

(19)日本国特許庁(JP)

(12)公表特許公報(A)

(11)公表番号
特表2025-512593
(P2025-512593A)

(43)公表日 令和7年4月17日(2025.4.17)

(51)国際特許分類		F I		テーマコード (参考)	
G O 5 D	1/24 (2024.01)	G O 5 D	1/24	5 H 0 0 4	
G O 6 N	3/006(2023.01)	G O 6 N	3/006	5 H 1 8 1	
G O 6 N	3/094(2023.01)	G O 6 N	3/094	5 H 3 0 1	
G O 6 N	3/092(2023.01)	G O 6 N	3/092		
G O 5 B	13/04 (2006.01)	G O 5 B	13/04		
		審査請求	未請求	予備審査請求	未請求 (全31頁) 最終頁に続く
(21)出願番号	特願2024-568653(P2024-568653)			(71)出願人	524297575
(86)(22)出願日	令和5年2月8日(2023.2.8)			ワービ・イノベーション・インコーポレイテッド	
(85)翻訳文提出日	令和6年9月26日(2024.9.26)			WAABI INNOVATION INC.	
(86)国際出願番号	PCT/CA2023/050165			カナダ、エム・5・ティ 2・エス・6	
(87)国際公開番号	WO2023/150876			オンタリオ州、トロント、バースト・ストリート、440、フォース・フロア	
(87)国際公開日	令和5年8月17日(2023.8.17)			110001195	
(31)優先権主張番号	63/308,042			(74)代理人	弁理士法人深見特許事務所
(32)優先日	令和4年2月8日(2022.2.8)			ウルタスン、ラクエル	
(33)優先権主張国・地域又は機関	米国(US)			カナダ、エム・5・ティ 2・エス・6	
(81)指定国・地域	AP(BW,CV,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			(72)発明者	オンタリオ州、トロント、バースト・ストリート、440、フォース・フロア
			最終頁に続く	(72)発明者	マニバサガム、シババラン
				最終頁に続く	

(54)【発明の名称】 自律システムの訓練および試験

(57)【要約】

自律システムの訓練および試験の動作は、シミュレートされた環境のシミュレートされた環境状態として実世界シナリオのデジタルツインを生成することを含んでもよい。動作はまた、複数の時間ステップを介して反復的に、シミュレートされた環境状態上でセンサシミュレーションモデルを実行して、シミュレートされたセンサ出力を取得することと、自律システムの仮想ドライバから、シミュレートされたセンサ出力に基づく少なくとも1つの作動アクションを取得することと、少なくとも1つの作動アクションに基づいて自律システムの自律システム状態を更新することと、複数のアクターモデルを使用して、シミュレートされた環境内でシミュレートされた環境状態に従って複数のアクターをモデル化して、複数のアクターアクションを取得することと、アクターアクションおよび自律システム状態に従ってシミュレートされた環境状態を更新することを含んでもよい。動作は、シミュレートされた環境状態を更新した後に仮想ドライバを評価することをさらに含んでもよい。

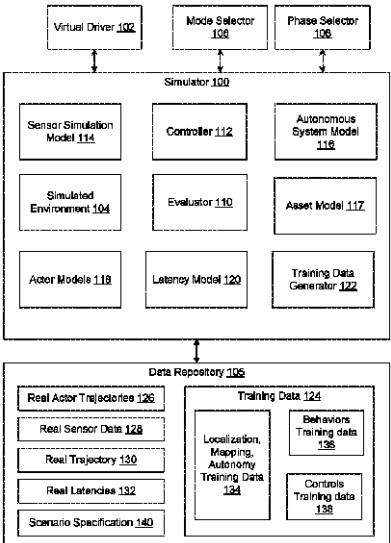


FIG. 2

【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

シミュレートされた環境のシミュレートされた環境状態として実世界シナリオのデジタルツインを生成することと、

複数の時間ステップを介して反復的に、

前記シミュレートされた環境状態上でセンサシミュレーションモデルを実行して、シミュレートされたセンサ出力を取得し、

自律システムの仮想ドライバから、前記シミュレートされたセンサ出力に基づく少なくとも1つの作動アクションを取得し、

前記少なくとも1つの作動アクションに基づいて前記自律システムの自律システム状態を更新し、

複数のアクターモデルを使用して、前記シミュレートされた環境内で前記シミュレートされた環境状態に従って複数のアクターをモデル化して、複数のアクターアクションを取得し、

前記複数のアクターアクションおよび前記自律システム状態に従って前記シミュレートされた環境状態を更新することと、

前記シミュレートされた環境状態を更新した後に、前記仮想ドライバを評価することと、

を含む、方法。

【請求項 2】

前記シミュレートされたセンサ出力が前記実世界における前記自律システム上の複数のセンサから前記仮想ドライバへの入力フォーマットを複製することをさらに含む、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 3】

前記シミュレートされたセンサ出力は、LiDARセンサ出力を含む、請求項 2 に記載の方法。

【請求項 4】

前記自律システムのカメラの視点から画像を生成することと、

前記画像を前記仮想ドライバに提示することと、

をさらに含む、請求項 2 に記載の方法。

【請求項 5】

前記複数のアクターに新しいアクターを追加して、前記実世界シナリオから複合現実シナリオを作成することと、

前記新しいアクターのアクターモデルを使用して、前記実世界シナリオにおける前記新しいアクターの挙動をモデル化することと、

をさらに含み、

前記シミュレートされた環境状態を更新することは前記新しいアクターの前記挙動を考慮し、前記仮想ドライバは前記新しいアクターの前記挙動に反応する、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 6】

前記複数のアクターのうちの既存のアクターの挙動を修正して、前記実世界シナリオから複合現実シナリオを作成することと、

前記既存のアクターのアクターモデルを使用して、前記実世界シナリオにおける前記既存のアクターの前記挙動をモデル化することとをさらに含み、前記更新された自律システム状態は前記既存のアクターの前記挙動を考慮し、

前記シミュレートされた環境状態を更新することは前記既存のアクターの前記挙動を考慮し、前記仮想ドライバは前記既存のアクターの前記挙動に反応する、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 7】

前記仮想ドライバを評価することに基づいて前記仮想ドライバを修正するように前記仮

10

20

30

40

50

想ドライバを訓練することをさらに含む、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 8】

前記仮想ドライバの前記評価に基づいて前記複数のアクターの挙動を修正することによって、前記仮想ドライバの敵対的訓練を実施することをさらに含む、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 9】

レイテンシモデルを使用して、前記実世界シナリオにおいて前記自律システム上で実行される前記仮想ドライバの複数のレイテンシをモデル化することをさらに含む、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 10】

前記複数のレイテンシは、前記仮想ドライバにセンサ出力を送信するセンサレイテンシ、前記自律システム上で実行される前記仮想ドライバのコンピュータハードウェアレイテンシ、および前記少なくとも 1 つの作動アクションに基づいて前記自律システム状態を更新する自律システムレイテンシを含む、請求項 9 に記載の方法。

【請求項 11】

自律システムの仮想ドライバと、
シミュレータを実行するコンピュータプロセッサとを備え、前記シミュレータは前記コンピュータプロセッサに動作を実施させ、前記動作は、
シミュレートされた環境のシミュレートされた環境状態として実世界シナリオのデジタルツインを生成することと、
複数の時間ステップを介して反復的に、
前記シミュレートされた環境状態上でセンサシミュレーションモデルを実行して、シミュレートされたセンサ出力を取得し、
前記自律システムの前記仮想ドライバから、前記シミュレートされたセンサ出力に基づく少なくとも 1 つの作動アクションを取得し、
前記少なくとも 1 つの作動アクションに基づいて前記自律システムの自律システム状態を更新し、
複数のアクターモデルを使用して、前記シミュレートされた環境内で前記シミュレートされた環境状態に従って複数のアクターをモデル化して、複数のアクターアクションを取得し、
前記複数のアクターアクションおよび前記自律システム状態に従って前記シミュレートされた環境状態を更新することと、
前記シミュレートされた環境状態を更新した後に、前記仮想ドライバを評価することと、
を含む、システム。

【請求項 12】

前記動作は、前記シミュレートされたセンサ出力が前記実世界における前記自律システム上の複数のセンサから前記仮想ドライバへの入力のフォーマットを複製することをさらに含む、請求項 11 に記載のシステム。

【請求項 13】

前記動作は、
前記複数のアクターに新しいアクターを追加して、前記実世界シナリオから複合現実シナリオを作成することと、
前記新しいアクターのアクターモデルを使用して、前記実世界シナリオにおける前記新しいアクターの挙動をモデル化することと、
をさらに含み、
前記シミュレートされた環境状態を更新することは前記新しいアクターの前記挙動を考慮し、前記仮想ドライバは前記新しいアクターの前記挙動に反応する、請求項 11 に記載のシステム。

【請求項 14】

前記動作は、

前記複数のアクターのうちの既存のアクターの挙動を修正して、前記実世界シナリオから複合現実シナリオを作成することと、

前記既存のアクターのアクターモデルを使用して、前記実世界シナリオにおける前記既存のアクターの前記挙動をモデル化することとをさらに含み、前記更新された自律システム状態は前記既存のアクターの前記挙動を考慮し、

前記シミュレートされた環境状態を更新することは前記既存のアクターの前記挙動を考慮し、前記仮想ドライバは前記既存のアクターの前記挙動に反応する、請求項 11 に記載のシステム。

【請求項 15】

前記動作は、前記仮想ドライバを評価することに基づいて前記仮想ドライバを修正するように前記仮想ドライバを訓練することをさらに含む、請求項 11 に記載のシステム。

【請求項 16】

前記動作は、前記仮想ドライバの前記評価に基づいて前記複数のアクターの挙動を修正することによって、前記仮想ドライバの敵対的訓練を実施することをさらに含む、請求項 11 に記載のシステム。

【請求項 17】

前記動作は、レイテンシモデルを使用して、前記実世界シナリオにおいて前記自律システム上で実行される前記仮想ドライバの複数のレイテンシをモデル化することをさらに含む、請求項 11 に記載のシステム。

【請求項 18】

前記複数のレイテンシは、前記仮想ドライバにセンサ出力を送信するセンサレイテンシ、前記自律システム上で実行される前記仮想ドライバのコンピュータハードウェアレイテンシ、および前記少なくとも 1 つの作動アクションに基づいて前記自律システム状態を更新する自律システムレイテンシを含む、請求項 17 に記載のシステム。

【請求項 19】

コンピュータ可読プログラムコードを含む非一時的コンピュータ可読媒体であって、前記コンピュータ可読プログラムコードはコンピュータシステムに動作を実施させ、前記動作は、

シミュレートされた環境のシミュレートされた環境状態として実世界シナリオのデジタルツインを生成することと、

複数の時間ステップを介して反復的に、

前記シミュレートされた環境状態上でセンサシミュレーションモデルを実行して、シミュレートされたセンサ出力を取得し、

自律システムの仮想ドライバから、前記シミュレートされたセンサ出力に基づく少なくとも 1 つの作動アクションを取得し、

前記少なくとも 1 つの作動アクションに基づいて前記自律システムの自律システム状態を更新し、

複数のアクターモデルを使用して、前記シミュレートされた環境内で前記シミュレートされた環境状態に従って複数のアクターをモデル化して、複数のアクターアクションを取得し、

前記複数のアクターアクションおよび前記自律システム状態に従って前記シミュレートされた環境状態を更新することと、

前記シミュレートされた環境状態を更新した後に、前記仮想ドライバを評価することと、

、

を含む、非一時的コンピュータ可読媒体。

【請求項 20】

前記複数のアクターに新しいアクターを追加して、前記実世界シナリオから複合現実シナリオを作成することと、

前記新しいアクターのアクターモデルを使用して、前記実世界シナリオにおける前記新

10

20

30

40

50

しいアクターの挙動をモデル化することと、
をさらに含み、

前記シミュレートされた環境状態を更新することは前記新しいアクターの前記挙動を考慮し、前記仮想ドライバは前記新しいアクターの前記挙動に反応する、請求項 19 に記載の非一時的コンピュータ可読媒体。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

関連出願の相互参照

本出願は、2022年2月8日に出願された米国特許出願第63／308,042号の非仮出願であり、これに対する利益を主張する。米国特許出願第63／308,042号は、その全体が参照により本明細書に組み込まれる。

10

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0002】

背景

自律システムは、人間のパイロットまたは人間のドライバが実世界の環境で移動して実世界の環境に反応することを必要としない交通機関の自動運転モードである。むしろ、自律システムは、自律システムの意思決定部分である仮想ドライバを含む。具体的には、仮想ドライバは自律システムの作動を制御する。仮想ドライバは、実世界ではどのように対話するかを学習する人工知能システムである。人工知能システムとして、仮想ドライバは訓練および試験される。しかしながら、仮想ドライバは実世界における交通機関のモードを制御するので、仮想ドライバの訓練および試験は、他の人工知能システムよりも厳しくなければならない。

20

【課題を解決するための手段】

【0003】

概要

1つの一般的な態様では、方法は、シミュレートされた環境のシミュレートされた環境状態として実世界シナリオのデジタルツインを生成することを含んでもよい。本方法はまた、複数の時間ステップを介して反復的に、シミュレートされた環境状態上でセンサシミュレーションモデルを実行して、シミュレートされたセンサ出力を取得することと、自律システムの仮想ドライバから、シミュレートされたセンサ出力に基づく少なくとも1つの作動アクションを取得することと、少なくとも1つの作動アクションに基づいて自律システムの自律システム状態を更新することと、複数のアクターモデルを使用して、シミュレートされた環境内でシミュレートされた環境状態に従って複数のアクターをモデル化して、複数のアクターアクションを取得することと、アクターアクションおよび自律システム状態に従ってシミュレートされた環境状態を更新することを含んでもよい。本方法は、シミュレートされた環境状態を更新した後に仮想ドライバを評価することをさらに含んでもよい。

30

【0004】

1つの一般的な態様では、システムは、自律システムの仮想ドライバと、コンピュータプロセッサに動作を実施させるシミュレータを実行するコンピュータプロセッサとを含んでもよい。動作は、シミュレートされた環境のシミュレートされた環境状態として実世界シナリオのデジタルツインを生成することを含んでもよい。動作はまた、複数の時間ステップを介して反復的に、シミュレートされた環境状態上でセンサシミュレーションモデルを実行して、シミュレートされたセンサ出力を取得することと、自律システムの仮想ドライバから、シミュレートされたセンサ出力に基づく少なくとも1つの作動アクションを取得することと、少なくとも1つの作動アクションに基づいて自律システムの自律システム状態を更新することと、複数のアクターモデルを使用して、シミュレートされた環境内でシミュレートされた環境状態に従って複数のアクターをモデル化して、複数のアクターア

40

50

クションを取得することと、アクターアクションおよび自律システム状態に従ってシミュレートされた環境状態を更新することとを含んでもよい。動作は、シミュレートされた環境状態を更新した後に仮想ドライバを評価することをさらに含んでもよい。

【0005】

1つの一般的な態様では、非一時的コンピュータ可読媒体は、動作を実施するためのコンピュータ可読プログラムコードを含んでもよい。動作は、シミュレートされた環境のシミュレートされた環境状態として実世界シナリオのデジタルツインを生成することを含んでもよい。動作はまた、複数の時間ステップを介して反復的に、シミュレートされた環境状態上でセンサシミュレーションモデルを実行して、シミュレートされたセンサ出力を取得することと、自律システムの仮想ドライバから、シミュレートされたセンサ出力に基づく少なくとも1つの作動アクションを取得することと、少なくとも1つの作動アクションに基づいて自律システムの自律システム状態を更新することと、複数のアクターモデルを使用して、シミュレートされた環境内でシミュレートされた環境状態に従って複数のアクターをモデル化して、複数のアクターアクションを取得することと、アクターアクションおよび自律システム状態に従ってシミュレートされた環境状態を更新することとを含んでもよい。動作は、シミュレートされた環境状態を更新した後に仮想ドライバを評価することをさらに含んでもよい。

【0006】

本発明の他の態様は、以下の説明および添付の特許請求の範囲から明らかになるであろう。

【図面の簡単な説明】

【0007】

【図1】 1つ以上の実施形態によるシステムの図を示す。

【図2】 1つ以上の実施形態によるシステムのより詳細な図を示す。

【図3】 1つ以上の実施形態によるフロー図を示す。

【図4】 1つ以上の実施形態によるフロー図を示す。

【図5】 1つ以上の実施形態によるフロー図を示す。

【図6】 1つ以上の実施形態によるフロー図を示す。

【図7】 1つ以上の実施形態によるフロー図を示す。

【図8】 1つ以上の実施形態によるフロー図を示す。

【図9】 1つ以上の実施形態によるフロー図を示す。

【図10】 1つ以上の実施形態によるフローチャートを示す。

【図11】 1つ以上の実施形態によるシミュレータの一例を示す。

【図12A】 1つ以上の実施形態による例を示す。

【図12B】 1つ以上の実施形態による例を示す。

【図13】 1つ以上の実施形態による様々なシミュレーションシナリオの一例を示す。

【図14A】 1つ以上の実施形態による訓練の一例を示す。

【図14B】 1つ以上の実施形態による訓練の一例を示す。

【図14C】 1つ以上の実施形態による訓練の一例を示す。

【図15A】 実世界からのアクターの挙動を修正することによって複合現実シミュレーションを実施するシミュレータの一例を示す。

【図15B】 実世界からのアクターの挙動を修正することによって複合現実シミュレーションを実施するシミュレータの一例を示す。

【図15C】 実世界からのアクターの挙動を修正することによって複合現実シミュレーションを実施するシミュレータの一例を示す。

【図16A】 本発明の1つ以上の実施形態によるコンピューティングシステムを示す。

【図16B】 本発明の1つ以上の実施形態によるコンピューティングシステムを示す。

【発明を実施するための形態】

【0008】

様々な図の同様の要素は、一貫性のために同様の参照番号で示されている。

詳細な説明

一般に、実施形態は、自律システムの訓練および試験に関する。自律システムは、人間のパイロットまたは人間のドライバが実世界の環境で移動して実世界の環境に反応することを必要としない交通機関の自動運転モードである。むしろ、自律システムは、自律システムの意思決定部分である仮想ドライバを含む。仮想ドライバは、実世界ではどのように対話するかを学習する人工知能システムである。自律システムは、完全に自律的であっても、半自律的であってもよい。交通機関の態様として、自律システムは、実世界環境を移動するように構成されたハウジングに収容される。自律システムの例には、自動運転車両（例えば、自動運転トラックおよび自動車）、ドローン、飛行機、ロボットなどが含まれる。仮想ドライバは、移動、シグナリング、および現在の状態の停止または維持を含んだ意思決定を行い、自律システムに実世界と対話させるソフトウェアである。

10

【0009】

実世界環境は、訓練されると自律システムが移動するように設計された実世界の部分である。したがって、実世界環境は、自律システムが出発地から目的地に移動する際の、コンクリートおよび土地、人々、動物、他の自律システム、ならびに人間が運転するシステム、建造物、および他のオブジェクトとの対話を含んでもよい。実世界環境と対話するために、自律システムは、実世界環境の測定値を取得するために使用される様々なタイプのセンサ、例えば、他のタイプの中でもLiDARセンサと、実世界環境から画像をキャプチャするカメラとを含む。

【0010】

実世界環境における自律システムの仮想ドライバの試験および訓練は、訓練されていない仮想ドライバが引き起こす可能性のある事故のために安全ではない。さらに、実世界のログデータのみを使用して仮想ドライバを訓練することは、発生し得る稀なイベントを捕捉しない。

20

【0011】

仮想ドライバを試験および訓練するために、実施形態は、様々なシナリオをモデル化するシミュレータを含む。シミュレータによるモデル化は、シミュレートされた環境における自律システムの対話、およびシミュレートされた環境における他のアクターの反応を含む。したがって、シミュレータは、実世界環境のログデータを単に再生するだけではない。さらに、シミュレータは、自律システムに基づいてシナリオを構築することによって自律システムの決定にさらに適応する。

30

【0012】

ここで図面を参照すると、図1に示すように、シミュレータ(100)は、自律システム(102)の仮想ドライバを訓練および試験するように構成される。例えば、シミュレータは、自律システムのための統一されたモジュール式の複合現実用の閉ループシミュレータであってもよい。シミュレータ(100)は、異なる自律的構成要素の個別の評価だけでなく、閉ループ方式での完全なシステムとしての評価も可能にする構成可能なシミュレーションフレームワークである。シミュレータは、実世界シナリオの「デジタルツイン」を自動的に再構築し、仮想ドライバの正確な評価を大規模に可能にする。シミュレータ(100)はまた、実世界データとシミュレートされたデータとを組み合わせる複合現実シミュレーションを実施して、多様で現実的な評価変動を作成し、仮想ドライバの性能に関する洞察を提供するように構成されてもよい。複合現実の閉ループシミュレーションにより、シミュレータ(100)は、実世界では発生しなかった、事実と反する「もしも(what-if)」のシナリオに対する仮想ドライバのアクションを分析することができる。シミュレータ(100)は、自律性の自動かつスケーラブルな改善を可能にするために、自律システム全体および閉ループ訓練に関する稀であるが安全上重要なシナリオをシミュレートおよび訓練する機能をさらに含む。

40

【0013】

シミュレータ(100)は、シミュレートされた環境(104)を作成する。シミュレートされた環境(104)は、実際に存在してもしなくてもよい実世界環境のシミュレー

50

ションであり、自律システムはそこを移動するように設計されている。したがって、シミュレートされた環境（１０４）は、自然のオブジェクト、建造物、建物および道路、障害物、ならびに他の自律的および非自律的なオブジェクトを含む、オブジェクトのシミュレーション（すなわち、シミュレートされたオブジェクト）および実世界の背景を含む。シミュレートされた環境は、自律システムが展開され得る環境条件をシミュレートする。さらに、シミュレートされた環境（１０４）は、自律システムへの入力に影響を及ぼし得る様々な気象条件をシミュレートするように構成されてもよい。シミュレートされたオブジェクトは、静止オブジェクトおよび非静止オブジェクトの両方を含んでもよい。非静止オブジェクトは、実世界環境におけるアクターである。

【００１４】

シミュレータ（１００）はまた、評価器（１１０）を含む。評価器は、シミュレートされた環境の様々なシナリオを作成することによって仮想ドライバ（１０２）を訓練および試験するように構成される。各シナリオはシミュレートされた環境の構成であり、静的部分、シミュレートされたオブジェクトの動き、シミュレートされたオブジェクトの互いに対するアクション、ならびに自律システムおよびシミュレートされたオブジェクトによって行われたアクションに対する反応を含むが、これらに限定されない。評価器（１１０）は、様々なメトリックを使用して仮想ドライバの性能を評価するようにさらに構成される。

【００１５】

１つ以上の実施形態では、評価器（１１０）は、自律システム（１０２）の仮想ドライバに対して敵対的である。仮想ドライバ（１０２）が様々なシナリオでどのように運転するかを観察することによって、評価器（１１０）は、仮想ドライバ（１０２）が評価メトリックを満たさない可能性がある場所を学習し、次いで、評価器が学習したことに基づいて困難なシナリオを作成する。次いで、シナリオを使用して、仮想ドライバを試験および／または訓練することができる。訓練中、評価器（１１０）は、仮想ドライバ（１０２）にメトリック情報を送信し、仮想ドライバは、この情報を使用して仮想ドライバのパラメータを更新し、シナリオにより良好に対処する。評価器（１１０）がシミュレートされた環境で動作する仮想ドライバをより多く評価するほど、評価器は仮想ドライバの欠陥または困難または失敗をより良好に見つける。したがって、評価器（１１０）の目標は、自律システム（１０２）の仮想ドライバが準最適に実施し得るシナリオを識別し、それらのシナリオについて訓練および試験することである。

【００１６】

上述したように、評価器（１１０）は、シナリオの実施の全体を通して、仮想ドライバの性能を査定する。性能を査定することは、規則を適用することを含んでもよい。例えば、規則は、自動化システムが他のアクターと衝突しないこと、安全性および快適性の基準（例えば、乗客は、車両内で特定の加速力を超える加速力を経験しない、自動化システムが実行された軌道から逸脱していない）に準拠していること、または他のルールであってもよい。各規則は、規則を破っている程度に対応するスコアと関連付けるメトリック情報と関連付けられてもよい。評価器（１１０）は、良い運転挙動と悪い運転挙動とを区別するように学習するデータ駆動型ニューラルネットワークとして実装されてもよい。評価システムの様々なメトリックを活用して、自動化システムが特定のシナリオの成功基準の要件を満たすかどうかを判定してもよい。さらに、システムレベルの性能に加えて、モジュールベースの仮想ドライバの場合、評価器はまた、シミュレータに記録されたグラウンドトゥールズに関して、シーン内のアクターのセグメント化または予測性能などの個々のモジュールを評価してもよい。

【００１７】

図２は、１つ以上の実施形態によるシステムのより詳細な図を示す。図２に示すように、システムは、データリポジトリ（１０５）に接続されたシミュレータ（１００）を含む。シミュレータは、段階選択器（１０８）によって選択される複数の段階、およびモード選択器（１０６）によって選択されるモードで動作するように構成される。段階選択器（

10

20

30

40

50

108) およびモード選択器(106)は、それぞれ段階およびモードの選択を受信するように構成されたグラフィカルユーザインターフェースまたはアプリケーションプログラミングインターフェース構成要素であってもよい。選択された段階およびモードは、シミュレータ(100)の構成を定義する。すなわち、選択された段階およびモードは、どのシステム構成要素が通信するか、およびシステム構成要素の動作を定義する。

【0018】

段階は、段階選択器(108)を使用して選択されてもよい。段階(108)は、訓練段階または試験段階であってもよい。訓練段階では、評価器(110)は、仮想ドライバ(102)にメトリック情報を提供し、仮想ドライバ(102)は、メトリック情報を使用して仮想ドライバ(102)を更新する。評価器(110)は、仮想ドライバのためのシナリオを生成することによって仮想ドライバ(102)をさらに訓練するために、メトリック情報をさらに使用してもよい。試験段階では、評価器(110)は、仮想ドライバにメトリック情報を提供しない。試験段階では、評価器(110)は、メトリック情報を使用して仮想ドライバを査定し、仮想ドライバ(102)のためのシナリオを開発する。

10

【0019】

モードは、モード選択器(106)によって選択されてもよい。モードは、実世界データが使用される程度、シミュレートされたデータにノイズが注入されるかどうか、実世界データの摂動の程度、およびシナリオが敵対的になるように設計されているかどうかを定義する。例示的なモードは、開ループシミュレーションモード、閉ループシミュレーションモード、単一モジュール式閉ループシミュレーションモード、ファジーモード、敵対モード、およびファジーモードを含む。開ループシミュレーションモードでは、仮想ドライバは実世界データを用いて評価される。単一モジュール式閉ループシミュレーションモードでは、仮想ドライバの単一モジュールが試験される。単一モジュール式閉ループシミュレーションモードの一例は、シナリオがシミュレーション内で進行するにつれて、ローカライザが推定したポーズが経時的にどのようにドリフトするかをシミュレータが評価するローカライザの閉ループシミュレーションモードである。訓練データシミュレーションモードでは、訓練データを生成するためにシミュレータが使用される。閉ループ評価モードでは、仮想ドライバおよびシミュレーションシステムは、システム性能を評価するために一緒に実行される。敵対モードでは、アクターは、敵対的に行動するように修正される。ファジーモードでは、ノイズがシナリオに注入される(例えば、信号処理ノイズおよび他のタイプのノイズを複製するために)。システムの範囲から逸脱することなく、他のモードが存在してもよい。

20

30

【0020】

さらに、図2に示すように、シミュレータ(100)は、選択されたモードおよび段階に従ってシミュレータ(100)の様々な構成要素を構成する機能を含むコントローラ(112)を含む。すなわち、コントローラ(112)は、シミュレータ(100)の構成パラメータに基づいて、シミュレータの各構成要素の構成を修正してもよい。図1を参照して上述したように、シミュレータ(100)は、評価器(110)と、シミュレートされた環境(104)とを含む。シミュレータ(100)の様々な構成要素はまた、自律システムモデル(116)、センサシミュレーションモデル(114)、アセットモデル(117)、アクターモデル(118)、レイテンシモデル(120)、訓練データ生成器(122)、シミュレートされた環境(104)を含んでもよい。以下、これらの構成要素の各々について説明する。

40

【0021】

自律システムモデル(116)は、仮想ドライバが実行する自律システムの詳細なモデルである。自律システムモデル(116)は、モデル、ジオメトリ、物理パラメータ(例えば、質量分布、有意点)、エンジンパラメータ、センサの位置およびタイプ、センサの発射パターン、仮想ドライバを実行するハードウェアに関する情報(例えば、プロセッサ電力、メモリ量、および他のハードウェア情報)、ならびに自律システムに関する他の情報を含む。自律システムモデルの様々なパラメータは、ユーザまたは別のシステムによっ

50

て構成可能であってもよい。

【0022】

例えば、自律システムが自動車である場合、モデル化および運動学は、車両のタイプ（例えば、自動車、トラック）、製造元およびモデル、ジオメトリ、質量分布などの物理パラメータ、車軸位置、エンジンのタイプおよび性能などを含んでもよい。車両モデルはまた、車両上のセンサ（例えば、カメラ、LiDARなど）、センサの相対発射同期パターン、ならびにセンサの較正された外的性質（例えば、位置および向き）および内的性質（例えば、焦点距離）に関する情報を含んでもよい。車両モデルはまた、オンボードコンピュータハードウェア、センサドライバ、コントローラ、および試験中の自律性ソフトウェアリリースを定義する。

10

【0023】

車両の運動学的シミュレーションは、仮想ドライバの作動アクション（例えば、ステアリング角、所望の加速度）を取得し、シミュレートされた環境において自律システム上で作動アクションを実行して、シミュレートされた環境および自律システムの状態を更新する。状態を更新するために、運動学的モーションモデルを使用してもよく、または車両に加えられる力を考慮する運動力学的モーションモデルを使用して状態を判定してもよい。シミュレータ内で、グラウンドトゥールズの作動および車両状態を有する現実のログシナリオに各時間ステップでアクセスすることにより、実施形態はまた、分析車両モデルパラメータを最適化するか、または仮想ドライバ出力が与えられた自律システムの新しい状態を推論するニューラルネットワークのパラメータを学習してもよい。

20

【0024】

1つ以上の実施形態では、センサシミュレーションモデル（114）は、シミュレートされた環境において、アクティブセンサ入力およびパッシブセンサ入力をモデル化する。パッシブセンサ入力は、シミュレートされた環境内のカメラのシミュレートされた位置に基づいて、1つ以上のカメラの視点からの静止および非静止のシミュレートされたオブジェクトを含むシミュレートされた環境の視覚的外観をキャプチャする。パッシブセンサ入力の例には、慣性測定ユニット（IMU：inertial measurement unit）が含まれ、熱アクティブセンサ入力は、LiDAR、RADAR、全地球測位システム（GPS：global positioning system）、超音波などのアクティブセンサから自律システムの仮想ドライバへの入力である。すなわち、アクティブセンサ入力は、センサによって取得された測定値を含み、測定値は、シミュレートされた環境内のセンサのシミュレートされた位置に基づいて、シミュレートされた環境に基づいてシミュレートされる。一例として、アクティブセンサ測定値は、LiDARセンサが経時的に、かつ自律システムの動きに関連してシミュレートされた環境に対して行う測定値であってもよい。

30

【0025】

センサシミュレーションモデル（114）は、車両プラットフォーム上のセンサ構成に従って、各時間ステップにおけるシミュレートされた環境（104）内の周囲シーンのセンサ観測値をシミュレートするように構成される。シミュレートされた環境が実世界の環境を修正なしに直接表現する場合、センサ出力は仮想ドライバに直接供給されてもよい。光ベースのセンサの場合、センサモデルは、シーン内のオブジェクトと相互作用する光線として光をシミュレートして、センサデータを生成する。アセット表現（例えば、静止および非静止オブジェクトの）に応じて、実施形態は、テクスチャメッシュを有するアセットのためのグラフィックベースのレンダリング、ニューラルレンダリング、または複数のレンダリング方式の組み合わせを使用してもよい。複数のレンダリング方式を活用することにより、リアリズムを向上させたカスタマイズ可能な世界構築が可能になる。アセットは3Dでは構成的であり、レンダリングコマンドの標準インターフェースをサポートするので、最終的なセンサデータを生成するために、異なるアセット表現はシームレスに構成されてもよい。さらに、実世界で起こったことを再生し、実世界と同じ自律システムを使用するシナリオでは、元のセンサ観測値は各時間ステップで再生されてもよい。

40

【0026】

50

アセットモデル（１１７）は、複数のモデルを含み、各モデルは、実世界における特定のタイプの個々のアセットをモデル化する。アセットは、工事用障壁または交通標識、駐車車両、および背景（例えば、植生または空）などの無生物を含んでもよい。シナリオ内のエンティティの各々は、個々のアセットに対応してもよい。このように、アセットモデル、またはある種のアセットモデルのインスタンスが、シナリオ内のエンティティまたはアセットの各々に存在してもよい。アセットと一緒に構成して、３次元でシミュレートされた環境を形成することができる。アセットモデルは、アセットをシミュレートするためにシミュレータが必要とするすべての情報を提供する。アセットモデルは、シミュレートされた環境でアセットを表現およびシミュレートするためにシミュレータによって使用される情報を提供する。例えば、アセットモデルは、ジオメトリと境界ボリューム、アセットの様々な関心波長（例えば、カメラでは可視、LiDARでは赤外線、RADARではマイクロ波）の光との相互作用、変形（例えば、リギング）や照明の変化（例えば、方向指示器）を記述するアニメーション情報、異なる表面の摩擦などの材料情報、アセットのセマンティッククラスや関心キーポイントなどのメタデータを含んでもよい。アセットの特定の構成要素は、異なるインスタンス化を有してもよい。例えば、レンダリングエンジンと同様に、アセットジオメトリは、メッシュ、ボクセル、ポイントクラウド、解析的符号距離関数、またはニューラルネットワークなどの多くの方法で定義されてもよい。アセットモデルは、アーティストによって作成されても、実世界のセンサデータから再構築されても、敵対的になるようにアルゴリズムによって最適化されてもよい。

10

20

30

40

50

【００２７】

アセットモデル（１１７）のセットの一部に密接に関連し、場合によっては考慮されるのは、アクターモデル（１１８）である。アクターモデルは、シナリオにおけるアクターを表現する。アクターは、独立した意思決定プロセスを有する、感覚のある生物である。すなわち、実世界において、アクターは、環境に基づいて意思決定を行う生命体（例えば、人または動物）であってもよい。アクターは、受動的な動きではなく、または受動的な動きに加えて能動的な動きをする。シナリオ内の各アクターについて、アクターモデルまたはアクターモデルのインスタンスが存在してもよい。アクターモデルは、アクターのモデルである。アクターが交通機関のモードにある場合、アクターモデルは、アクターが位置する交通機関のモデルを含む。例えば、アクターモデルは、歩行者、子供、ドライバが運転する車両、ペット、自転車、および他のタイプのアクターを表現してもよい。

【００２８】

アクターモデルは、シナリオ仕様およびアセットを活用して、シーン内のすべてのアクターおよび各時間ステップにおけるそれらのアクションを制御する。アクターの挙動は、自律システムを中心とする関心領域においてモデル化される。シナリオ仕様に応じて、アクターシミュレーションは、所望の挙動を達成するためにシミュレーション内のアクターを制御する。アクターは様々な方法で制御することができる。１つの選択肢は、先頭のアクターからの特定の相対距離または衝突までの時間（TTC：time-to-collision）を維持しようとするインテリジェントドライバモデル（IDM：intelligent-driver model）などのヒューリスティックなアクターモデル、またはヒューリスティックに由来する車線変更アクターモデルを活用することである。もう１つは、現実のログからアクター軌道を直接再生すること、またはデータ駆動トラフィックモデルを用いてアクターを制御することである。構成可能な設計を通じて、実施形態は、異なる挙動モデルによって制御されるアクターの異なるサブセットを混合して一致させてもよい。例えば、最初は自律システムと対話しない場合があり、現実のログ軌道をたどることができる遠方のアクターは、自律システムの近くに来ると、データ駆動型のアクターモデルに切り替わってもよい。別の例では、アクターは、現実のログにおける高レベルルートに依然として適合するヒューリスティックまたはデータ駆動のアクターモデルによって制御されてもよい。この複合現実シミュレーションは、制御およびリアリズムを提供する。

【００２９】

さらに、アクターモデルは、協調モデルまたは敵対モデルになるように構成されてもよ

い。協調モードでは、アクターモデルは、シミュレートされた環境の状態に応じて合理的に行動するアクターをモデル化する。敵対モードでは、アクターモデルは、あおり運転や悪い運転を示すなど、不合理に行動するアクターをモデル化してもよい。

【0030】

レイテンシモデル（120）は、自律システムが実世界環境にあるときに発生するタイミングレイテンシを表す。タイミングレイテンシのいくつかのソースが存在してもよい。例えば、センサにイベントが発生した時点から、イベントからセンサ情報を検出し、センサ情報を仮想ドライバに送信するレイテンシが存在してもよい。シミュレートされた環境で仮想ドライバを実行するコンピューティングハードウェアと、仮想ドライバのコンピューティングハードウェアとを比較した差に基づく別のレイテンシが存在してもよい。さらに、仮想ドライバが作動信号に基づいて自律システムの変化（例えば、方向または速度）について作動信号を送信する時間の間に、別のタイミングレイテンシが存在してもよい。レイテンシモデル（120）は、タイミングレイテンシの様々なソースをモデル化する。

【0031】

別の言い方をすれば、実世界では、実世界での安全上重要な決定に数分の1秒を伴い、応答時間に影響を及ぼす場合がある。自律システムの実世界の挙動の複製を保証するために、シミュレーションシステムの重要な部分は、オンボードシステムの異なる構成要素の正確なタイミングおよびレイテンシをシミュレートすることである。これを実施する1つの選択肢は、実世界シミュレーションと全く同じオンボードコンピュータハードウェア上で自律システムを起動することである（すなわち、ハードウェアインザループ（HIL: hardware-in-the-loop））。しかしながら、同じオンボードコンピュータを使用することは高価であり、大規模にシミュレーションを行うには実行不可能である場合がある。正確なハードウェアに対する厳密な要件なしにスケーラブルな評価を可能にするために、自律性およびセンサモジュールの異なる構成要素のレイテンシおよびタイミングは、異なるコンピュータハードウェア上で起動されている間にモデル化される。レイテンシモデルは、以前に収集された実世界データから記録された再生レイテンシであってもよく、またはHILシミュレーション設定と一致するように各時間ステップにおけるレイテンシを推測するデータ駆動型ニューラルネットワークを有してもよい。

【0032】

訓練データ生成器（122）は、訓練データ（124）（後述）を生成するように構成される。例えば、訓練データ生成器（122）は、実世界シナリオを修正して、新しいシナリオを作成してもよい。実世界シナリオの修正は、複合現実と呼ばれる。例えば、複合現実シミュレーションは、新規の挙動を有する新しいアクターを追加することと、実世界からの1人以上のアクターの挙動を変更することと、センサデータの残りの部分を元のログと同じに保ちながら、その領域内のセンサデータを修正することとを伴ってもよい。場合によっては、訓練データ生成器（122）は、害のないシナリオを安全上重要なシナリオに変換する。

【0033】

シミュレータはデータリポジトリ（105）に接続される。データリポジトリ（105）は、データを記憶するように構成された任意のタイプの記憶ユニットまたはデバイスである。データリポジトリ（105）は、実世界から収集されたデータを含む。例えば、実世界から収集されたデータは、現実のアクターの軌道（126）、現実のセンサデータ（128）、実世界をキャプチャするシステムの現実の軌道（130）、および現実のレイテンシ（132）を含む。現実のアクターの軌道（126）、現実のセンサデータ（128）、実世界をキャプチャするシステムの現実の軌道（130）、および現実のレイテンシ（132）の各々は、実世界からの1つ以上のセンサによってキャプチャされた、またはそれらから直接計算されたデータ（例えば、実世界のログのもの）である。言い換えれば、実世界から収集されたデータは、実世界で発生した実際のイベントである。例えば、自律システムが車両である場合、実世界データは、センサ機器を用いて実世界を走行する車両によってキャプチャされてもよい。

10

20

30

40

50

【0034】

データリポジトリ（105）はまた、訓練データ（124）を記憶する機能を含む。訓練データ（124）は、シナリオが実世界で発生したかのように実世界データを複製するデータである。したがって、訓練データ（124）は、実世界のイベントをシミュレートするために使用される生成データである。訓練データ（124）は、位置特定、マッピング、および自律性訓練データ（134）と、アクターの挙動をシミュレートする挙動訓練データ（136）と、自律システムの制御をシミュレートする制御訓練データ（138）とを含む。

【0035】

さらに、データリポジトリ（105）は、1つ以上のシナリオ仕様（140）を記憶する機能を含む。シナリオ仕様（140）は、自律システムを試験または訓練するためのシナリオおよび評価設定を指定する。例えば、シナリオ仕様（140）は、シーンの初期状態、例えば、自律システム（例えば、完全な6Dポーズ、速度、および加速度）の現在の状態、道路レイアウトを指定する地図情報、ならびにシナリオ内のすべての動的アクターおよびオブジェクトの初期状態を指定するシーンレイアウトを記述してもよい。シナリオ仕様はまた、シナリオ内の動的アクターがどのように経時的に進化すべきかを記述する、アクターモデルへの入力である動的アクター情報を含んでもよい。動的アクター情報は、アクターのルート情報、所望の挙動または攻撃性を含んでもよい。シナリオ仕様（140）は、ユーザによって指定されても、ドメイン仕様言語（DSL：domain-specification language）を使用してプログラムで生成されても、データ駆動アルゴリズムからヒューリスティックを用いて手続き的に生成されても、敵対的であってもよい。シナリオ仕様（140）はまた、特定の実世界マップ上で行われる、またはそれらの元の位置および軌道によって定義されたアクターのサブセットを有するなど、実世界ログから収集されたデータについて調整することもできる。

【0036】

仮想ドライバとシミュレータとの間のインターフェースは、仮想ドライバと実世界の自律システムとの間のインターフェースに一致する。例えば、センサシミュレーションモデル（114）および仮想ドライバは、実世界においてセンサと対話する仮想ドライバと一致する。仮想ドライバは、自律システム上で実行される実際の自律性ソフトウェアである。センサシミュレーションモデル（114）によって出力されるシミュレートされたセンサデータは、仮想ドライバがあたかも実世界にいるかのように、仮想ドライバが入力として取り込む正確なメッセージフォーマットであってもよく、またはそれに変換されてもよく、次いで、仮想ドライバは、シミュレートされたレイテンシを用いて、順次起動される構成要素に組み込まれたブラックボックス仮想ドライバとして起動することができる。次いで、仮想ドライバは、それが現実の自律システム上の下位レベルのコントローラとインターフェースするために使用するのと全く同じ制御表現を出力する。次いで、自律システムモデル（116）は、シミュレートされた環境内の自律システムの状態を更新する。したがって、シミュレータ（100）の様々なシミュレーションモデルは、実世界の設定に一致するようにそれら自体の周波数で非同期的に並列に起動される。

【0037】

図1および図2は、構成要素の構成を示しているが、本発明の範囲から逸脱することなく、他の構成が使用されてもよい。例えば、様々な構成要素を組み合わせる単一の構成要素を作成してもよい。別の例として、単一の構成要素によって実施される機能は、2つ以上の構成要素によって実施されてもよい。

【0038】

図3～図9は、1つ以上の実施形態によるシミュレータの異なるモードの例を示す。図3～図9に示す様々な構成要素は、図1および図2の構成要素を使用して実施されてもよい。図3は、シミュレータによって実施され得る開ループ評価の一例を示す。開ループ評価は「ログ再生」であり、実世界で同じ自律システムプラットフォームによって収集された以前に記録されたログ（例えば、現実のセンサデータ（304）、自律システムの現

10

20

30

40

50

実の軌道（３０６）、および現実のアクター軌道（３０８）を有する）が、全く同じメッセージおよびタイミングであるが、挙動の変化を評価するために異なる仮想ドライバ（３１０）を用いてシミュレーションで再生される。図２のモデル（すなわち、アクターシミュレーション、センサシミュレーション、レイテンシモデル、車両モデル）の各々は、シミュレーションにおいてそれぞれのメッセージを再生することができ、評価器（３０２）は、各時間ステップにおける自律性の出力を監視することができる。図３に示すように、仮想ドライバは、シミュレータと対話することも、その出力に作用することもない。むしろ、仮想ドライバは、再生された入力を与えられると、出力を単に生成する。

【００３９】

図４は、ファズ試験モード（４００）を実施するシミュレータを用いた開ループ評価の一例を示す。言い換えれば、ファジーモジュール（４０２、４０４、４０６、４０８）は、現実のセンサデータ（４１０）、自律システムの現実の軌道（４１２）、および現実のアクターの軌道（４１４）、および現実のレイテンシ（４１６）に摂動を追加する。シミュレータはまた、この設定で複合現実を実施し、実世界の入力メッセージが現実的なノイズで摂動を加える「ファズ試験」を実施することができる。したがって、仮想ドライバ（４１８）の性能の変化を評価器（４２０）によって分析して、仮想ドライバ（４１８）がノイズに対してどれだけ良好に反応するかを判定することができる。例えば、シミュレータは、センサメッセージのドロップ、ピクセル色もしくはLiDARポイントクラウドの修正、またはモジュール間のレイテンシの増加、およびそのような摂動に対して自律性が堅牢であるかどうかの検証など、様々なモジュールにノイズを注入することができる。

【００４０】

図５は、閉ループ評価モード（５００）の一例を示す。閉ループ評価は実世界を再生するが、自律システムまたはシーン内の他のアクターが実世界の軌道から逸脱することを許容しない。閉ループ評価モードは、もしものシナリオ、例えば、「アクターが異なるように行動する異なるプラットフォーム場合に、またはシナリオ／地図／アクターの挙動が全く分からない場合に、仮想ドライバはどのように行動するか」に対処する。具体的には、閉ループ評価モード（５００）において、シミュレートされた環境状態は、仮想ドライバが位置する３次元仮想環境である。センサシミュレーションモデルは、シミュレートされた環境状態で実行されて、自律システム上のシミュレートされた環境に位置するセンサによって検出される現実的なセンサ入力を生成する。すなわち、センサシミュレーションモデルは、シミュレートされた環境状態を入力として受け取り、仮想ドライバへのセンサ入力を構築する。レイテンシモデルは、実世界において仮想ドライバがセンサデータをどのように受信および処理するかを反映するために、センサ入力のタイミングにレイテンシを追加する。仮想ドライバは、自律システムを制御するために作動アクションを出力する。作動アクションは、作動アクションに基づいてシミュレートされた環境における自律システムの位置決めを修正する自律システムモデルに渡される。例えば、自律システムモデルは、シミュレートされた環境における速度の増加、ブレーキ、旋回、または他のアクションを反映してもよい。アクターモデル（５０４）はまた、シミュレートされた環境状態および更新されたシミュレートされた環境状態に従って更新する。すなわち、アクターモデルは、仮想ドライバのアクションに反応する。次いで、評価器は、仮想ドライバのアクションを評価することができる。

【００４１】

図示のように、閉ループ評価モードでは、仮想ドライバ（５０２）およびアクターモデル（５０４）は、現在のシーンを与えられると各時間ステップにおいてそれらの挙動を更新し、シーンを反映する新しいセンサ観測値がシミュレートされる。閉ループ評価では、シミュレートされた環境状態は、仮想ドライバおよびアクターモデルの両方による決定に基づいて更新される。その結果、位置特定およびセンサ知覚を含む自律システムの様々な構成要素が試験されているため、より現実的なシステム性能試験となる。したがって、知覚処理の変化、新たに追加されたセンサ構成、または計算プラットフォームの変化は、その変化が評価器（５０６）によって定義されたシステム全体の性能を改善するかどうかで

評価されてもよい。

【0042】

図6は、モジュール式レベル評価モード（600）の一例を示す。モジュール式レベル評価モードは、仮想ドライバの単一のモジュールを個別に試験するために使用されてもよい。例えば、単一のモジュールは、位置特定モジュール、モーションプランニング、またはコントローラモジュールであってもよい。1つ以上の実施形態は、特定の構成要素を有効にし、特定の構成要素を無効にして仮想ドライバの特定の部分のみを試験するようにシミュレータを構成してもよい。例えば、センサシミュレーションは、各時間ステップにおいて、ローカライザ性能を試験し、ドリフトを測定するためだけに実行することができ、または現実的な知覚および予測出力は、モーションプランナを試験するためだけにモデル化することができる。これらの評価は、他のシミュレーションモジュールについて指定された構成に応じて、開ループ設定または閉ループ設定のいずれかで実施することができる。

10

【0043】

図6は、開ループシステムにおいて、自己位置推定システムのみを評価する一例を示す。図示のように、仮想ドライバのローカライザモジュールは、レイテンシモデルからのレイテンシと共にセンサシミュレーションモデル出力を受信する。ローカライザの出力は、評価を実施する評価器に渡される。別個に、実世界を表現する場合もそうでない場合もある事前定義されたカスタム軌道が、更新されたシミュレートされた環境状態を判定するための入力として使用される。アクターモデルは、シミュレートされた環境状態と、ローカライザの影響を受けない更新されたシミュレートされた環境状態とに基づいて実行する。

20

【0044】

図7は、訓練データ生成モード（700）の一例を示す。レンダリングシステムは、訓練データ生成の一部として知覚モデルを訓練するためにセンサデータをオフラインでシミュレートするために使用されてもよい。シミュレータでは、アーティストによって導出されたCADモデルに加えて、アセットを実世界データから構築することができるため、アセットは、より多くのシナリオ変動を試験するために、より多くの多様性を有する。さらに、カスタマイズ可能な物理的およびニューラルレンダリング手法は、より現実的なシミュレートされたセンサデータを可能にする。知覚のための訓練データの生成に加えて、シミュレータは、シミュレーションまたは自律性モジュールのいずれか、さらにはオフライン較正、マッピング、および自動ラベリングモデルのための訓練データも生成することができる。訓練データ生成は、自律性およびシミュレーションのすべての構成要素のコスト効率および開発時間を改善する。

30

【0045】

図8は、敵対モード（800）で実施する一例を示す。シミュレータは、図5を参照して上述したように、シミュレーション仕様によって定義されたシナリオを実行することができる。評価器は、様々なメトリックに対して仮想ドライバの性能を評価する。評価器の出力は、1人以上の敵対的アクター（802）に渡される。例えば、図8において、敵対的アクターは、自動運転車（SDV：self-driving vehicle）の動作を妨げるように敵対モデルを構成するフィードバックを受信する。具体的には、評価器の出力は、仮想ドライバのメトリック情報を実施する最低のものと一致する。例えば、衝突を引き起こすことによって仮想ドライバが上手く行動しなかった場合、敵対的アクターは、仮想ドライバの前に割り込む車であってもよい。敵対的アクターを使用することにより、仮想ドライバが困難を有し得る安全上重要なシナリオで仮想ドライバを識別して実行するためにシミュレーションが実施される。したがって、1つ以上の実施形態は、実世界シナリオの広範な分布および稀な事象の長いテールが存在する実世界において仮想ドライバを使用する問題に対処する。さらに、エンドツーエンドの閉ループ試験は、代わりに仮想ドライバの困難なシナリオを自動的に検索および発見し、また、実世界の分布をカバーする最も重要なシナリオ上で仮想ドライバを訓練または評価するための新しい機能を解除する。

40

【0046】

50

例えば、最適化可能なパラメータ x （例えば、アクターの配置、アクターの挙動またはルート、気象状況など）を有するシミュレーション仕様が与えられると、シミュレータは、ブラックボックス関数 g として作用し、仮想ドライバ出力は、 f としての入力センサデータの関数として動く。評価器 ε は、シミュレートされた環境における仮想ドライバの性能を査定するスコアを生成する。仮想ドライバにとって困難な「敵対的」シナリオの検索は、以下の式（式1）を使用して発見されてもよい。

【0047】

【数1】

$$\arg \max_x \mathcal{E}(g(x, f)), \quad \text{s.t.} \quad \mathcal{R}(g(x, f)) \quad \text{式1}$$

10

【0048】

式1では、 R は、 x の異なるサンプルが実現可能なシナリオのセットにあることを保証するための制約を設定する。敵対的シナリオを識別するために、ベイズ最適化または勾配推定方法論などの異なる最適化モジュールを活用してもよい。

【0049】

図9は、閉ループ訓練モード（900）の一例を示す。敵対的シナリオ識別と同様に、評価器は、シミュレータ自体から学習し、シミュレータ内の仮想ドライバの性能を改善するために、仮想ドライバにフィードバックを直接提供するために使用することができる。シミュレータは、実世界の密集した交通領域を含む任意の交通シナリオに対して閉ループ訓練を使用する。閉ループ訓練は、仮想ドライバおよびその様々な構成要素が運転性能の最終目的のために自動的に最適化されることを保証することができる。

20

【0050】

機械学習プロセスを通じて、システム全体が失敗の原因を認識し、自律システムは将来そのような失敗をどのように回避するかを学習する。同様に、評価器は、仮想ドライバが最適に実施しなかった場合がある領域についてフィードバックを提供してもよい。

【0051】

図10は、閉ループモードでシミュレータを実行するためのフロー図を示す。ブロック1002において、実世界シナリオのデジタルツインが、シミュレートされた環境状態として生成される。実世界からのログデータは、初期仮想世界を生成するために使用される。ログデータは、どのアセットおよびアクターモデルが使用されるか、ならびにアセットの初期位置決めを定義する。例えば、実世界内の様々なアセットタイプは、ログデータ上の畳み込みニューラルネットワークを使用して識別されてもよい。他の例として、オフライン知覚システムおよびログデータの人間による注釈を使用して、アセットタイプを識別してもよい。したがって、対応するアセットおよびアクターモードは、アセットタイプに基づいて識別され、実世界における現実のアクターおよびアセットの位置に追加されてもよい。したがって、アセットとアクターモデルは、初期の3次元仮想世界を作成する。

30

【0052】

ブロック1003において、シミュレートされた環境状態上でセンサシミュレーションモデルを実行して、シミュレートされたセンサ出力を取得する。センサシミュレーションモデルは、ビームフォーミングおよび他の技術を使用して、自律システムのセンサにビューを複製してもよい。自律システムの各センサは、対応するセンサシミュレーションモデルおよび対応するシステムを有する。センサシミュレーションモデルは、仮想環境内のセンサの位置に基づいて実行され、シミュレートされたセンサ出力を生成する。シミュレートされたセンサ出力は、仮想ドライバによって現実のセンサから受信されるのと同じ形態である。

40

【0053】

シミュレートされたセンサ出力は、仮想ドライバに渡される。ブロック1005において、仮想ドライバは、シミュレートされたセンサ出力に基づいて実行して作動アクション

50

を生成する。作動アクションは、仮想ドライバが自律システムをどのように制御するかを定義する。例えば、SDVの場合、作動アクションは、加速量、ステアリングの動き、方向指示器のトリガなどであってもよい。作動アクションから、ブロック1007において、シミュレートされた環境における自律システム状態が更新される。作動アクションは、自律システムの実際のアクションを判定するために自律システムモデルへの入力として使用される。例えば、自律システムモデルは、結果として得られる自律システムの移動を表現するために、道路および気象条件に加えて作動アクションを使用してもよい。例えば、濡れた、または雪の環境では、乾燥環境の場合と同じ量の加速作用が、乾燥環境の場合よりも少ない加速を引き起こす場合がある。別の例として、自律システムモデルは、故障した可能性のあるタイヤ（例えば、タイヤのスリップ）、機械ベースのレイテンシ、または自律システムにおける他の不完全性の可能性を考慮してもよい。

10

【0054】

ブロック1009において、シミュレートされた環境におけるアクターのアクションが、シミュレートされた環境状態に基づいてモデル化される。仮想ドライバモデルと同時に、アクターモデルおよびアセットモデルは、シミュレートされた環境状態で実行されて、シミュレートされた環境内のアセットおよびアクターの各々の更新を判定する。ここで、アクターアクションは、評価器の以前の出力を使用して仮想ドライバを試験してもよい。例えば、アクターが敵対的である場合、評価器は、仮想ドライバの以前のアクションに基づいて、仮想ドライバの最低スコアリングメトリックを示してもよい。アクターモデルのアクションへのメトリックのマッピングを使用して、アクターモデルは、その特定のメトリクスを利用または試験するために実行される。

20

【0055】

したがって、ブロック1011において、更新されたシミュレートされた環境状態は、アクターアクションおよび自律システム状態に従って更新される。更新されたシミュレートされた環境は、アクターおよび自律システムの位置の変化を含む。モデルは実世界とは独立して実行されるので、更新は実世界からの逸脱を反映してもよい。したがって、自律システムは新しいシナリオで試験される。ブロック1013において、継続するかどうかの判定が行われる。継続するという判定がなされた場合、ブロック1003において、自律システムの試験は、更新されたシミュレートされた環境状態を使用して継続する。各反復において、訓練中に、評価器は仮想ドライバにフィードバックを提供する。したがって、仮想ドライバのパラメータは、様々なシナリオにおける仮想ドライバの性能を改善するために更新される。試験中、評価器は、安全上重要であり得るエッジケースを含む様々なシナリオおよびパターンを使用して試験することができる。したがって、1つ以上の実施形態は、仮想ドライバを改善し、実世界における仮想ドライバの安全性を高める。

30

【0056】

図示のように、自律システムの仮想ドライバは、仮想ドライバのシナリオおよび現在学習されているパラメータに基づいて行動する。シミュレータは、自律システムのアクションを取得し、シミュレートされた環境における反応を自律システムの仮想ドライバに提供する。評価器は、仮想ドライバの性能を評価し、性能に基づいてシナリオを作成する。プロセスは、自律システムがシミュレートされた環境で動作するときに継続してもよい。

40

【0057】

仮想ドライバ、評価器、ならびにシステムの他の構成要素およびモデルは、動作を実施するように訓練された1つ以上の機械学習モデルであってもよく、またはそれらを含んでもよい。使用され得る例示的な機械学習モデルは、ニューラルネットワークモデル、決定木、および他のモデルを含む。目標は、自律システムの仮想ドライバに、直感的に、知的に、安全に運転するように教示することである。図11に示すように、シミュレータは、図示のようなスケーラブルな高忠実度閉ループシミュレータである。人工知能（AI: artificial intelligence）を使用して、シミュレートされた環境は、試験を設計し、技能を査定し、自動運転「脳」（すなわち、仮想ドライバ）に、単独で運転を学習するように教示することができる没入型かつ反応性の環境である。シミュレートされた環境およびシ

50

ミュレータを使用して、仮想ドライバは、一般的な運転シナリオおよび安全上重要なエッジケースの両方を含む、その運転技能を磨くために必要な膨大で多様な経験にさらされる。目標は、実世界で試験マイルを走行する必要性を低減し、より安全で、より手頃な解決策をもたらすことである。

【0058】

シミュレータは、少なくとも4つのコア機能を有してもよい：（1）データから自動的に、半自動的に、かつ大規模に世界のデジタルツインを構築する、（2）没入的かつ反応的な方法でソフトウェアスタック全体を試験することを可能にする、ほぼリアルタイムの高忠実度センサシミュレーションを実施する、（3）仮想ドライバを自動的にかつ大規模にストレス試験するシナリオを作成する、（4）仮想ドライバに、その間違いから学習し、人間の介入なしに運転の技能を習得するように教示する。

10

【0059】

シミュレータは、データから自動的にかつ大規模に世界のデジタルツインを構築する。効果的であるためには、シミュレータは、その多様性およびダイナミズムのすべてにおいて、高い忠実度で実世界を再現する必要がある。シミュレートされた環境は、LiDAR戻りおよびカメラ画像などのセンサデータから実世界のオブジェクトおよび背景のジオメトリ、外観、および材料特性を再構築するためにAIを活用する。これにより、シミュレータは、実世界の多様性、規模、およびリアル리즘を伴って、我々が運転するあらゆる場所から世界のデジタルツインを自動的に再現することができる。

20

【0060】

シミュレータは、見たようなリアリティを再構築し、AIを使用して広範囲のシミュレートされたオブジェクトおよび背景を再現する。これらのオブジェクトおよび背景は、自律システムを試験する新しい安全上重要なシナリオを作成するためにシミュレーションシステムで使うことができる。したがって、シミュレータは、LiDARシミュレーション、カメラシミュレーション、アクターシミュレーション、オブジェクト再構築、ならびにシナリオ生成および試験を含むシミュレーションを使用する。例えば、図12Aに示すように、通りの左側（1202）は、通りの右側（1204）と同じ通りの仮想世界の再構築である。シミュレートされた環境では、仮想ドライバへの入力、実世界をシミュレートするように設計される。シミュレーションがシナリオの修正を含む可能性があるため、シミュレーションは実世界の状態の正確な描写ではない場合がある。例えば、図12Bに示すように、仮想ドライバへの入力として使用される偽の車両がカメラおよびLiDARシミュレーション（1208）に追加される。さらに、図12Bに示すように、シミュレートされた環境は、仮想ドライバにとって没入的である。

30

【0061】

シミュレータは、ほぼリアルタイムの高忠実度センサシミュレーションを実施し、没入的かつ反応的な方法でソフトウェアスタック全体の試験を可能にする。世界を正確に再現することは難問である。しかし、シミュレータが実世界での運転を真に置き換えるためには、シミュレータは、シミュレーションにおいて実世界と同じように振る舞うべきである。シミュレータは、仮想ドライバがそのセンサを介して仮想世界をどのように観察するまたは「見る」かを、それが実世界をどのように見ると同じようにシミュレートすることによってこれを達成する。これは、シミュレーションにおいて仮想ドライバ全体を適切に試験し、仮想ドライバに運転方法を教示する唯一の方法である。

40

【0062】

シミュレータは、簡略化された物理ベースのレンダリングと共にAIを活用して、ほぼリアルタイムで現実的なセンサデータをシミュレートする。AIアルゴリズムは、高品質の再現された仮想世界と組み合わせられて、従来の複雑な物理シミュレータよりも計算的に効率的であると同時に、物理近似をより現実的に見せるように学習する。

【0063】

高品質のオブジェクトおよび仮想世界の自動生成により、シミュレータは、見たようなリアリティを再現するだけでなく、シナリオにおける「アクター」（例えば、他のシミュ

50

レートされたオブジェクト)の挙動を除去、追加、または変更し、センサを再シミュレーションすることによってそれを修正することもできる。これにより、シミュレータは、仮想ドライバが経験するための無限の多様な世界を作成することができ、興味のあるまたは安全上重要なエッジケースにわたって完全なソフトウェアスタックを現実的に試験する能力を解き放ち、仮想ドライバが洗練された運転技能を学習するのを助ける。

【0064】

例えば、シミュレータは現実のシナリオをシミュレートしてもよい。次いで、シミュレータは、所与の操縦(例えば、車線変更(左から右へ))を実施する新しい完全にシミュレートされた「アクター」でシーンを更新し、シミュレートされたセンサデータを生成する。これを大規模に行うことができ、既存のシナリオを採用し、仮想ドライバを試験するように修正することができる。図13に示すように、複数のシナリオ(1300)が生成されてもよく、各シナリオは仮想ドライバを試験および訓練するために使用される。

10

【0065】

シミュレートされた環境を使用して、センサおよび車両が存在する前であっても、異なるセンサおよびセンサの構成ならびに車両プラットフォームを試験することができる。シミュレータを使用して、新しいセンサ構成を迅速に設計および検証することができ、これは、それらが実世界に存在する前であっても、仮想ドライバにそれらを使用する方法を教示することができるためであり、最終的には、自動運転車および他の自律システムのはるかに迅速な開発を可能にする。

【0066】

シミュレートされた環境は、シナリオを自動的に作成し、仮想ドライバをストレス試験する。シミュレータは、AIを使用して交通シナリオを作成して仮想ドライバを試験および訓練し、あらゆる種類の交通挙動を伴うあらゆる種類の変動を、あらゆる種類の地理にわたって自動的かつ大規模に生成する。

20

【0067】

シナリオは、単に映画のように再生される静的なシナリオではない。運転はインタラクティブな体験であり、シミュレータはこのインタラクティブな体験を複製する。対話型体験の複製は、図14に示すような閉ループシミュレーションである。仮想ドライバのすべてのアクションは、シミュレートされた環境において反応を有する。具体的には、シミュレータは、シナリオ内の「アクター」を前進させ、動作を実施させ、更新されたシミュレートされた環境を見るシミュレートされたセンサは、仮想ドライバが観察するであろうものを仮想ドライバに伝え、次いで、仮想ドライバは、それがどのように反応するかを決定する。次いで、シミュレータは、その決定に従って仮想世界内の仮想ドライバを移動させ、他の交通参加者はそれに応じて移動する。このループは絶えず続く。

30

【0068】

このタイプのシミュレーションは、仮想ドライバが実世界にあり、仮想ドライバが自動運転車を運転していた場合にシナリオがどのように再生されるかを仮想ドライバが真に体験することを可能にする。したがって、1つ以上の実施形態は、ソフトウェアスタックの性能の正確な評価を可能にする。

【0069】

シミュレータは、AIを利用して仮想ドライバの弱点を特定し、ドライバが対処するのが困難になる敵対的なシナリオを自動的に作成する。すなわち、評価器によるシミュレータは、仮想ドライバがその技能を同時に学習する間に、仮想ドライバと対立するように意図的にプレイし、その弱点を識別して利用する。それは、シナリオと運転技能との対戦、すなわち、1つのAIシステム対別のAIシステム(例えば、評価器対仮想ドライバ)である。

40

【0070】

直感に反するように思われるかもしれないが、目標は仮想ドライバが失敗することを見ることである。シミュレートされた環境における仮想ドライバの失敗は、実世界における失敗の可能性を低減する。したがって、シミュレータは、仮想ドライバに、その間違いから

50

学習し、単独で運転する技能を習得するように教示する。

【0071】

世界を再現し、センサデータをシミュレートし、無限の試験シナリオを生成することができるシミュレータを構築することはすべて、1つの巨大で大胆な目的、すなわち、仮想ドライバに、任意の車両、任意のシナリオ、世界中のどこであっても安全に運転するために単独で学習するように教示することに役立つ。

【0072】

例えば、仮想ドライバは、最初は難しい車線合流交渉に困難を抱えている可能性がある。まず、図14Aに示すように、初級仮想ドライバは、他のアクターと衝突する。しかし、閉ループ訓練を通じて、仮想ドライバは、より良くなるように経時的に学習することができる。中級仮想ドライバは、図14Bに示すように、ブレーキをかけて他の車両を通過させる。シミュレートされた環境でより多くのことを学習した後、上級仮想ドライバは、図14Cに示すように、最適な操縦がブレーキをかけずに滑らかに少しだけ加速することであることに気付く、他のアクターに困難を生じさせないことを実現する。評価器は、仮想ドライバにフィードバックを提供する。

【0073】

シミュレータは、仮想ドライバの運転技能を磨くために必要な膨大で多様な経験（一般的な運転シナリオおよびより分かりにくい安全上重要なエッジケースを含む）に仮想ドライバをさらす。シミュレータはまた、各決定後に仮想ドライバの性能に関するフィードバックを仮想ドライバに配信する。シミュレータのフィードバックシステムは、AIが没入的かつ反動的な方法で、単独で自らの誤りから学習することを可能にする。仮想ドライバは、経時的によりスマートなドライバになるように、常にそのアクションから自動的に学習している。

【0074】

場合によっては、仮想ドライバの複数のクローンが実行され、同時に更新されて、異なるシナリオで互いに並列に安全に運転することを学習する。各クローンは、各シナリオに基づいて更新される同じAIネットワークを有する。例えば、仮想ドライバは、静かな郊外の通り、5車線の高速道路、ラッシュアワー時の街の真ん中などを運転する方法を同時に学習することができる。

【0075】

シミュレータを介して、仮想ドライバはシミュレートされた環境に落とされ、仮想ドライバは、仮想ドライバが実世界にいるかのように見て振る舞うことができる。次いで、シミュレータは、仮想ドライバを試験するために交通シナリオを作成し、穏やかな午後、ラッシュアワーなどを模倣するシナリオのバリエーションを生成する。シミュレータは、仮想ドライバの挙動にリアルタイムで反応して、興味深い対話を作り出す。すべてのアクションに反応があり、仮想ドライバが選択を行い、交通が反応する。仮想ドライバは複数のシナリオを介して進化し、仮想ドライバの評価は様々なシナリオを介して進化する。したがって、経時的に、仮想ドライバは、初級ドライバとして開始し、その後安全に運転する方法を学習してもよい。

【0076】

例えば、図15A、図15B、および図15Cに示すように、シミュレータは、アクターアクションが実世界から逸脱する複合現実の世界を作成することができる。図15A、図15B、図15Cの左画像（1502）は、自律システム上の実際のカメラを介してキャプチャされた実世界画像を示す。図15A、図15B、図15Cの右画像（1504）は、実際のイベントから逸脱した複合現実画像を示している。左画像と右画像との比較に基づいて示されているように、仮想ドライバの前にいる車は実世界では左折し、その一方で、シミュレートされた環境では仮想ドライバの前に割り込んで直進し続ける。図示のように、実世界の単一のデータキャプチャを介して、シミュレータは、仮想ドライバを完全に試験するための複数のシナリオ（例えば、自動車が左折する、自動車が仮想ドライバと同じ車線に割り込む）を作成することができる。

【0077】

実施形態は、改善された技術的結果を達成するように特に設計されたコンピューティングシステム上で実装されてもよい。コンピューティングシステムに実装されると、本開示の特徴および要素は、本開示の特徴および要素を実装しないコンピューティングシステムを超える著しい技術的進歩を提供する。モバイル、デスクトップ、サーバ、ルータ、スイッチ、組み込みデバイス、または他のタイプのハードウェアの任意の組み合わせは、本開示に記載された特徴および要素を含むことによって改善されてもよい。例えば、図16Aに示すように、コンピューティングシステム(1600)は、1つ以上のコンピュータプロセッサ(1602)、非永続記憶装置(1604)、永続記憶装置(1606)、通信インターフェース(1608)(例えば、Bluetoothインターフェース、赤外線インターフェース、ネットワークインターフェース、光インターフェースなど)、ならびに本開示の特徴および要素を実装する多数の他の要素および機能を含んでもよい。コンピュータプロセッサ(1602)は、命令を処理するための集積回路であってもよい。コンピュータプロセッサは、プロセッサの1つ以上のコアまたはマイクロコアであってもよい。コンピュータプロセッサ(1602)は、1つ以上のプロセッサを含む。1つ以上のプロセッサは、中央処理装置(CPU:central processing unit)、グラフィックス処理装置(GPU:graphics processing unit)、テンソル処理装置(TPU:tensor processing unit)、それらの組み合わせなどを含んでもよい。

10

【0078】

入力デバイス(1610)は、タッチスクリーン、キーボード、マウス、マイクロフォン、タッチパッド、電子ペン、または任意の他のタイプの入力デバイスを含んでもよい。入力デバイス(1610)は、出力デバイス(1612)によって提示されたデータおよびメッセージに回答するユーザからの入力を受信してもよい。入力は、本開示によるコンピューティングシステム(1600)によって処理および送信され得るテキスト入力、オーディオ入力、ビデオ入力などを含んでもよい。通信インターフェース(1608)は、コンピューティングシステム(1600)をネットワーク(図示せず)(例えば、ローカルエリアネットワーク(LAN:local area network)、インターネットなどのワイドエリアネットワーク(WAN:wide area network)、モバイルネットワーク、または任意の他のタイプのネットワーク)および/または別のコンピューティングデバイスなどの別のデバイスに接続するための集積回路を含んでもよい。

20

30

【0079】

さらに、出力デバイス(1612)は、表示デバイス、プリンター、外部記憶装置、または任意の他の出力デバイスを含んでもよい。出力デバイスのうちの1つ以上は、入力デバイスと同じであっても異なってもよい。入力および出力デバイスは、コンピュータプロセッサ(1602)にローカルまたはリモートで接続されてもよい。多くの異なるタイプのコンピューティングシステムが存在し、前述の入力および出力デバイスは他の形態をとってもよい。出力デバイス(1612)は、コンピューティングシステム(1600)によって送受信されるデータおよびメッセージを表示してもよい。データおよびメッセージは、テキスト、オーディオ、ビデオなどを含んでもよく、本開示の他の図で上述したデータおよびメッセージを含んでもよい。

40

【0080】

実施形態を実施するためのコンピュータ可読プログラムコードの形態のソフトウェア命令は、CD、DVD、記憶デバイス、ディスク、テープ、フラッシュメモリ、物理メモリ、または任意の他のコンピュータ可読記憶媒体などの非一時的コンピュータ可読媒体に、全体的または部分的に、一時的または永続的に記憶されてもよい。具体的には、ソフトウェア命令は、プロセッサによって実行されると、本開示の他の図に記載されているデータおよびメッセージを送信、受信、提示、および表示することを含み得る1つ以上の実施形態を実施するように構成されたコンピュータ可読プログラムコードに対応してもよい。

【0081】

図16Aのコンピューティングシステム(1600)は、ネットワークに接続されても

50

よく、またはその一部であってもよい。例えば、図 16 B に示すように、ネットワーク (1620) は、複数のノード (例えば、ノード X (1622)、ノード Y (1624)) を含んでもよい。各ノードは、図 16 A に示すコンピューティングシステムなどのコンピューティングシステムに対応してもよく、または組み合わされたノードのグループが、図 16 A に示すコンピューティングシステムに対応してもよい。一例として、実施形態は、他のノードに接続された分散システムのノード上で実装されてもよい。別の例として、実施形態は、複数のノードを有する分散コンピューティングシステム上に実装されてもよく、各部分は、分散コンピューティングシステム内の異なるノード上に位置してもよい。さらに、前述のコンピューティングシステム (1600) の 1 つ以上の要素は、遠隔地に位置し、ネットワークを介して他の要素に接続されてもよい。

10

【0082】

ネットワーク (1620) 内のノード (例えば、ノード X (1622)、ノード Y (1624)) は、要求の受信およびクライアントデバイス (1626) への応答の送信を含む、クライアントデバイス (1626) にサービスを提供するように構成されてもよい。例えば、ノードは、クラウドコンピューティングシステムの一部であってもよい。クライアントデバイス (1626) は、図 16 A に示すコンピューティングシステムなどのコンピューティングシステムであってもよい。さらに、クライアントデバイス (1626) は、1 つ以上の実施形態の全部もしくは一部を含んでもよく、および／またはそれらを実施してもよい。

【0083】

20

図 16 A のコンピューティングシステムは、比較および他の処理の結果などの生データおよび／または処理済みデータを提示する機能を含んでもよい。例えば、データを提示することは、様々な提示方法によって達成されてもよい。具体的には、データは、ユーザインターフェースに表示されることによって提示され、異なるコンピューティングシステムに送信され、記憶されてもよい。ユーザインターフェースは、表示デバイスに情報を表示するグラフィカルユーザインターフェース (GUI: graphical user interface) を含んでもよい。GUI は、どのデータが表示されるか、およびデータがユーザにどのように提示されるかを編成する様々な GUI ウィジェットを含んでもよい。さらに、GUI は、データ、例えば、テキストを介して実際のデータ値として提示されるデータ、またはデータモデルを視覚化することなどによってコンピューティングデバイスによってデータの視覚的表現にレンダリングされたデータをユーザに直接提示してもよい。

30

【0084】

本明細書で使用される場合、「に接続される」という用語は、複数の意味を想定している。接続は、直接的であっても間接的 (例えば、別の構成要素またはネットワークを介する) であってもよい。接続は有線であっても無線であってもよい。接続は、2 つのエンティティ間の一時的、永続的、または半永続的な通信チャネルであってもよい。

【0085】

図面の様々な説明は組み合わされてもよく、また、本出願の他の図面に記載された特徴を含むか、またはその中に含まれてもよい。図に示されている様々な要素、システム、構成要素、およびステップは、図から示されているように省略、反復、結合、および／または変更されてもよい。したがって、本開示の範囲は、図に示す特定の構成に限定されると考えるべきではない。

40

【0086】

本出願では、要素 (すなわち、本出願における任意の名詞) の形容詞として序数 (例えば、第 1、第 2、第 3 など) が使用されてもよい。序数の使用は、「前」、「後」、「単一」、および他のそのような用語の使用などによって明示的に開示されていない限り、要素の特定の順序を暗示または作成するものではなく、任意の要素を単一の要素のみに限定するものでもない。むしろ、序数の使用は、要素を区別するためのものである。一例として、第 1 の要素は第 2 の要素とは異なり、第 1 の要素は 2 つ以上の要素を包含し、要素の順序で第 2 の要素に続いて (または先行して) もよい。

50

【0087】

さらに、特に明記しない限り、「または (or) 」は「包括的なまたは (inclusive or) 」であり、したがって「および (and) 」を含む。さらに、「または」によって結合された項目は、特に明記しない限り、項目の任意の組み合わせを、各項目を任意の数で含んでもよい。

【0088】

上記の説明では、本開示をより完全に理解するために、多数の具体的な詳細が記載されている。しかしながら、当業者には、本技術がこれらの具体的な詳細がなくても実施され得ることは明らかであろう。他の例では、説明が不必要に複雑になるのを避けるために、周知の特徴は詳細には説明されていない。さらに、本明細書に開示される特許請求の範囲から逸脱しない、上記で明示的に説明されていない他の実施形態を考案することができる。したがって、範囲は添付の特許請求の範囲によってのみ限定されるべきである。

【図面】

【図 1】

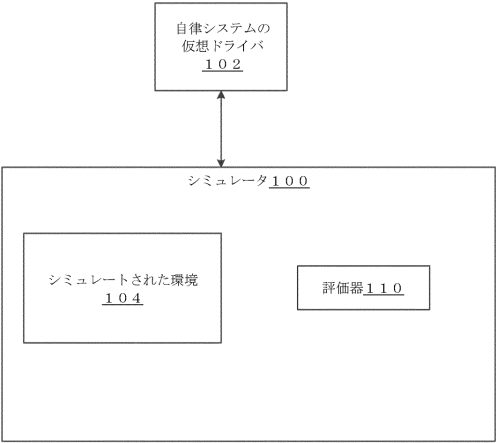


FIG. 1

【図 2】

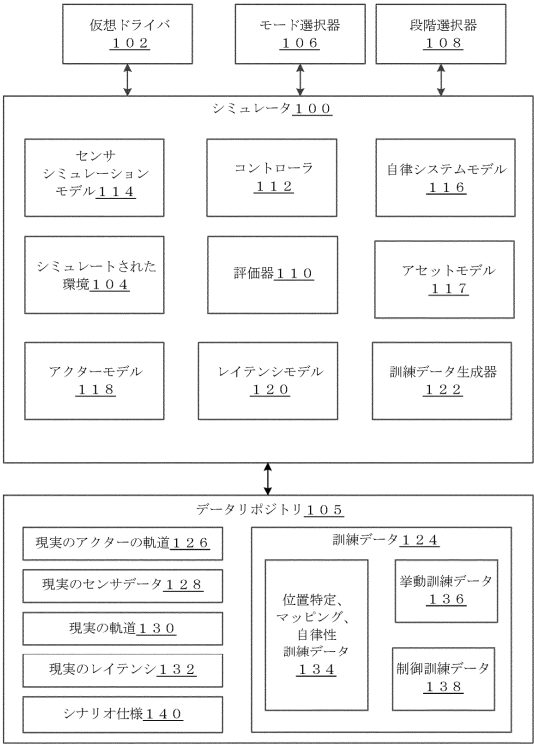


FIG. 2

10

20

30

40

50

【図 3】

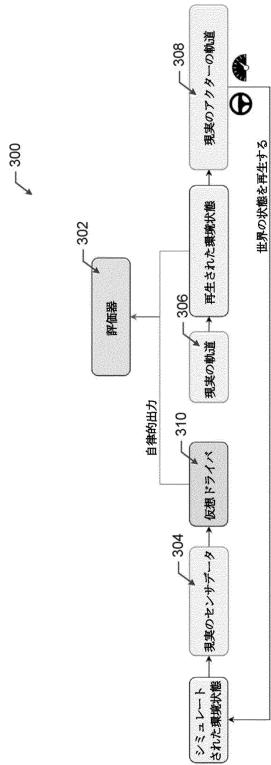


FIG. 3

【図 4】

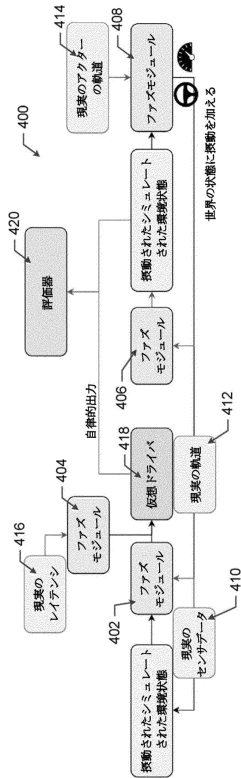


FIG. 4

【図 5】

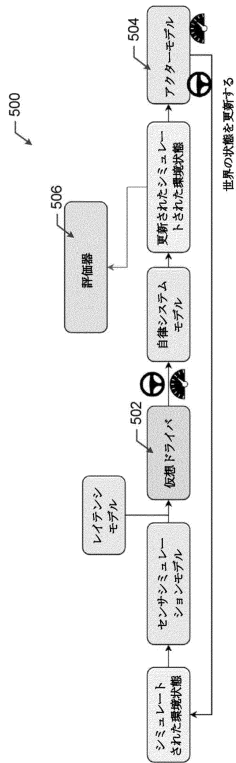


FIG. 5

【図 6】

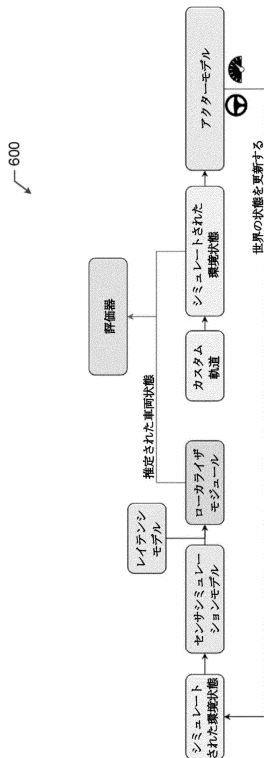


FIG. 6

10

20

30

40

50

【図 7】

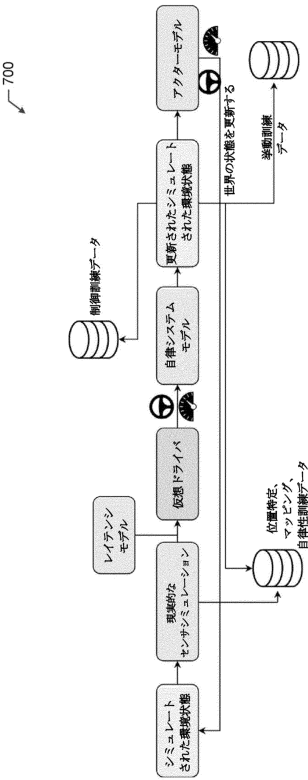


FIG. 7

【図 8】

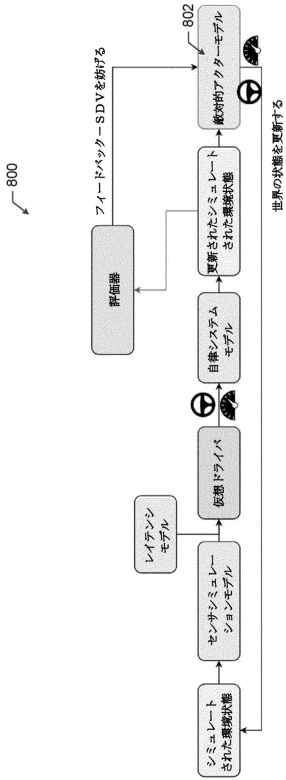


FIG. 8

【図 9】

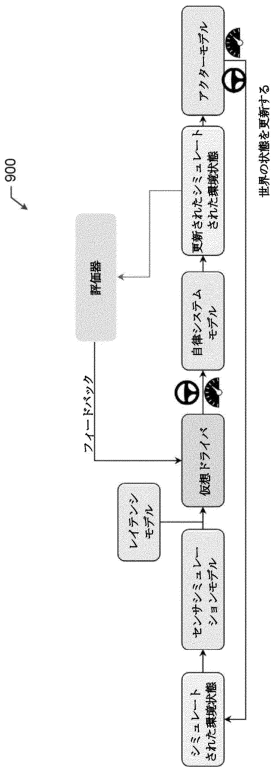


FIG. 9

【図 10】

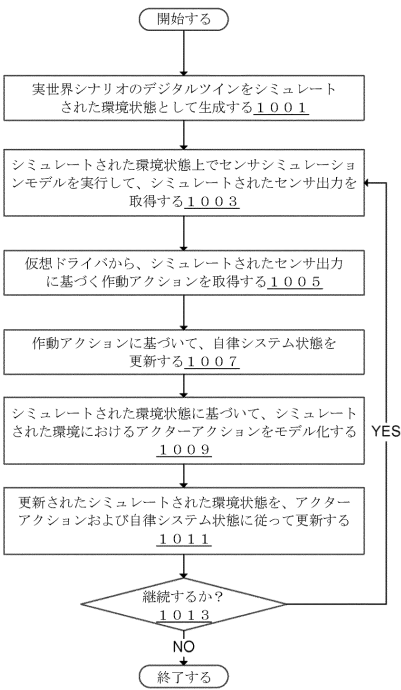


FIG. 10

10

20

30

40

50

【図 1 1】

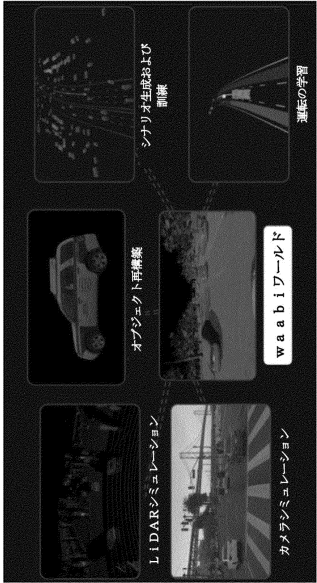


FIG. 11

【図 1 2 A】

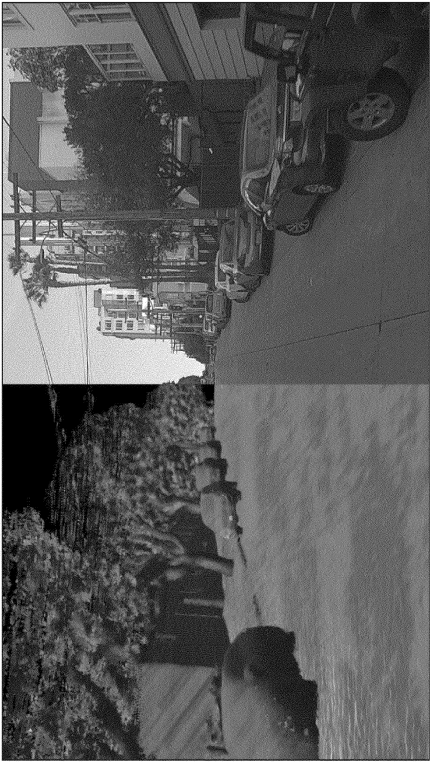


FIG. 12A

【図 1 2 B】



FIG. 12B

【図 1 3】

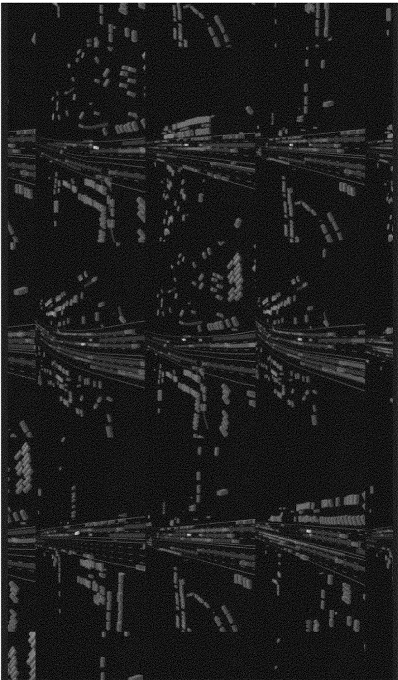


FIG. 13

10

20

30

40

50

【図 1 4 A】

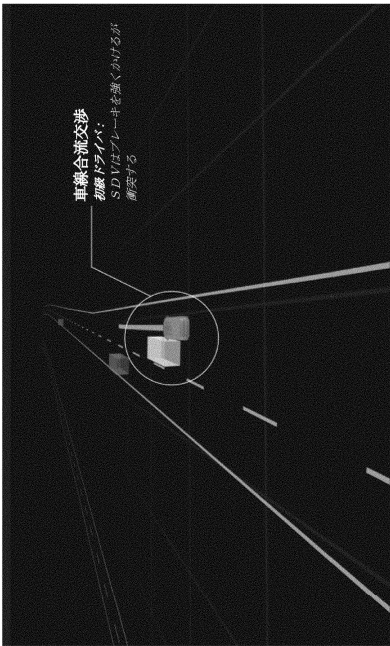


FIG. 14A

【図 1 4 B】

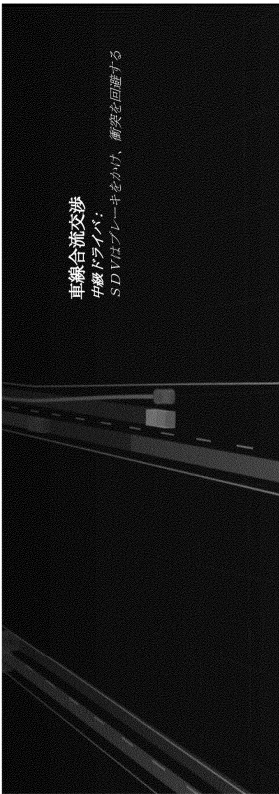


FIG. 14B

【図 1 4 C】

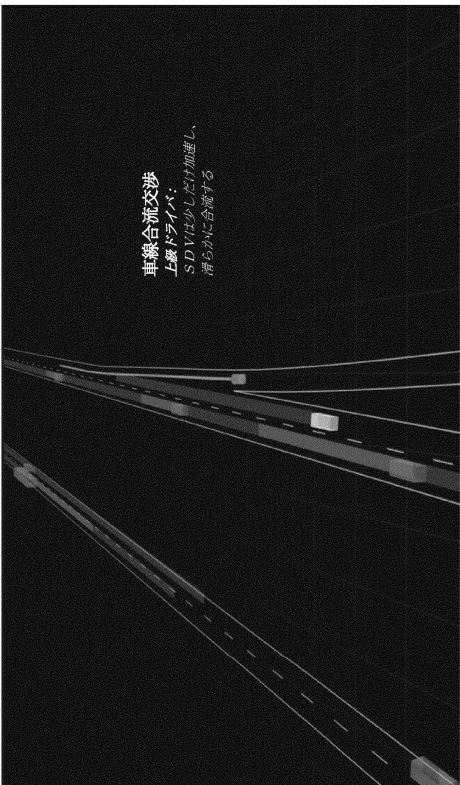


FIG. 14C

【図 1 5 A】



FIG. 15A

10

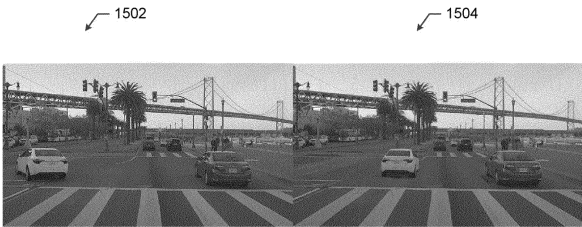
20

30

40

50

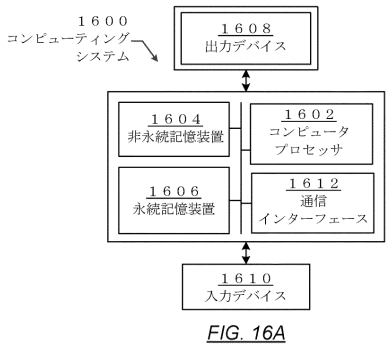
【図 1 5 B】



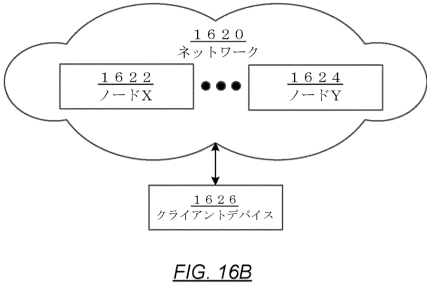
【図 1 5 C】



【図 1 6 A】



【図 1 6 B】



10

20

30

40

50

【国際調査報告】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT		International application No. PCT/CA2023/050165
A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER IPC: G05D 1/00 (2006.01), G01S 7/497 (2006.01) CPC: G05D 1/00 (2020.01), G01S 7/497 (2020.01) 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) Keywords used across the whole IPC		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched		
Electronic database(s) consulted during the international search (name of database(s) and, where practicable, search terms used) Questel orbit, Keywords : simulation, autonomous, sensor, evaluate, actor		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	US 2021/0276587 A1 (URTASUN. et al.) 9 September 2021 (09-09-2021) See paragraphs 139, 140, 102, 38, 73, 65, 43,	1-20
Y	CA 3134819 A1 (MANIVASAGAM. et al.) 1 October 2020 (01-10-2020) See paragraph 38, 29, 169, 170, abstract	1-20
Y	US 2020/0250363 A1 (PARTRIDGE. et al.) 6 August 2020 (06-08-2020) See paragraph 114, 57	10, 18
☐ 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 "D" document cited by the applicant in the international application "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 31 May 2023 (31-05-2023)		Date of mailing of the international search report 31 May 2023 (31-05-2023)
Name and mailing address of the ISA/CA Canadian Intellectual Property Office Place du Portage I, C114 - 1st Floor, Box PCT 50 Victoria Street Gatineau, Quebec K1A 0C9 Facsimile No.: 819-953-2476		Authorized officer Li Pan (819) 639-8273

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family membersInternational application No.
PCT/CA2023/050165

Patent Document Cited in Search Report	Publication Date	Patent Family Member(s)	Publication Date
US2021276587A1	09 September 2021 (09-09-2021)	CA3170637A1 WO2021178234A1	10 September 2021 (10-09-2021) 10 September 2021 (10-09-2021)
CA3134819A1	01 October 2020 (01-10-2020)	EP3948794A1 EP3948794B1 US2020301799A1 US11544167B2 US2022262072A1 WO2020198117A1	09 February 2022 (09-02-2022) 25 January 2023 (25-01-2023) 24 September 2020 (24-09-2020) 03 January 2023 (03-01-2023) 18 August 2022 (18-08-2022) 01 October 2020 (01-10-2020)
US2020250363A1	06 August 2020 (06-08-2020)	CN113661525A EP3921811A1 EP3921811A4 WO2020163602A1	16 November 2021 (16-11-2021) 15 December 2021 (15-12-2021) 15 March 2023 (15-03-2023) 13 August 2020 (13-08-2020)

フロントページの続き

(51)国際特許分類
G 0 8 G 1/00 (2006.01) F I G 0 8 G 1/00 D テーマコード (参考)

,MC,ME,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,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,LY,MA,MD,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,ST,SV,SY,TH,TJ,TM,TN,TR,TT,TZ,UA,UG,US,UZ,VC,VN,WS,ZA,ZM,ZW

(特許庁注：以下のものは登録商標)

1. B L U E T O O T H

カナダ、エム・５・ティ ２・エス・６ オンタリオ州、トロント、バサースト・ストリート、４４
０、フォース・フロア

(72)発明者 アイザック、ニール・クリフォード

カナダ、エム・５・ティ ２・エス・６ オンタリオ州、トロント、バサースト・ストリート、４４
０、フォース・フロア

F ターム (参考) 5H004 GA29 GA30 GB12 GB13 HA07 HA08 HA16 HB07 HB08 KC22
KC27 KC33 KC35 KD62
5H181 AA01 AA26 AA28 BB04 BB12 BB13 BB20 CC03 CC04 CC12
CC14 EE02
5H301 AA03 AA06 AA10 BB05 BB14 CC03 CC04 CC06 CC07 CC08
CC10 DD01 DD15 GG08 GG09