囲車両が加速する場合である。

[0029] 減速の例は、制御対象車両と同じレーンを走行中の前方の周囲車両が急減速する場合である。

[0030] これらの例における周囲車両の挙動は、制御対象車両と周囲車両の車間距

離が短くなる。責任判定時刻検出部 1 2 1 は、このような周囲エージェントの挙動が生じた時刻を責任判定時刻候補として検出する。車線変更後に減速する場合のように、周囲エージェントが複数の挙動を行う場合は、責任判定時刻検出部 1 2 1 は、周囲エージェントの挙動変化が起こる時刻のうち、イベント発生時刻 D 5 より前で最も遅い時刻を責任判定時刻候補として算出する。責任判定時刻検出部 1 2 1 は、この責任判定時刻候補に基づいて責任判定時刻 D 6 を決定して、決定した責任判定時刻 D 6 を責任帰属判定部 1 2 2 に出力する。責任判定時刻候補に基づいた責任判定時刻 D 6 の決定については後述する。

[0031] (責任帰属判定部)

責任帰属判定部 1 2 2 は、シミュレーション実行結果 D 3 における責任判定時刻 D 6 の状況に基づき、制御対象エージェントに予め定められたイベントの発生について責任があるか否かを判定し、その判定結果を責任判定結果 D 8 としてシナリオパラメータ最適化部 1 3 に出力する。状況とは、制御対象エージェントおよび周囲エージェントの物理量を意味する。物理量の例には、位置、速度、または加速度が含まれる。判定の仕方については後述する。

[0032] (シナリオパラメータ最適化部)

シナリオパラメータ最適化部 1 3 は、目的関数値 D 4 および責任判定結果 D 8 に基づき、制御対象エージェントに予め定められたイベントの発生の責任があり、且つ目的関数値 D 4 が小さくなるように、シナリオパラメータ D 9 を最適化する。最適化の手法としては、Hill Climbing、Simulated Annealing および Genetic Algorithms などのヒューリスティックな手法がある。

[0033] 次に、図 2 A および図 2 B を参照して、シナリオパラメータ最適化装置 1 0 およびシミュレーション実行装置 2 0 のハードウェアの構成例について説明する。各装置の機能は、処理回路 (processing circuitry) により実現される。処理回路 (processing circuitry) は、図 2 A に示されているような専用の処理回路 (processing circuit) 1 0 0 a であっても、図 2 B に示さ

れているようなメモリ 100c とプロセッサ 100b を備えるコンピュータであってもよい。プロセッサ 100b は、メモリ 100c に格納されるプログラムを読み出して、読み出したプログラムを実行する。

[0034] 処理回路 (processing circuitry) が専用の処理回路 100a である場合、専用の処理回路 100a は、例えば、単回路、複合回路、プログラム化したプロセッサ、並列プログラム化したプロセッサ、ASIC (application specific integrated circuit)、FPGA (field-programmable gate array)、またはこれらを組み合わせたものが該当する。各装置の機能を別個の複数の処理回路 (processing circuits) で実現してもよいし、複数の機能をまとめて単一の処理回路 (processing circuit) で実現してもよい。

[0035] 処理回路 (processing circuitry) がプロセッサ 100b の場合、各装置の機能は、ソフトウェア、ファームウェア、またはソフトウェアとファームウェアとの組み合わせにより実現される。ソフトウェアおよびファームウェアはプログラムとして記述され、メモリ 100c に格納される。プロセッサ 100b は、メモリに記憶されたプログラムを読み出して実行することにより、各装置の機能を実現する。ここで、メモリ 100c の例には、RAM (random access memory)、ROM (read-only memory)、フラッシュメモリ、EPROM (erasable programmable read only memory)、EEPROM (electrically erasable programmable read-only memory) 等の、不揮発性または揮発性の半導体メモリや、磁気ディスク、フレキシブルディスク、光ディスク、コンパクトディスク、ミニディスク、DVD が含まれる。

[0036] <動作>

次に、図 3～図 6 を参照して、シナリオパラメータ最適化装置 10 の動作について説明をする。図 3 は、シナリオパラメータ最適化装置 10 の目的関数値算出部 11 による動作を示す。図 4 および図 5 は、シナリオパラメータ最適化装置 10 の責任判定部 12 による動作を示す。図 6 は、シナリオパラメータ最適化装置 10 のシナリオパラメータ最適化部 13 による動作を示す。

。以下、各図を参照しつつ、詳細に説明をする。

- [0037] 図3を参照して、目的関数値算出部11による動作について説明をする。ステップST11において、目的関数値算出部11は、シミュレーション実行装置20から出力されるシミュレーション実行結果D3を解析する。シミュレーション実行結果D3には、制御対象エージェントと、少なくとも1つの周囲エージェントの位置情報が記録された走行ログまたは飛行ログなどの移動ログが含まれる。複数の周囲エージェントが存在する場合には、シミュレーション実行結果D3には、各周囲エージェントの移動ログが含まれる。目的関数値算出部11は、シミュレーション実行結果D3を解析して、制御対象エージェントから少なくとも1つの周囲エージェントまでの距離の最小値を求める。複数の周囲エージェントが存在する場合には、各周囲エージェントまでの距離の最小値を求める。
- [0038] ステップST12において、目的関数値算出部11は、求めた周囲エージェントまでの1または2以上の距離の最小値から目的関数値を計算して、計算した目的関数値D4を出力する。単一の周囲エージェントだけが存在する場合、目的関数値D4は、その周囲エージェントまでの距離の最小値である。また、複数の周囲エージェントが存在する場合、目的関数値D4は、周囲エージェントの数だけ存在する多値であってもよいし、制御対象エージェントとの距離の最小値が最小となる値のみの単値であってもよい。目的関数値算出部11は、計算した目的関数値D4をシナリオパラメータ最適化部13に出力する。
- [0039] ステップST13において、目的関数値算出部11は、目的関数値D4の算出に用いたデータが取得された時刻、すなわち、制御対象エージェントと周囲エージェントの間の距離が最小となる時刻をイベント発生時刻D5として責任判定時刻検出部121に出力する。
- [0040] 図4および図5を参照して、責任判定時刻検出部121および責任帰属判定部122を備える責任判定部12による動作について説明をする。ステップST21において、責任判定時刻検出部121は、シミュレーション実行

装置 20 から出力されたシミュレーション実行結果 D 3 を解析し、各周囲エージェントの挙動変化が起きた挙動変化時刻を検出する。挙動変化とは、周囲エージェントが例えば自動車であれば、車線変更、加速、または減速などが挙げられる。

[0041] ステップ S T 2 2 において、責任判定時刻検出部 1 2 1 は、各周囲エージェントに対して、各周囲エージェントの挙動変化時刻のうち、イベント発生時刻 D 5 より前で最も遅い挙動変化時刻を責任判定時刻候補として決定する。

[0042] ステップ S T 2 3 において、責任判定時刻検出部 1 2 1 は、シミュレーション実行結果 D 3 を解析して、各周囲エージェントに対して、イベント発生時刻 D 5 より前で周囲エージェントの認識を制御対象エージェントが開始した認識開始時刻を検出し、責任判定時刻候補および認識開始時刻のうち遅い方を責任判定時刻 D 6 として算出して、算出した責任判定時刻 D 6 を責任帰属判定部 1 2 2 に出力する。例えば、隣接車線の前方に存在する周囲車両が制御対象車両の前方に車線変更して割り込む場合、その周囲車両が車線変更を開始する責任判定時刻候補よりも、その周囲車両が制御対象車両と同じ車線に進入することを制御対象車両が認識し始める認識開始時刻の方が遅い場合がある。このような例の場合、責任判定時刻検出部 1 2 1 は、遅い方の認識開始時刻を責任判定時刻 D 6 として算出する。

[0043] ステップ S T 2 4 において、責任帰属判定部 1 2 2 は、シミュレーション実行装置 20 から出力されたシミュレーション実行結果 D 3 から、責任判定時刻検出部 1 2 1 により算出された責任判定時刻 D 6 における当該周囲エージェントのデータを抽出する。

[0044] ステップ S T 2 5 において、責任帰属判定部 1 2 2 は、予め定められたイベントが発生したことについて、各周囲エージェントとの関係における制御対象エージェントの責任の有無を判定し、判定結果を責任判定結果 D 8 としてシナリオパラメータ最適化部 1 3 に出力する。

[0045] 図 5 は、ステップ S T 2 5 における責任帰属判定部 1 2 2 による処理を詳

細に説明するフローチャートである。ステップS T 2 5 1において、周囲エージェントの責任判定時刻D 6におけるデータに基づき、責任判定時刻D 6以降でイベント発生時刻D 5までの期間において制御対象エージェントが現実的な制御量で予め定められたイベントの発生を回避可能であったか否かを判定する。例えば、衝突回避に必要な減速度の値または旋回角速度の値の一方または両方を運動法則に従って算出し、算出した値が所定の閾値D 7を超える場合には現実的な制御量で予め定められたイベントの発生の回避は不可能であると判定する（ステップS T 2 5 1でN O）。減速の場合、閾値D 7として、例えば、熟練ドライバーが発生させることが可能な制動力である0.75 G程度の値、または衝突被害軽減ブレーキ装置の発動時の制動力である0.85 G程度の値を用いることができる。他方、算出した値が所定の閾値D 7以下の場合には現実的な制御量で予め定められたイベントの発生の回避は可能であると判定する（ステップS T 2 5 1でY E S）。

[0046] ステップS T 2 5 1でY E Sの場合、処理はステップS T 2 5 2に進み、ステップS T 2 5 2において制御対象エージェントに責任ありと判定する。

[0047] ステップS T 2 5 1でN Oの場合、処理はステップS T 2 5 3に進み、ステップS T 2 5 3において制御対象エージェントに責任なしと判定する。

[0048] ステップS T 2 5 4において、シミュレーション実行装置20から出力されたシミュレーション実行結果D 3から制御対象エージェントの挙動変化を検出し、検出した挙動変化の時刻が責任判定時刻D 6より遅い場合には、制御対象エージェントに責任ありと判定するように判定の結果を補正する。例えば、隣接車線前方に存在する周囲車両が減速した後、制御対象車両がその隣接車線に車線変更した場合には、制御対象車両に責任ありと見なす。

[0049] 図6を参照して、シナリオパラメータ最適化部13による動作について説明をする。ステップS T 3 1において、シナリオパラメータ最適化部13は、目的関数値算出部11から出力された目的関数値D 4を、責任帰属判定部122から出力された責任判定結果D 8に基づき補正する。例えば、周囲エージェントとして、例えば周囲車両a、b、cが存在するシナリオにおいて

、ある周囲エージェント、例えば周囲車両bに対して制御対象エージェントに予め定められたイベントの発生責任がないと判定された場合、その周囲車両bに対応する目的関数値 f_b にペナルティ値を加算することで、以降の最適化において同様のシナリオパラメータの値を発生しにくくする。

[0050] ステップS T 3 2において、シナリオパラメータ最適化部1 3は、最適化実行によりシナリオパラメータの値を更新する。最適化の手法としては、Hill Climbing、Simulated AnnealingおよびGenetic Algorithmsなどのヒューリスティックな手法がある。

[0051] ステップS T 3 3において、シナリオパラメータ最適化部1 3は、更新されたシナリオパラメータの値をシミュレーション実行装置2 0に出力する。

[0052] 以上のように、シナリオパラメータ最適化装置1 0は、制御対象エージェントおよび周囲エージェントを含む複数のエージェントが存在するシナリオを想定する。想定したシナリオの下、シナリオパラメータ最適化装置1 0は、制御ロジックプログラムのシミュレーション試験の期間中において予め定められたイベントが発生したことの責任が制御対象エージェントにあり、且つ目的関数値がより小さくなるようにシナリオパラメータを最適化する。したがって、シナリオパラメータ最適化装置1 0は、シミュレーション試験におけるテストケースとして用いたいシナリオを効果的に探索することができる。

[0053] なお、実施形態を組み合わせたり、各実施形態を適宜、変形、省略したりすることが可能である。

産業上の利用可能性

[0054] 本開示のシナリオパラメータ最適化装置は、自動走行車両等のエージェントを制御する制御ロジックプログラムの検査を行うために用いるシナリオを効果的に探索するための装置として用いることができる。

符号の説明

[0055] 1 制御ロジック検査システム、1 0 シナリオパラメータ最適化装置、
1 1 目的関数値算出部、1 2 責任判定部、1 3 シナリオパラメータ最

適化部、20 シミュレーション実行装置、100a 処理回路、100b
プロセッサ、100c メモリ、121 責任判定時刻検出部、122
責任帰属判定部。

請求の範囲

- [請求項1] シナリオパラメータに基づいて実行される、第1のエージェントおよび第2のエージェントを含むシナリオのシミュレーション試験の実行結果を受け付けて、その実行結果に基づいて、予め定められたイベントを表現する目的関数から前記予め定められたイベントの目的関数値と、前記予め定められたイベントが発生するイベント発生時刻とを算出する目的関数値算出部と、
- 前記実行結果およびその算出されたイベント発生時刻に基づいて、前記算出されたイベント発生時刻より前の時刻である責任判定時刻における状況から、前記予め定められたイベントの発生について前記第1のエージェントに責任があるか否かを判定し、判定の結果を責任判定結果として出力する責任判定部と、
- その算出された目的関数値およびその出力された責任判定結果に基づき、前記算出された目的関数値がより小さくなり、且つ前記予め定められたイベントの発生について前記第1のエージェントに責任があると判定されるように、前記シナリオパラメータを最適化するシナリオパラメータ最適化部と、
- を備えるシナリオパラメータ最適化装置。
- [請求項2] 前記責任判定部は、前記実行結果および前記算出されたイベント発生時刻に基づいて、前記責任判定時刻を検出する責任判定時刻検出部を備える、
- 請求項1に記載されたシナリオパラメータ最適化装置。
- [請求項3] 前記責任判定時刻検出部は、前記第2のエージェントの挙動変化が起こる時刻のうち、前記イベント発生時刻より前で最も遅い時刻を責任判定時刻候補として算出し、その算出した責任判定時刻候補を前記責任判定時刻として検出する、
- 請求項2に記載されたシナリオパラメータ最適化装置。
- [請求項4] 前記第2のエージェントの挙動変化は、進路変更、加速または減速

のいずれかである、

請求項 3 に記載されたシナリオパラメータ最適化装置。

[請求項5] 前記責任判定時刻検出部は、前記責任判定時刻候補よりも前記第 1 のエージェントが前記第 2 のエージェントを認識し始める認識開始時刻が遅い場合、前記責任判定時刻候補に代えて前記認識開始時刻を前記責任判定時刻として検出する、

請求項 3 または 4 に記載されたシナリオパラメータ最適化装置。

[請求項6] 前記責任判定部は、前記責任判定時刻における状況から、前記予め定められたイベントの発生について前記第 1 のエージェントに責任があるか否かを判定する責任帰属判定部を備え、

前記責任帰属判定部は、前記責任判定時刻において、前記予め定められたイベントの発生を回避するために必要な前記第 1 のエージェントの減速度または旋回角速度に基づき、前記第 1 のエージェントに責任があるか否かを判定する、

請求項 1 から 5 のいずれか 1 項に記載されたシナリオパラメータ最適化装置。

[請求項7] 前記責任帰属判定部は、前記責任判定時刻以降において前記第 1 のエージェントの挙動変化が起こる場合、前記第 1 のエージェントに責任があると判定する、

請求項 6 に記載されたシナリオパラメータ最適化装置。

[請求項8] 請求項 1 から 7 のいずれか 1 項に記載されたシナリオパラメータ最適化装置と、

その最適化されたシナリオパラメータにより規定されるシナリオと、前記第 1 のエージェントの挙動を制御する制御ロジックプログラムとを用いて、前記第 1 のエージェントのシミュレーション試験を行うシミュレーション実行装置と、

を備える制御ロジック検査システム。

[請求項9] 目的関数値算出部、責任判定部、およびシナリオパラメータ最適化

部を備えるシナリオパラメータ最適化装置が行うシナリオパラメータ最適化方法であって、

前記目的関数値算出部が、シナリオパラメータに基づいて実行される、第1のエージェントおよび第2のエージェントを含むシナリオのシミュレーション試験の実行結果を受け付けて、その実行結果に基づいて、予め定められたイベントを表現する目的関数から前記予め定められたイベントの目的関数値と、前記予め定められたイベントが発生するイベント発生時刻とを算出するステップと、

前記責任判定部が、前記実行結果およびその算出されたイベント発生時刻に基づいて、前記算出されたイベント発生時刻より前の時刻である責任判定時刻における状況から、前記予め定められたイベントの発生について前記第1のエージェントに責任があるか否かを判定し、判定の結果を責任判定結果として出力するステップと、

前記シナリオパラメータ最適化部が、その算出された目的関数値およびその出力された責任判定結果に基づき、前記算出された目的関数値がより小さくなり、且つ前記予め定められたイベントの発生について前記第1のエージェントに責任があると判定されるように、前記シナリオパラメータを最適化するステップと、
を備えるシナリオパラメータ最適化方法。

[請求項10]

シナリオパラメータに基づいて実行される、第1のエージェントおよび第2のエージェントを含むシナリオのシミュレーション試験の実行結果を受け付けて、その実行結果に基づいて、予め定められたイベントを表現する目的関数から前記予め定められたイベントの目的関数値と、前記予め定められたイベントが発生するイベント発生時刻とを算出する機能と、

前記実行結果およびその算出されたイベント発生時刻に基づいて、前記算出されたイベント発生時刻より前の時刻である責任判定時刻における状況から、前記予め定められたイベントの発生について前記第

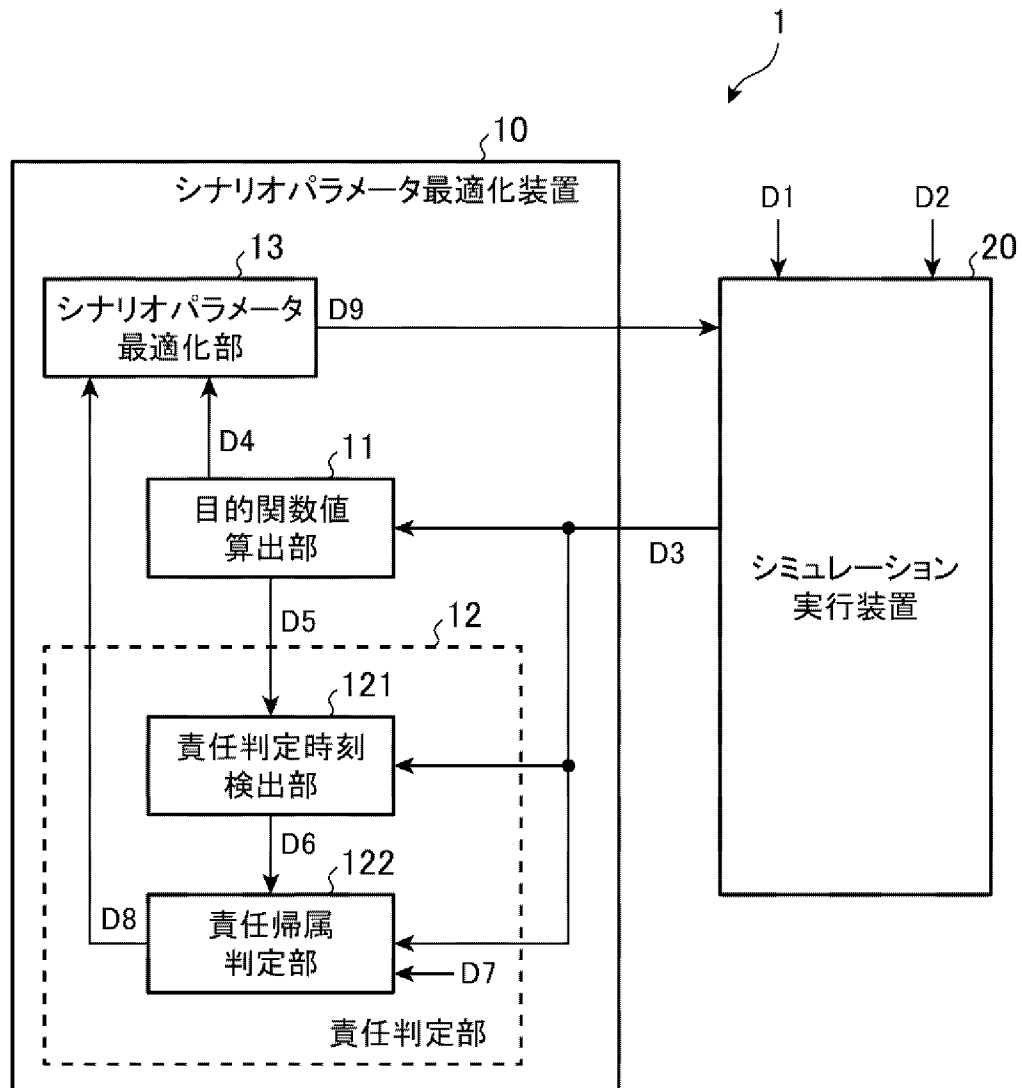
1のエージェントに責任があるか否かを判定し、判定の結果を責任判定結果として出力する機能と、

その算出された目的関数値およびその出力された責任判定結果に基づき、前記算出された目的関数値がより小さくなり、且つ前記予め定められたイベントの発生について前記第1のエージェントに責任があると判定されるように、前記シナリオパラメータを最適化する機能と

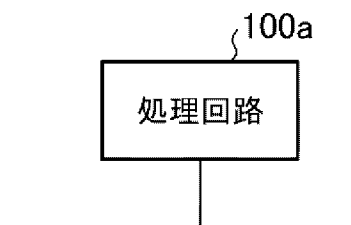
、

をコンピュータに実行させるシナリオパラメータ最適化プログラム。

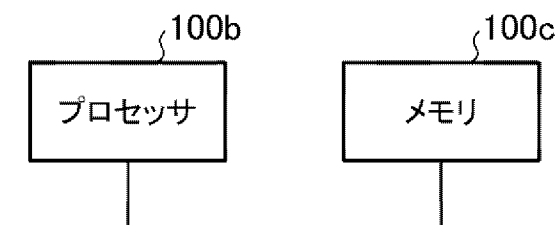
[図1]



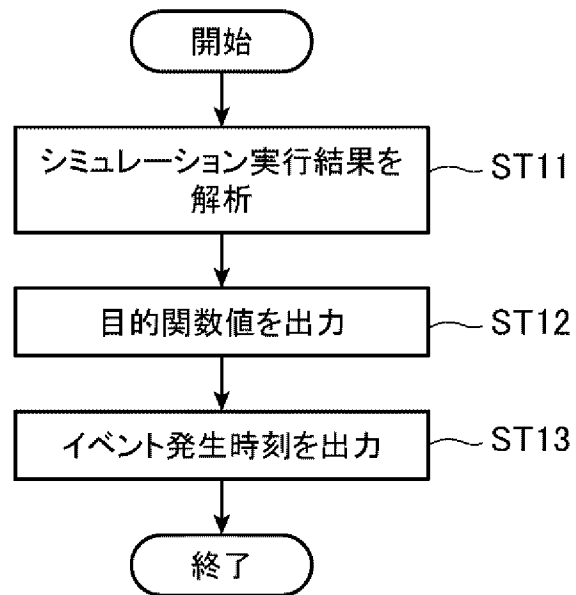
[図2A]



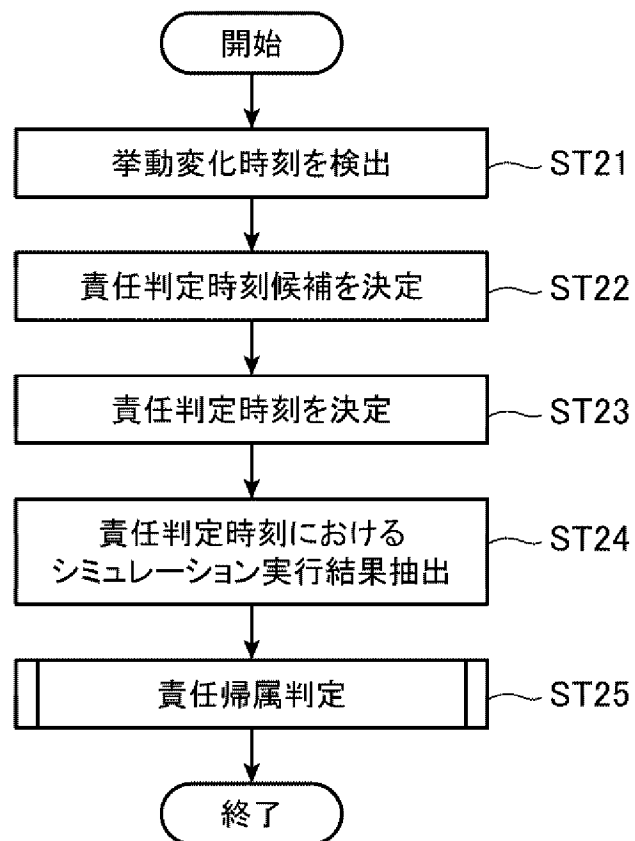
[図2B]



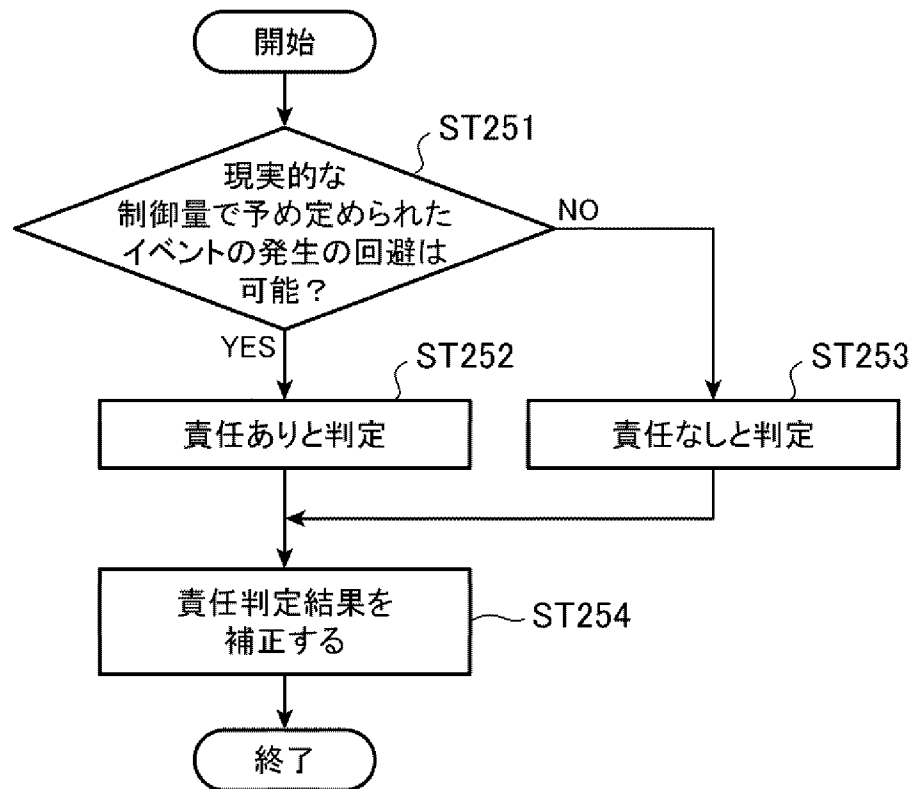
[図3]



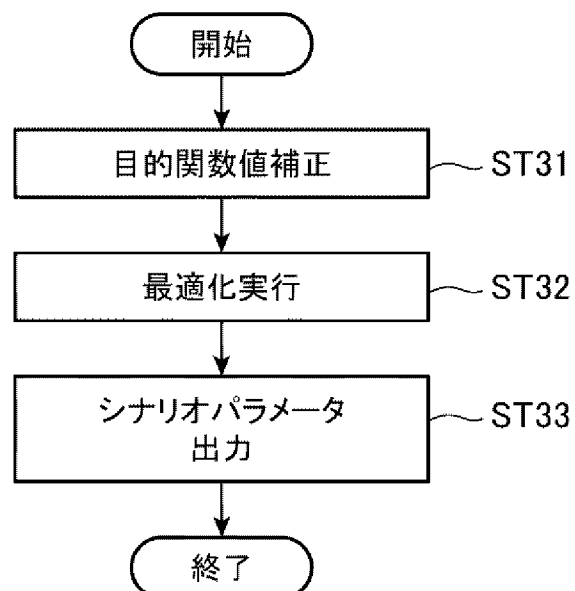
[図4]



[図5]



[図6]



[図7]

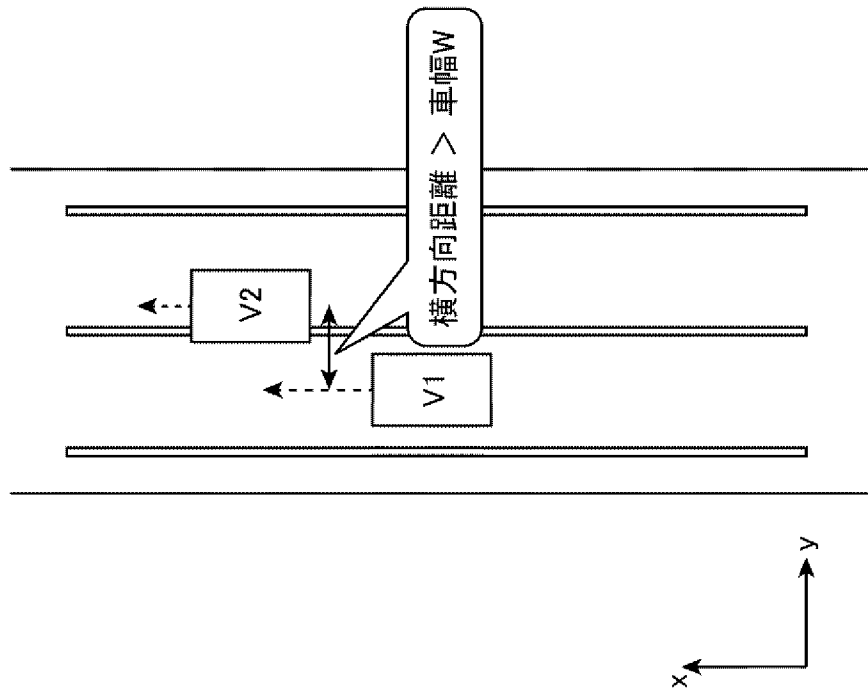


図7B

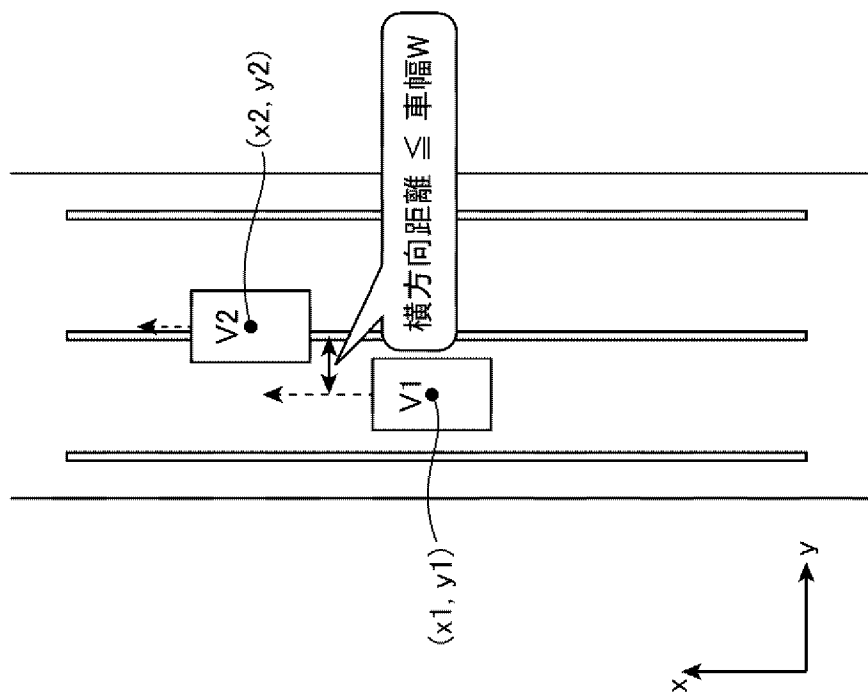


図7A

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2023/012068

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**G06F 11/34**(2006.01)i; **G06F 11/36**(2006.01)i; **G06N 99/00**(2019.01)i

FI: G06F11/34 157; G06F11/36 184; G06N99/00 180

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)

G06F11/34; G06F11/36; G06N99/00

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

Published examined utility model applications of Japan 1922-1996
 Published unexamined utility model applications of Japan 1971-2023
 Registered utility model specifications of Japan 1996-2023
 Published registered utility model applications of Japan 1994-2023

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2018-190230 A (TOYOTA MOTOR CORP.) 29 November 2018 (2018-11-29) entire text	1-10
A	JP 2015-197868 A (TOYOTA MOTOR CORP.) 09 November 2015 (2015-11-09) entire text	1-10
A	CN 115131751 A (ROBERT BOSCH GMBH) 30 September 2022 (2022-09-30) entire text	1-10
A	US 2020/0409816 A1 (ROBERT BOSCH GMBH) 31 December 2020 (2020-12-31) entire text	1-10

☐ 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

25 May 2023

Date of mailing of the international search report

06 June 2023

Name and mailing address of the ISA/JP

Japan Patent Office (ISA/JP)
 3-4-3 Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915
 Japan

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/JP2023/012068

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
JP	2018-190230	A	29 November 2018	(Family: none)	
JP	2015-197868	A	09 November 2015	(Family: none)	
CN	115131751	A	30 September 2022	US 2022-0292894 A1	
				entire text	
US	2020/0409816	A1	31 December 2020	CN 112147973 A	

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC）） G06F 11/34(2006.01)i; G06F 11/36(2006.01)i; G06N 99/00(2019.01)i FI: G06F11/34 157; G06F11/36 184; G06N99/00 180										
B. 調査を行った分野										
調査を行った最小限資料（国際特許分類（IPC）） G06F11/34; G06F11/36; G06N99/00										
最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの <table border="0"> <tr> <td>日本国実用新案公報</td> <td>1922 - 1996年</td> </tr> <tr> <td>日本国公開実用新案公報</td> <td>1971 - 2023年</td> </tr> <tr> <td>日本国実用新案登録公報</td> <td>1996 - 2023年</td> </tr> <tr> <td>日本国登録実用新案公報</td> <td>1994 - 2023年</td> </tr> </table>			日本国実用新案公報	1922 - 1996年	日本国公開実用新案公報	1971 - 2023年	日本国実用新案登録公報	1996 - 2023年	日本国登録実用新案公報	1994 - 2023年
日本国実用新案公報	1922 - 1996年									
日本国公開実用新案公報	1971 - 2023年									
日本国実用新案登録公報	1996 - 2023年									
日本国登録実用新案公報	1994 - 2023年									
国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）										
C. 関連すると認められる文献										
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号								
A	JP 2018-190230 A（トヨタ自動車株式会社）29.11.2018（2018 - 11 - 29） 全文	1-10								
A	JP 2015-197868 A（トヨタ自動車株式会社）09.11.2015（2015 - 11 - 09） 全文	1-10								
A	CN 115131751 A（ROBERT BOSCH GMBH）30.09.2022（2022 - 09 - 30） 全文	1-10								
A	US 2020/0409816 A1（ROBERT BOSCH GMBH）31.12.2020（2020 - 12 - 31） 全文	1-10								
☐ C欄の続きにも文献が列挙されている。 ☒ パテントファミリーに関する別紙を参照。										
<table border="0"> <tr> <td> * 引用文献のカテゴリー “A” 特に関連のある文献ではなく、一般的技术水準を示すもの “E” 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの “L” 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す） “O” 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献 “P” 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願の日の後に公表された文献 </td> <td> “T” 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と抵触するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの “X” 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの “Y” 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの “&” 同一パテントファミリー文献 </td> </tr> </table>			* 引用文献のカテゴリー “A” 特に関連のある文献ではなく、一般的技术水準を示すもの “E” 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの “L” 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す） “O” 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献 “P” 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願の日の後に公表された文献	“T” 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と抵触するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの “X” 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの “Y” 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの “&” 同一パテントファミリー文献						
* 引用文献のカテゴリー “A” 特に関連のある文献ではなく、一般的技术水準を示すもの “E” 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの “L” 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す） “O” 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献 “P” 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願の日の後に公表された文献	“T” 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と抵触するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの “X” 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの “Y” 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの “&” 同一パテントファミリー文献									
国際調査を完了した日 25.05.2023		国際調査報告の発送日 06.06.2023								
名称及びあて先 日本国特許庁(ISA/JP) 〒100-8915 日本国 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号		権限のある職員（特許庁審査官） 福西 章人 5B 4687 電話番号 03-3581-1101 内線 3545								

国際調査報告
パテントファミリーに関する情報

国際出願番号

PCT/JP2023/012068

引用文献			公表日	パテントファミリー文献	公表日
JP	2018-190230	A	29.11.2018	(ファミリーなし)	
JP	2015-197868	A	09.11.2015	(ファミリーなし)	
CN	115131751	A	30.09.2022	US 2022-0292894 A1	
				全文	
US	2020/0409816	A1	31.12.2020	CN 112147973 A	