

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2021-82271

(P2021-82271A)

(43) 公開日 令和3年5月27日(2021.5.27)

(51) Int.Cl. F 1 テーマコード (参考)
G 0 6 T 7/00 (2017.01) G 0 6 T 7/00 3 5 0 C 5 L 0 9 6

審査請求 未請求 請求項の数 20 O L 外国語出願 (全 32 頁)

(21) 出願番号	特願2020-177754 (P2020-177754)	(71) 出願人	317015065
(22) 出願日	令和2年10月23日 (2020. 10. 23)		ウェイモ エルエルシー
(31) 優先権主張番号	16/688, 081		アメリカ合衆国 カリフォルニア州 94
(32) 優先日	令和1年11月19日 (2019. 11. 19)		043 マウンテン ビュー アンフィシ
(33) 優先権主張国・地域又は機関	米国 (US)		アター パークウェイ 1600
		(74) 代理人	100079108
			弁理士 稲葉 良幸
		(74) 代理人	100126480
			弁理士 佐藤 睦
		(72) 発明者	マコーリー, アレクサンダー
			アメリカ合衆国, カリフォルニア州 94
			043, マウンテン ビュー, アンフィシ
			アター パークウェイ 1600

最終頁に続く

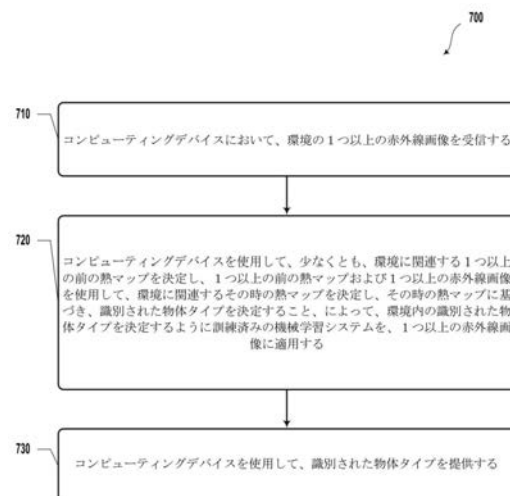
(54) 【発明の名称】 自動運転車向けサーマルイメージング

(57) 【要約】

【課題】機械学習技法を利用して、サーマルイメージングシステムにおける物体分類を向上させる。

【解決手段】一実施形態例において、方法が提供される。この方法は、コンピューティングデバイスにおいて、環境の1つ以上の赤外線画像を受信することを含む。この方法は、コンピューティングデバイスを使用して、環境内の識別された物体タイプを決定するように訓練済みの機械学習システムを、1つ以上の赤外線画像に適用することをさらに含み、決定することが、少なくとも、環境に関連する1つ以上の前の熱マップを決定することと、1つ以上の前の熱マップおよび1つ以上の赤外線画像を使用して、環境に関連するその時の熱マップを決定することと、その時の熱マップに基づき、識別された物体タイプを決定することと、によって行われる。この方法は、コンピューティングデバイスを使用して、識別された物体タイプを提供することを含む。

【選択図】 図7



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

コンピュータ実装方法であって、
コンピューティングデバイスにおいて、環境の 1 つ以上の赤外線画像を受信することと

、
前記コンピューティングデバイスを使用して、前記環境内の識別された物体タイプを決定するように訓練済みの機械学習システムを、前記 1 つ以上の赤外線画像に適用することであって、前記決定することが、少なくとも、

前記環境に関連する 1 つ以上の前の熱マップを決定し、

前記 1 つ以上の前の熱マップおよび前記 1 つ以上の赤外線画像を使用して、前記環境
10 に関連するその時の熱マップを決定し、また

前記その時の熱マップに基づいて、前記識別された物体タイプを決定することによっ
て、行われる、適用することと、

前記コンピューティングデバイスを使用して、前記識別された物体タイプを提供することと、を含む、コンピュータ実装方法。

【請求項 2】

前記識別された物体タイプが生物である、請求項 1 に記載のコンピュータ実装方法。

【請求項 3】

前記 1 つ以上の前の熱マップを決定することが、

前記コンピューティングデバイスに通信可能に結合された複数のセンサから、前記環境
20 のその時の熱状態を受信することと、

前記その時の熱状態に基づいて、前記コンピューティングデバイスに格納された複数の
前の熱マップから前記 1 つ以上の前の熱マップを決定することと、を含む、請求項 1 に記
載のコンピュータ実装方法。

【請求項 4】

前記複数のセンサが、周囲温度センサ、全地球測位システム（GPS）センサ、および
太陽のその時の位置を決定するように動作可能な太陽センサのうちの少なくとも 1 つで構
成されている、請求項 3 に記載のコンピュータ実装方法。

【請求項 5】

前記コンピューティングデバイスが、走査型レーザシステムに組み込まれ、前記 1 つ以
上の前の熱マップの各々が、前記走査型レーザシステムの角度に関連しており、前記 1 つ
以上の前の熱マップを決定することが、前記走査型レーザシステムのその時の角度にさら
に基づく、請求項 3 に記載のコンピュータ実装方法。

【請求項 6】

前記 1 つ以上の前の熱マップが、取り除かれた物体タイプに基づいて変更、編集、また
は削除されている 1 つ以上の領域を含む、請求項 1 に記載のコンピュータ実装方法。

【請求項 7】

前記環境に関連する前記その時の熱マップを決定することが、前記 1 つ以上の前の熱マ
ップに基づいて、前記 1 つ以上の赤外線画像の熱コントラストを較正することを含む、請
求項 1 に記載のコンピュータ実装方法。

【請求項 8】

LIDAR システムから受信したデータに基づいて、前記環境のその時の空間点群を決
定することと、

前記その時の空間点群を使用して、前記環境内の物体を識別することと、

前記識別された物体の放射率値を計算することであって、前記識別された物体タイプを
決定することが前記計算された放射率値にさらに基づく、計算することと、をさらに含む
、請求項 1 に記載のコンピュータ実装方法。

【請求項 9】

その時の熱マップが、前記 1 つ以上の赤外線画像上に投影された前記その時の空間点群
を含む、請求項 8 に記載のコンピュータ実装方法。

10

20

30

40

50

【請求項 10】

カメラシステムからのデータに基づいて、その時の可視光画像を決定することと、
前記その時の可視光画像を使用して、前記環境内の物体を識別することと、
前記識別された物体の放射率値を計算することであって、前記識別された物体タイプを決定することが前記計算された放射率値にさらに基づく、計算することと、をさらに含む、請求項 1 に記載のコンピュータ実装方法。

【請求項 11】

前記 1 つ以上の赤外線画像が、前記環境の時間的に連続する赤外線画像のセットを含み、前記訓練済み機械学習システムを前記 1 つ以上の赤外線画像に適用することが、前記 1 つ以上の赤外線画像間での前記識別された物体タイプの時空間関連付けを含む、請求項 1 に記載のコンピュータ実装方法。

10

【請求項 12】

前記時空間関連付けが、前記環境内の前記識別された物体タイプである各物体に一意の識別子を割り当てることを含む、請求項 11 に記載のコンピュータ実装方法。

【請求項 13】

前記訓練済み機械学習システムが、畳み込みニューラルネットワークを備える、請求項 1 に記載のコンピュータ実装方法。

【請求項 14】

前記畳み込みニューラルネットワークが、符号化パスおよび復号パスを有するセグメント化ネットワークである、請求項 13 に記載のコンピュータ実装方法。

20

【請求項 15】

前記 1 つ以上の前の熱マップが、前記環境内の前記コンピューティングデバイスとは異なる場所に位置付けられた第 2 のコンピューティングデバイスによって決定された熱マップを含む、請求項 1 に記載のコンピュータ実装方法。

【請求項 16】

前記第 2 のコンピューティングデバイスによって決定された前記熱マップは、前記コンピューティングデバイスが前記 1 つ以上の赤外線画像を受信したときから閾値時間制限内に決定されている、請求項 15 に記載のコンピュータ実装方法。

【請求項 17】

前記コンピューティングデバイスが自動運転車システムの一部である、請求項 1 に記載のコンピュータ実装方法。

30

【請求項 18】

コンピュータ実施方法であって、
コンピューティングデバイスにおいて、環境の 1 つ以上の赤外線画像を受信することと、
前記環境内の識別された物体タイプを決定するように、前記コンピューティングデバイスを使用して、前記 1 つ以上の赤外線画像において機械学習システムを訓練することであって、少なくとも、
前記環境に関連する 1 つ以上の前の熱マップを決定するように、前記機械学習システムを訓練し、
前記環境に関連するその時の熱マップを決定するように、前記 1 つ以上の前の熱マップおよび前記 1 つ以上の赤外線画像を使用して、前記機械学習システムを訓練し、また
前記その時の熱マップを使用して、前記識別された物体タイプを決定するように、前記機械学習システムを訓練する、ことによって行われる、訓練することと、
前記コンピューティングデバイスを使用して、前記訓練済み機械学習システムを提供することと、を含む、コンピュータ実装方法。

40

【請求項 19】

前記 1 つ以上の赤外線画像は、スペクトル強度情報が複数のそれぞれのスペクトル波長帯に対応している状態の赤外線画像を含み、前記環境に関連する前記その時の熱マップを決定するように前記機械学習システムを訓練することが、前記環境内の物体の放射率を計

50

算するために、それぞれのスペクトル強度情報間の比率を計算することを含む、請求項 18 に記載のコンピュータ実装方法。

【請求項 20】

コンピューティングデバイスであって、

1 つ以上のプロセッサと、

コンピュータ実行可能命令を格納したデータ記憶域と、を備え、前記コンピュータ実行可能命令が、前記 1 つ以上のプロセッサによって実行されると、前記コンピューティングデバイスに、

環境から撮影された 1 つ以上の赤外線画像を受信することと、

前記環境内の識別された物体タイプを決定するように訓練済みの機械学習システムを、前記 1 つ以上の赤外線画像に適用することであって、前記決定することが、少なくとも、

前記環境に関連する 1 つ以上の前の熱マップを決定し、

前記 1 つ以上の前の熱マップおよび前記 1 つ以上の赤外線画像を使用して、前記環境に関連するその時の熱マップを決定し、また

前記その時の熱マップを使用して、前記識別された物体タイプを決定する、ことによって行われる、適用することと、

前記識別された物体タイプを提供することと、を含む、機能を行わせる、コンピューティングデバイス。

【発明の詳細な説明】

【背景技術】

【0001】

サーマル（または赤外線）イメージングデバイスを使用して、所与の環境内の物体を分類することができる。例えば、サーマルイメージングデバイスは、所与の物体に関するラジオメトリック情報を得ることができ、所与の物体の放射率値が推定され得る場合、この情報を利用して、所与の物体の温度を決定することができる。推定放射率値を有する多数の物体が関与している場合、サーマルイメージングデバイスは、物体間の温度のバラツキを決定することができ、次に、組成または物体のタイプに関する予測を行うことができる。

【発明の概要】

【0002】

本開示は、機械学習技法を有益に利用して、サーマルイメージングシステムにおける物体分類を向上させるものである。

【0003】

第 1 の態様では、方法が提供される。この方法は、コンピューティングデバイスにおいて、環境の 1 つ以上の赤外線画像を受信することを含む。この方法は、コンピューティングデバイスを使用して、環境内の識別された物体タイプを決定するように訓練済みの機械学習システムを、1 つ以上の赤外線画像に適用することをさらに含む。訓練済み機械学習システムを適用することには、環境に関連する 1 つ以上の前の熱マップを決定することが含まれる。訓練済み機械学習システムを適用することは、1 つ以上の前の熱マップおよび 1 つ以上の赤外線画像を使用して、環境に関連するその時の熱マップを決定し、その時の熱マップに基づいて、識別された物体タイプを決定することも含まれる。この方法は、コンピューティングデバイスを使用して、識別された物体タイプを提供することも含む。

【0004】

第 2 の態様では、方法が提供される。この方法は、コンピューティングデバイスにおいて、環境の 1 つ以上の赤外線画像を受信することを含む。この方法は、環境内の識別された物体タイプを決定するように、コンピューティングデバイスを使用して、1 つ以上の赤外線画像において機械学習システムを訓練することをさらに含む。機械学習システムを訓練することには、環境に関連する 1 つ以上の前の熱マップを決定するように、機械学習システムを訓練することが含まれる。機械学習システムを訓練することには、1 つ以上の前の熱マップおよび 1 つ以上の赤外線画像を使用して、環境に関連するその時の熱マップを

決定するように機械学習システムを訓練し、その時の熱マップを使用して識別された物体タイプを決定するように、機械学習システムを訓練することも含まれる。この方法は、コンピューティングデバイスを使用して、訓練済み機械学習システムを提供することも含む。

【0005】

第3の態様では、コンピューティングデバイスが提供される。コンピューティングデバイスは、1つ以上のプロセッサおよびデータ記憶域を含む。データ記憶域には、1つ以上のプロセッサによって実行されると、コンピューティングデバイスに、動作を行わせる、コンピュータ実行可能命令が格納されている。この動作には、環境から撮影された1つ以上の赤外線画像を受信することが含まれる。この動作には、環境内の識別された物体タイプを決定するように訓練済みの機械学習システムを1つ以上の赤外線画像に適用すること

10

【0006】

他の態様、実施形態、および実装形態は、当業者には、以下の詳細な説明を添付の図面を適宜参照して読み取ることにより明らかになるであろう。

【図面の簡単な説明】

20

【0007】

【図1】実施形態例による、車両のブロック図を示す。

【図2A】実施形態例による車両の物理的構成を示す。

【図2B】実施形態例による車両の物理的構成を示す。

【図2C】実施形態例による車両の物理的構成を示す。

【図2D】実施形態例による車両の物理的構成を示す。

【図2E】実施形態例による車両の物理的構成を示す。

【図3】実施形態例による、車両に関係している様々なコンピューティングシステム間の無線通信を示す。

【図4】実施形態例による、機械学習モデルの学習フェーズおよび推論フェーズを示す。

30

【図5】実施形態例による、システムを示す。

【図6A】実施形態例による、熱機械学習モデルの態様を示す。

【図6B】実施形態例による、放射率機械学習モデルの態様を示す。

【図7】実施形態例による、方法を示す。

【図8】実施形態例による、方法を示す。

【発明を実施するための形態】

【0008】

方法、デバイス、およびシステムの例が本明細書において説明される。「例 (example)」および「例示的 (exemplary)」という語は、本明細書においては、「例、事例、または例示としての役割を果たす (serving as an example, instance, or illustration)」ことを意味するために使用されることを理解されたい。本明細書において「例」または「例示的」であるとして説明されるいずれの実施形態または特徴も、他の実施形態または特徴よりも好ましい、または有利であると必ずしも解釈されるべきではない。本明細書において提示される主題の範囲から逸脱することなく、他の実施形態を利用することができ、他の変更を行うことができる。

40

【0009】

このように、本明細書において説明される実施形態例は、限定を意味するものではない。本明細書において概略説明され、図に例示される本開示の態様は、多種多様な異なる構成で配置する、置き換える、組み合わせる、分離する、および設計することができ、これ

50

らの構成の全てが本明細において考えられる。

【0010】

さらに、文脈上、そうではないことを示していない限り、これらの図の各図に示されている特徴は、互いに組み合わせて使用することができる。このように、図は、大抵、例示されるすべての特徴が実施形態ごとに必要であるわけではないという理解の下に、1つ以上の実施形態全体の構成要素側面として考えられるべきである。

【0011】

I. 概要

従来のセンサシステムは、所与の環境内の物体を誤認かつ／または誤分類する傾向がある。このような働き低下は、サーマルイメージングを利用する識別技法に特に当てはまる可能性がある。このような場合、環境内の大きな温度のバラツキにより、サーマルイメージングシステムが物体を検出することが困難になる可能性がある。例えば、環境における日々のバラツキおよび／または季節的バラツキにより、対象とする物体の外観が変化する、熱ノイズが取り込まれる、などの可能性がある。このようなバラツキは、サーマルイメージングシステムから得られた熱画像（または、本明細書では「熱マップ」と呼ばれる）に基づいて物体を分類するように、機械学習モデルを確実に訓練する能力を制限する。いくつかのソリューションは、環境内の温度を推定するラジオメトリック較正式カメラでバラツキを正規化しようとするが、これらの推定の精度は、所与の環境内の物体放射率に関する1つ以上の仮定またはその近似値に制限される。

【0012】

本明細書に記載の実施形態は、所与の環境内の物体を正しく識別し、かつ／または分類するように、サーマルイメージングシステムの性能を高めることができる。具体的には、本明細書の開示では、環境内の物体の放射率および／または温度を正確に予測することができる機械学習システムを提供する。したがって、このような環境内の物体の分類を向上させることができる。

【0013】

実施形態によっては、機械学習システムは、このような物体の物理的溫度をより正確に推定するために、環境内の物体の放射率を推測するように、可視・近赤外反射率、2色赤外線放射、LIDARデータ、および／または周囲温度／太陽位置／気象データにおいて訓練されたモデルを含み得る。

【0014】

分類をさらに向上させるために、機械学習システムは、その時の熱画像を、生物を取り除くように処理された前の熱画像と比較することができる。また、本明細書におけるシステムおよび方法は、LIDARデータを熱画像と組み合わせて、様々な熱画像フレーム間で物体の点を関連付けることによって、移動する生物を検出し、追跡することもできる。他の実施形態、態様、および向上も可能であり得る。

【0015】

II. システム例

ここで、本開示の範囲内のシステム例をより詳細に説明する。あるシステム例は、自動車に実装され得るか、または自動車の形態を取り得る。しかしながら、あるシステム例はまた、車、トラック、オートバイ、バス、ボート、飛行機、ヘリコプター、芝刈り機、ブルドーザー、ボート、スノーモービル、航空機、レクリエーション車両、遊園地車両、農機具、建設機械、トラム、ゴルフカート、電車、トロリー、ロボットデバイスなどの、他の車両に実装され得、または他の車両の形態を取り得る。他の車両も考えられ得る。さらに、実施形態によっては、システム例は、車両を含まない場合がある。

【0016】

ここで図を参照すると、図1は、自律モードで完全にまたは部分的に動作するように構成され得る、実施形態例による車両例100を示す機能ブロック図である。より具体的には、車両100は、コンピューティングシステムから制御命令を受信することを通して、人間の相互作用なしに自律モードで動作し得る。自律モードでの動作の一部として、車両

１００は、センサを使用して、周囲環境の物体を検出し、場合によっては識別して、安全なナビゲーションを可能にし得る。実施形態によっては、車両１００は、運転者が車両１００の動作を制御することを可能にするサブシステムも含み得る。

【００１７】

図１に示されるように、車両１００は、推進システム１０２、センサシステム１０４、制御システム１０６、１つ以上の周辺機器１０８、電源１１０、コンピュータシステム１１２（コンピューティングシステムとも呼ばれることがある）、データ記憶域１１４、およびユーザインターフェース１１６などの様々なサブシステムを含み得る。他の例では、車両１００は、各々が多数の要素を含み得る、サブシステムをより多くまたはより少なく含み得る。車両１００のサブシステムおよび構成要素は、様々な方式で相互接続され得る。

10

【００１８】

推進システム１０２は、車両１００に動力運動を提供するように動作可能な１つ以上の構成要素を含み得、数ある考えられ得る構成要素の中でも特に、エンジン／モータ１１８、エネルギー源１１９、トランスミッション１２０、および車輪／タイヤ１２１を含み得る。例えば、エンジン／モータ１１８は、エネルギー源１１９を機械的エネルギーに変換するように構成され得、数ある考えられ得るオプション装備の中でも特に、内燃エンジン、電気モータ、蒸気エンジン、またはスターリングエンジンのうちの１つまたは組み合わせに対応し得る。例えば、実施形態によっては、推進システム１０２は、ガソリンエンジンおよび電気モータなどの多数のタイプのエンジンおよび／またはモータを含み得る。

20

【００１９】

エネルギー源１１９は、完全にまたは部分的に、車両１００の１つ以上のシステム（例えば、エンジン／モータ１１８）に動力を供給し得るエネルギー源を表す。例えば、エネルギー源１１９は、ガソリン、ディーゼル、他の石油系燃料、プロパン、他の圧縮ガスの燃料、エタノール、ソーラパネル、電池、および／または他の電力源に対応することができる。実施形態によっては、エネルギー源１１９は、燃料タンク、電池、コンデンサ、および／またはフライホイールの組み合わせを含み得る。

【００２０】

トランスミッション１２０は、エンジン／モータ１１８からの機械動力を、車輪／タイヤ１２１および／または車両１００の他の可能なシステムに伝達し得る。したがって、トランスミッション１２０は、数ある考えられ得る構成要素の中でも特に、ギアボックス、クラッチ、ディファレンシャル、および駆動シャフトを含み得る。駆動シャフトは、１つ以上の車輪／タイヤ１２１に接続する車軸を含み得る。

30

【００２１】

車両１００の車輪／タイヤ１２１は、実施形態例内で様々な構成を有し得る。例えば、車両１００は、数ある考えられ得る構成の中でも特に、一輪車、自転車／オートバイ、三輪車、または車／トラック四輪形式で存在し得る。したがって、車輪／タイヤ１２１は、様々な方法で車両１００に接続することができ、金属およびゴムなどの異なる材料で存在し得る。

【００２２】

センサシステム１０４は、数ある考えられ得るセンサの中でも特に、全地球測位システム（GPS）１２２、慣性計測ユニット（IMU）１２４、レーダ１２６、レーザ距離計／LIDAR１２８、カメラ１３０、ステアリングセンサ１２３、およびスロットル／ブレーキセンサ１２５などの様々なタイプのセンサを含むことができる。実施形態によっては、センサシステム１０４は、車両１００の内部システムをモニタするように構成されたセンサ（例えば、O₂ モニタ、燃料計、エンジンオイル温度、ブレーキ摩耗）を含み得る。

40

【００２３】

GPS１２２は、地球に対する車両１００の位置に関する情報を提供するように動作可能なトランシーバを含み得る。IMU１２４は、１つ以上の加速度計および／またはジャ

50

イロスコープを使用する構成を有し得、慣性加速度に基づいて車両 100 の位置および向きの変化を感知し得る。例えば、IMU 124 は、車両 100 が静止しているかまたは動いている間に車両 100 のピッチおよび偏揺れを検出することができる。

【0024】

レーダ 126 は、電波信号を使用して、車両 100 の局所環境内の物体を、物体の速さおよび進行方向を含めて感知するように構成された 1 つ以上のシステムを表し得る。したがって、レーダ 126 は、電波信号を送受信するように構成されたアンテナを含み得る。実施形態によっては、レーダ 126 は、車両 100 の周囲環境の測定値を得るように構成された装着可能なレーダシステムに対応し得る。

【0025】

レーザ距離計／LIDAR 128 は、数あるシステム構成要素の中でも特に、1 つ以上のレーザ源、レーザスキャナ、および 1 つ以上の検出器を含み得、コヒーレントモード（例えば、ヘテロダイン検出を使用）または非コヒーレント検出モードで動作し得る。実施形態によっては、レーザ距離計／LIDAR 128 の 1 つ以上の検出器には、1 つ以上の受光素子が含まれ得る。このような受光素子は、特に高感度検出器（例えば、アバランシェフォトダイオード（APD））であり得る。例によっては、このような受光素子は、単一光子（例えば、単一光子アバランシェダイオード（SPAD））を検出することさえ可能であり得る。また、このような受光素子は、アレイの状態に配列され得る（例えば、シリコン光電子倍增管（SiPM）に見られるように）。

【0026】

カメラ 130 は、車両 100 の環境の画像を捕捉するように構成された 1 つ以上のデバイス（例えば、スチルカメラまたはビデオカメラ）を含み得る。

【0027】

ステアリングセンサ 123 は、車両 100 のステアリング角度を感知し得、これは、ステアリングホイールの角度を測定すること、またはステアリングホイールの角度を表す電気信号を測定することを含み得る。実施形態によっては、ステアリングセンサ 123 は、車両 100 の前方軸に対する車輪の角度を検出するなど、車両 100 の車輪の角度を測定し得る。ステアリングセンサ 123 はまた、ステアリングホイールの角度、ステアリングホイールの角度を表す電気信号、および車両 100 の車輪の角度の組み合わせ（またはサブセット）を測定するように構成され得る。

【0028】

スロットル／ブレーキセンサ 125 は、車両 100 のスロットル位置またはブレーキ位置のいずれかの位置を検出し得る。例えば、スロットル／ブレーキセンサ 125 は、アクセルペダル（スロットル）およびブレーキペダルの両方の角度を測定してもよく、または、例えば、アクセルペダル（スロットル）の角度および／もしくはブレーキペダルの角度を表すことができる電気信号を測定してもよい。スロットル／ブレーキセンサ 125 はまた、エンジン／モータ 118（例えば、バタフライバルブまたはキャブレタ）にエネルギー源 119 の変調を提供する物理的機構の一部を含み得る、車両 100 のスロットルボディの角度を測定してもよい。加えて、スロットル／ブレーキセンサ 125 は、車両 100 のロータに掛かる 1 つ以上のブレーキパッドの圧力、またはアクセルペダル（スロットル）およびブレーキペダルの角度、アクセルペダル（スロットル）およびブレーキペダルの角度を表す電気信号、スロットルボディの角度、ならびに少なくとも 1 つのブレーキパッドが車両 100 のロータに加える圧力の組み合わせ（またはサブセット）、を測定し得る。他の実施形態では、スロットル／ブレーキセンサ 125 は、スロットルまたはブレーキペダルなどの車両のペダルに加えられた圧力を測定するように構成されてもよい。

【0029】

制御システム 106 は、ステアリングユニット 132、スロットル 134、ブレーキユニット 136、センサ融合アルゴリズム 138、コンピュータビジョンシステム 140、ナビゲーション／経路探索システム 142、および障害物回避システム 144 など、車両 100 をナビゲートするのを助けるように構成された構成要素を含み得る。より具体的に

10

20

30

40

50

は、ステアリングユニット 132 は、車両 100 の進行方向を調整するように動作可能であり得、スロットル 134 は、エンジン／モータ 118 の動作速度を制御して、車両 100 の加速を制御し得る。ブレーキユニット 136 は、車両 100 を減速することができ、これは、摩擦を使用して車輪／タイヤ 121 を減速することを含み得る。実施形態によっては、ブレーキユニット 136 は、車両 100 の 1 つまたは複数のシステムによるその後の使用のために、車輪／タイヤ 121 の運動エネルギーを電流に変換し得る。

【0030】

センサ融合アルゴリズム 138 は、カルマンフィルタ、ベイジアンネットワーク、またはセンサシステム 104 からのデータを処理することができる他のアルゴリズムを含み得る。実施形態によっては、センサ融合アルゴリズム 138 は、個々の物体および／もしくは特徴の評価、特定の状況の評価、ならびに／または所与の状況内の可能性のある影響の評価など、着信センサデータに基づくアセスメントを提供し得る。

【0031】

コンピュータビジョンシステム 140 は、物体、環境物体（例えば、交通信号、車道境界など）、および障害物を決定しようとする際に画像を処理し、分析するように動作可能なハードウェアおよびソフトウェアを含み得る。したがって、コンピュータビジョンシステム 140 は、物体認識、Structure From Motion (SFM)、ビデオ追跡、および、例えば、物体を認識し、環境をマッピングし、物体を追跡し、物体のスピードを推定するためなどにコンピュータビジョンで使用する他のアルゴリズムを使用し得る。

【0032】

ナビゲーション／経路探索システム 142 は、車両 100 の運転経路を決定することができ、これは、動作中にナビゲーションを動的に調整することを含み得る。したがって、ナビゲーション／経路探索システム 142 は、数ある情報源の中でも特に、センサ融合アルゴリズム 138、GPS 122、および地図からのデータを使用して、車両 100 をナビゲートし得る。障害物回避システム 144 は、センサデータに基づいて障害となり得るものを評価し、車両 100 のシステムに障害となり得るものを回避させるかまたは別の方法で切り抜けさせ得る。

【0033】

図 1 に示されるように、車両 100 はまた、無線通信システム 146、タッチスクリーン 148、マイクロフォン 150、および／またはスピーカ 152 などの周辺機器 108 を含み得る。周辺機器 108 は、ユーザがユーザインターフェース 116 と相互作用するための制御装置または他の要素を提供し得る。例えば、タッチスクリーン 148 は、車両 100 のユーザに情報を提供し得る。ユーザインターフェース 116 はまた、タッチスクリーン 148 を介してユーザからの入力を受け入れ得る。周辺機器 108 はまた、車両 100 が、他の車両のデバイスなどのデバイスと通信することを可能にし得る。

【0034】

無線通信システム 146 は、1 つ以上のデバイスと直接または通信ネットワークを介して無線で通信し得る。例えば、無線通信システム 146 では、符号分割多元接続 (CDMA)、進化データ最適化 (EVDO)、グローバル移動体通信システム (GSM)／汎用パケット無線サービス (GPRS) などの 3G セルラ通信、またはワールドワイド・インターオペラビリティ・フォー・マイクロウェーブ・アクセス (WiMAX) もしくはロングタームエボリューション (LTE) などの 4G セルラ通信を使用する可能性がある。あるいは、無線通信システム 146 は、Wi-Fi または他の可能な接続を使用して無線ローカルエリアネットワーク (WLAN) と通信し得る。無線通信システム 146 はまた、例えば、赤外線リンク、BLUETOOTH (登録商標)、または ZigBee (登録商標) を使用してデバイスと直接通信し得る。様々な車両通信システムなどの他の無線プロトコルが、本開示の背景内で可能である。例えば、無線通信システム 146 は、車両および／または道路沿いの給油所間の公開データ通信および／または私的データ通信を含み得る 1 つ以上の専用狭域通信 (DSRC) デバイスを含み得る。

10

20

30

40

50

【0035】

車両100は、構成要素に電力を供給するための電源110を含み得る。電源110は、いくつかの実施形態では、再充電可能なリチウムイオンまたは鉛蓄電池を含み得る。例えば、電源110は、電力を提供するように構成された1つ以上の電池を含み得る。車両100はまた、他のタイプの電源を使用してもよい。ある実施形態例では、電源110とエネルギー源119とが、統合されて単一のエネルギー源になり得る。

【0036】

車両100は、本明細書に記載の動作などの動作を行うためのコンピュータシステム112も含み得る。したがって、コンピュータシステム112は、データ記憶域114などの非一時的なコンピュータ可読媒体に格納された命令115を実行するように動作可能な少なくとも1つのプロセッサ113（少なくとも1つのマイクロプロセッサが含まれ得る）を含み得る。実施形態によっては、コンピュータシステム112は、車両100の個々の構成要素またはサブシステムを分散的に制御するように機能し得る複数のコンピューティングデバイスを表し得る。

10

【0037】

実施形態によっては、データ記憶域114は、図1に関連して上述したものを含めて、車両100の様々な機能を実行するための、プロセッサ113によって実行可能な命令115（例えば、プログラム論理）を含み得る。データ記憶域114は、推進システム102、センサシステム104、制御システム106、および周辺機器108のうちの1つ以上にデータを送信する、それからデータを受信する、それと相互作用する、かつ／またはそれを制御するための命令を含む追加の命令も含み得る。

20

【0038】

命令115に加えて、データ記憶域114は、数ある情報の中でも特に、道路地図、経路情報などのデータを格納し得る。そのような情報は、自律モード、半自律モード、および／または手動モードでの車両100の動作中に、車両100およびコンピュータシステム112によって使用され得る。

【0039】

車両100は、車両100のユーザに情報を提供するか、または車両100のユーザから入力を受信するためのユーザインターフェース116を含み得る。ユーザインターフェース116は、タッチスクリーン148上に表示され得るコンテンツおよび／またはインタラクティブ画像のレイアウトを制御することができるか、または制御を可能にし得る。さらに、ユーザインターフェース116には、無線通信システム146、タッチスクリーン148、マイクロフォン150、およびスピーカ152などの周辺機器108のセット内の1つ以上の入力／出力デバイスが含まれ得る。

30

【0040】

コンピュータシステム112は、様々なサブシステム（例えば、推進システム102、センサシステム104、および制御システム106）から、またユーザインターフェース116から受信した入力に基づいて、車両100の機能を制御し得る。例えば、コンピュータシステム112は、推進システム102および制御システム106によって生成された出力を推定するために、センサシステム104からの入力を利用してもよい。実施形態によっては、コンピュータシステム112は、車両100およびそのサブシステムの多くの側面をモニタするように動作可能であり得る。実施形態によっては、コンピュータシステム112は、センサシステム104から受信した信号に基づいて、車両100の一部またはすべての機能を無効にし得る。

40

【0041】

車両100の構成要素は、それらのそれぞれのシステム内またはシステム外の他の構成要素との相互接続状態で働くように構成され得る。例えば、ある実施形態例では、カメラ130は、自律モードで動作している車両100の環境の状態に関する情報を表すことができる複数の画像を捕捉することができる。環境の状態には、車両が動作している道路のパラメータが含まれ得る。例えば、コンピュータビジョンシステム140は、道路の複数

50

の画像に基づいて、傾斜（勾配）または他の特徴を認識することができ得る。加えて、GPS 122とコンピュータビジョンシステム140によって認識された特徴との組み合わせは、特定の道路パラメータを決定するために、データ記憶域114に格納された地図データとともに使用され得る。さらに、レーダ126がまた、車両の周囲に関する情報を提供し得る。

【0042】

言い換えると、様々なセンサ（入力表示センサおよび出力表示センサと言ってもよい）の組み合わせとコンピュータシステム112とが、相互に作用して、車両を制御するために提供される入力の表示または車両の周囲の表示を提供することができる。

【0043】

実施形態によっては、コンピュータシステム112は、他のシステムによって提供されるデータに基づいて、様々な物体に関する判断を行い得る。例えば、車両100は、車両の視野内の物体を感知するように構成されたレーザまたは他の光学センサを有し得る。コンピュータシステム112は、様々なセンサからの出力を使用して、車両の視野内の物体に関する情報を判断し得、様々な物体までの距離および方向情報を判断し得る。コンピュータシステム112はまた、様々なセンサからの出力に基づいて、物体が望ましいか望ましくないかを判断し得る。

【0044】

図1は、車両100の様々な構成要素（すなわち、無線通信システム146、コンピュータシステム112、データ記憶域114、およびユーザインターフェース116）を車両100に統合されているものとして示しているが、これらの構成要素のうちの1つ以上は、車両100とは別個に装着するかまたは関連付けることができる。例えば、データ記憶域114が、部分的または完全に、車両100とは別個に存在していてもよい。したがって、車両100は、別個にまたは一緒に配置され得るデバイス要素の形態で提供され得る。車両100を構成するデバイス要素は、有線および／または無線方式で一緒に通信可能に結合され得る。

【0045】

図2A～2Eは、実施形態例による、図1を参照して車両100に関連して説明された機能の一部またはすべてを含み得る車両例200を示す。車両200は、説明の便宜上、パンとして図2A～2Eに示されているが、本開示は、そのように限定されるものではない。例えば、車両200は、トラック、乗用車、セミトレーラトラック、オートバイ、ゴルフカート、オフロード車、または農業用車両などを表し得る。

【0046】

車両例200は、センサユニット202、第1のLIDARユニット204、第2のLIDARユニット206、第1のレーダユニット208、第2のレーダユニット210、第1のLIDAR／レーダユニット212、第2のLIDAR／レーダユニット214を含み、また車両200上で、レーダユニット、LIDARユニット、レーザ距離計ユニット、および／または他のタイプの1つもしくは複数のセンサが位置し得る2つの追加の場所216、218も含む。第1のLIDAR／レーダユニット212および第2のLIDAR／レーダユニット214の各々は、LIDARユニット、レーダユニット、またはその両方の形態を取り得る。

【0047】

さらに、車両例200は、図1の車両100に関連して説明された構成要素のいずれかを含み得る。第1および第2のレーダユニット208、210ならびに／または第1および第2のLIDARユニット204、206は、障害となり得るものがないか、その周囲環境を能動的に走査することができ、車両100のレーダ126および／またはレーザ距離計／LIDAR128と同様のものであり得る。

【0048】

センサユニット202は、車両200の上部に取り付けられ、車両200を取り囲む環境に関する情報を検出し、情報の表示を出力するように構成された1つ以上のセンサを含

10

20

30

40

50

む。例えば、センサユニット 202 は、カメラ、レーダ、L I D A R、距離計、および音響センサの任意の組み合わせを含み得る。センサユニット 202 は、センサユニット 202 内の 1 つ以上のセンサの向きを調整するように動作可能であり得る 1 つ以上の可動マウントを含み得る。一実施形態では、可動マウントは、車両 200 の周囲の各方向から情報を得るようにセンサを走査することができる回転プラットフォームを含み得る。別の実施形態では、センサユニット 202 の可動マウントは、角度および／または方位の特定の範囲内で走査的に移動可能であり得る。センサユニット 202 は、他の取り付け場所も考えられ得るが、車両 200 の屋根上に取り付けられ得る。

【0049】

加えて、センサユニット 202 のセンサは、様々な場所に分散されてもよく、1 つの場所に併置される必要はない。いくつかの考えら得るセンサタイプおよび取り付け場所には、2 つの追加の場所 216、218 が含まれる。さらに、センサユニット 202 の各センサは、センサユニット 202 の他のセンサとは独立して移動または走査されるように構成され得る。

【0050】

ある構成例では、1 つ以上のレーダスキャナ（例えば、第 1 および第 2 のレーダユニット 208、210）が、電波反射物体があるかどうか、車両 200 の背面付近の環境を能動的に走査するように、車両 200 の後部付近に位置し得る。同様に、第 1 の L I D A R／レーダユニット 212 および第 2 の L I D A R／レーダユニット 214 が、車両 200 の正面付近の環境を能動的に走査するように、車両 200 の正面付近に取り付けられ得る。レーダスキャナは、例えば、車両 200 の他の特徴によって塞がれることなく、車両 200 の前進路を含む領域を照らすのに好適な場所に位置付けられ得る。例えば、レーダスキャナは、フロントバンパ、フロントヘッドライト、カウル、および／またはボンネットなどに埋め込まれ、かつ／またはそれかその近くに取り付けられ得る。また、1 つ以上の追加のレーダ走査デバイスが、リアバンパ、サイドパネル、ロッカーパネル、および／または車台などに、またはその近くにこのようなデバイスを含むことなどによって、電波反射物体があるかどうか、車両 200 の側面および／または後部を能動的に走査するように位置し得る。

【0051】

図 2 A ～ 2 E には示されていないが、車両 200 は、無線通信システムを含み得る。無線通信システムは、車両 200 の外部または内部のデバイスと通信するように構成され得る無線送信機および無線受信機を含み得る。具体的には、無線通信システムは、例えば、車両通信システムまたは道路ステーションにおいて、他の車両および／またはコンピューティングデバイスと通信するように構成されたトランシーバを含み得る。このような車両通信システムの例には、D S R C、無線周波数識別（R F I D）、およびインテリジェントトランスポートシステム向けに提案された他の通信規格が含まれる。

【0052】

車両 200 は、場合によっては、センサユニット 202 内側の場所にカメラを含み得る。カメラは、車両 200 の環境の複数の画像を捕捉するように構成されている、スチルカメラ、ビデオカメラなどの感光性機器であり得る。この目的のために、カメラは、可視光を検出するように構成され得、追加としてまたは代替として、赤外光または紫外光など、電磁スペクトルの他の部分からの光を検出するように構成され得る。カメラは、二次元検出器であり得、必要に応じて、感度の三次元空間範囲を有し得る。

【0053】

実施形態によっては、カメラは、例えば、カメラから環境内のいくつかの点までの距離を示す二次元画像を生成するように構成された範囲検出器を含み得る。この目的のために、カメラは、1 つ以上の範囲検出技法を使用し得る。例えば、カメラは、構造化光技法を使用することによって範囲情報を提供することができ、この構造化光技法では、車両 200 が、格子またはチェッカーボードパターンなどの所定の光パターンで環境内の物体を照らし、またカメラを使用して、環境周囲からの所定の光パターンの反射を検出する。反射

光パターンの歪みに基づいて、車両 200 は、物体上の点までの距離を決定し得る。

【0054】

所定の光パターンは、赤外光、またはそのような測定に好適な他の波長の放射線で構成され得る。例によっては、カメラは、車両 200 のフロントガラスの内側に取り付けられ得る。具体的には、カメラは、車両 200 の向きに対して前方視から画像を捕捉するように位置付けられ得る。カメラの他の取り付け場所および視野角もまた、車両 200 の内側または外側のいずれかで使用され得る。また、カメラは、調整可能な視野を提供するように動作可能な関連する光学素子を有し得る。さらにまた、カメラは、パン／チルト機構を介してなど、カメラの指向角を変えるように、可動マウントを用いて車両 200 に取り付けられ得る。

10

【0055】

車両 200 の制御システムは、多数の考えられ得る制御戦略の中からのある制御戦略に従って車両 200 を制御するように構成され得る。制御システムは、車両 200 に結合されたセンサから情報（車両 200 のオンまたはオフ）を受信し、その情報に基づいて制御戦略（および関連する運転挙動）を修正し、修正した制御戦略に従って車両 200 を制御するように構成され得る。制御システムは、センサから受信した情報をモニタし、運転状態を絶えず評価するようにさらに構成され得、また、運転状態の変化に基づいて制御戦略および運転挙動を修正するように構成され得る。

【0056】

図 3 は、実施形態例による、車両に関係している様々なコンピューティングシステム間の無線通信を示す。具体的には、無線通信は、ネットワーク 304 を介して、リモートコンピューティングシステム 302 と車両 200 との間で行われ得る。無線通信は、サーバコンピューティングシステム 306 とリモートコンピューティングシステム 302 との間、またサーバコンピューティングシステム 306 と車両 200 との間でも行われ得る。

20

【0057】

リモートコンピューティングシステム 302 は、本明細書に記載のものを含むがこれに限定されない、リモートアシスタンス技法に関係する任意のタイプのデバイスを表し得る。例の中で、リモートコンピューティングシステム 302 は、(i) 車両 200 に関する情報を受信し、(i i) それを通して、次に人間のオペレータが情報に気づき、情報に関係する応答を入力することができる、インターフェースを提供し、(i i i) 応答を車両 200 に、または他のデバイスに送信する、ように構成された任意のタイプのデバイスを表し得る。リモートコンピューティングシステム 302 は、ワークステーション、デスクトップコンピュータ、ラップトップ、タブレット、携帯電話（例えば、スマートフォン）、および／またはサーバなどの、様々な形態を取り得る。例によっては、リモートコンピューティングシステム 302 は、ネットワーク構成で一緒に動作する多数のコンピューティングデバイスを含み得る。

30

【0058】

リモートコンピューティングシステム 302 は、車両 100 または車両 200 のサブシステムおよび構成要素と同様か同一である 1 つ以上のサブシステムおよび構成要素を含み得る。少なくとも、リモートコンピューティングシステム 302 は、本明細書に記載の様々な動作を行うように構成されたプロセッサを含み得る。実施形態によっては、リモートコンピューティングシステム 302 は、タッチスクリーンおよびスピーカなどの入力／出力デバイスを含むユーザインターフェースも含み得る。他の例も考えられ得る。

40

【0059】

ネットワーク 304 は、リモートコンピューティングシステム 302 と車両 200 との間の無線通信を可能にするインフラストラクチャを表す。ネットワーク 304 はまた、サーバコンピューティングシステム 306 とリモートコンピューティングシステム 302 との間、またサーバコンピューティングシステム 306 と車両 200 との間の無線通信を可能にする。

【0060】

50

リモートコンピューティングシステム 302 の位置は、例の範囲内で変わることができる。例えば、リモートコンピューティングシステム 302 は、ネットワーク 304 を介した無線通信を有する車両 200 から遠隔位置を有し得る。別の例では、リモートコンピューティングシステム 302 は、車両 200 とは別個であるが、人間のオペレータが車両 200 の乗客または運転者と相互作用することができる車両 200 内のコンピューティングデバイスに対応し得る。例によっては、リモートコンピューティングシステム 302 は、車両 200 の乗客によって操作可能なタッチスクリーンを備えるコンピューティングデバイスであってもよい。

【0061】

実施形態によっては、リモートコンピューティングシステム 302 によって行われる本明細書で説明される動作は、追加的に、または代替的に、車両 200 によって（すなわち、車両 200 の任意のシステムまたはサブシステムによって）行われ得る。言い換えれば、車両 200 は、車両の運転者または乗客が相互作用することができるリモートアシスタンス機構を提供するように構成され得る。

【0062】

サーバコンピューティングシステム 306 は、ネットワーク 304 を介してリモートコンピューティングシステム 302 および車両 200 と（または、場合によっては、リモートコンピューティングシステム 302 および／もしくは車両 200 と直接）無線通信するように構成され得る。サーバコンピューティングシステム 306 は、車両 200 およびそのリモートアシスタンスに関する情報を受信し、格納し、判断し、かつ／または送信するように構成された任意のコンピューティングデバイスを表し得る。このように、サーバコンピューティングシステム 306 は、リモートコンピューティングシステム 302 および／または車両 200 によって行われるものとして本明細書で説明される任意の動作またはそのような動作の部分を行うように構成され得る。リモートアシスタンスに関連する無線通信の一部の実施形態では、サーバコンピューティングシステム 306 を利用することができるが、他の実施形態では利用することができない。

【0063】

サーバコンピューティングシステム 306 は、本明細書に記載の様々な動作を行うように構成されたプロセッサ、ならびにリモートコンピューティングシステム 302 および車両 200 から情報を受信し、それらに情報を提供するための無線通信インターフェースなどの、リモートコンピューティングシステム 302 および／または車両 200 のサブシステムおよび構成要素と同様または同一の 1 つ以上のサブシステムおよび構成要素を含み得る。

【0064】

上の記述に沿えば、コンピューティングシステム（例えば、リモートコンピューティングシステム 302、サーバコンピューティングシステム 306、または車両 200 にローカルなコンピューティングシステム）は、カメラを使用して自律車両の環境の画像を捕捉するように働くことができる。一般に、少なくとも 1 つのコンピューティングシステムが画像を分析することができ、場合によっては自律車両を制御する。

【0065】

実施形態によっては、自律動作を容易にするために、車両（例えば、車両 200）は、車両が動作する環境内の物体を表すデータ（本明細書では「環境データ」とも称される）を様々な方法で受信し得る。車両のセンサシステムは、環境の物体を表す環境データを提供し得る。例えば、車両は、カメラ、レーダユニット、レーザ距離計、マイクロフォン、ラジオユニット、および他のセンサを含む様々なセンサを有し得る。これらのセンサの各々は、各それぞれのセンサが受信する情報に関する環境データを車両内のプロセッサに伝え得る。

【0066】

自律モードで動作している間、車両はほとんどまたはまったく人間の入力なしでその動作を制御し得る。例えば、人間のオペレータが住所を車両に入力すると、車両は、人間か

10

20

30

40

50

らのさらなる入力なしに（例えば、人間がブレーキ／アクセルペダルを操縦したり触れたりする必要がなく）、指定された目的地まで運転することができ得る。さらに、車両が自律的に動作している間、センサシステムは環境データを受信していてもよい。車両の処理システムは、様々なセンサから受信した環境データに基づいて車両の制御を変更し得る。例によっては、車両は、様々なセンサからの環境データに応答して、車両の速度を変え得る。車両は、障害物を回避する、交通法に従う、などのために速度を変え得る。車両内の処理システムが車両の近くの物体を識別すると、車両は、速度を変更するか、または別の方法で動きを変えることが可能であり得る。

【0067】

車両が物体を検出したが、このような物体の検出にそれほど自信がない場合、車両は、人間のオペレータ（またはより強力なコンピュータ）に、（i）事実、物体が環境内にあるかどうか（例えば、実際に一時停止標識があるかどうか、または実際には一時停止標識が何もないかどうか）を確認すること、（i i）車両の物体の識別が正しいかどうかを確認すること、（i i i）識別が間違っていた場合に識別を訂正すること、および／または（i v）自律車両に補足的な指示を与える（またはその時の指示を修正する）こと、などの1つ以上のリモートアシスタンスタスクを行うように要求することができる。リモートアシスタンスタスクにはまた、人間のオペレータが車両の動作を制御するための命令を提供する（例えば、人間のオペレータが、物体は一時停止標識であると判断した場合、一時停止標識で停止するよう車両に命令する）ことが含まれ得るが、場合によっては、物体の識別に関わる人間のオペレータのフィードバックに基づいて、車両自体が自らの動作を制御することがある。

【0068】

これを容易にするために、車両は、環境の物体を表す環境データを分析して、閾値未満の検出信頼度を有する少なくとも1つの物体を決定し得る。車両のプロセッサは、様々なセンサからの環境データに基づいて環境の様々な物体を検出するように構成され得る。例えば、一実施形態では、プロセッサは、車両が認識するのに重要であり得る物体を検出するように構成され得る。このような物体には、歩行者、道路標識、他の車両、他の車両のインジケータ信号、および捕捉された環境データで検出された他の様々な物体が含まれ得る。

【0069】

検出信頼度は、決定された物体が環境内で正しく識別されている、または環境内に存在している可能性を示し得る。例えば、プロセッサは、受信した環境データにおける画像データ内の物体の物体検出を行い、閾値を超える検出信頼度を有する物体を識別することができないことに基づいて、少なくとも1つの物体が閾値を下回る検出信頼度を有すると判断し得る。物体の物体検出または物体認識の結果が決定的でない場合、検出信頼度が低い、または設定閾値を下回っている可能性がある。

【0070】

車両は、環境データのソースに応じて、様々な方法で環境の物体を検出し得る。実施形態によっては、環境データは、カメラから来て、画像またはビデオデータであり得る。他の実施形態では、環境データは、L I D A Rユニットから来る場合がある。車両は、捕捉された画像またはビデオデータを分析して、画像またはビデオデータ内の物体を識別し得る。方法および装置は、環境の物体があるかどうか、画像および／またはビデオデータをモニタするように構成され得る。他の実施形態では、環境データは、レーダ、オーディオ、または他のデータであり得る。車両は、レーダ、オーディオ、または他のデータに基づいて環境の物体を識別するように構成され得る。

【0071】

I I I . 機械学習システム例

図4は、実施形態例による、訓練済み機械学習モデル432の学習フェーズ402および推論フェーズ404を示すシステム400を示す。一部の機械学習技法は、訓練データのパターンを認識し、訓練データ（のパターン）に関する出力推論および／または予測を

提供するように、訓練データの入力セットにおいて、1つ以上の機械学習システムを訓練することを含む。結果として得られる訓練済み機械学習モデルは、訓練済み機械学習システムまたは訓練済み機械学習モデルと呼ばれることがある。例えば、図4は、学習フェーズ402を示し、この学習フェーズ402では、1つ以上の機械学習システム420が、1つ以上の訓練済み機械学習モデル432になるように、訓練データ410において訓練される。次に、推論フェーズ404時に、訓練済み機械学習モデル432は、入力データ430および1つ以上の推論／予測要求440（おそらく、入力データ430の一部としての）を受信し、それに応じて、1つ以上の推論および／または予測450を出力として提供することができる。

【0072】

機械学習システム420には、人工ニューラルネットワーク（例えば、本明細書に記載のセグメンテーション技法を使用する本明細書に記載の畳み込みニューラルネットワーク、リカレントニューラルネットワーク）、ベイジアンネットワーク、隠れマルコフモデル、マルコフ決定過程、ロジスティック回帰関数、サポートベクトルマシン、適切な統計的機械学習アルゴリズム、および／またはヒューリスティック機械学習システムが含まれるが、これらに限定されるわけではない。学習フェーズ402の間、機械学習システム420は、以下に限定されるわけではないが、教師なし、教師あり、半教師あり、強化学習、転移学習、増分学習、および／またはカリキュラム学習の技法などの訓練技法を使用して、訓練入力として少なくとも訓練データ410を提供することによって訓練され得る。

【0073】

教師なし学習は、訓練データ410の一部分（またはすべて）を機械学習システム420に提供することを含む。それにより、機械学習システム420は、訓練データ410の提供された一部分（またはすべて）に基づいて、1つ以上の出力推論を決定することができる。教師あり学習は、訓練データ410の一部分を機械学習システム420に提供することを含み得、機械学習システム420は、訓練データ410の提供された一部分に基づいて1つ以上の出力推論を決定し、出力推論が、訓練データ410に関連する正しい結果に基づき、受け入れられるかまたは訂正される。例によっては、機械学習システム420の教師あり学習は、訓練入力では、規則のセットおよび／またはラベルのセットによって統制され得、規則のセットおよび／またはラベルのセットを使用して、機械学習システム420の推論を訂正することができる。

【0074】

半教師あり学習は、訓練データ410の必ずしもすべてではなく、一部について正しい結果（例えば、部分的にラベル付けされたデータ）を得ることを含み得る。半教師あり学習時、正しい結果を有する訓練データ410の一部分に教師あり学習が使用され、正しい結果が得られなかった訓練データ410の一部分に教師なし学習が使用される。

【0075】

強化学習は、機械学習システム420が前の推論に関する報酬信号を受信することを含み、報酬信号は、数値であり得る。強化学習時、機械学習システム420は、推論を出力し、それに応答して報酬信号を受信することができ、機械学習システム420は、報酬信号の数値を最大化しようとするように構成される。例によっては、強化学習はまた、経時で報酬信号によって提供される数値の予想合計を表す数値を提供する値関数を利用する。

【0076】

転移学習技法は、訓練済み機械学習モデル432が1つのデータセット上で事前訓練され、訓練データ410を使用してさらに訓練されることを含み得る。より具体的には、機械学習システム420は、1つ以上のコンピューティングデバイスからのデータ上で事前訓練され得、結果として生じる訓練済み機械学習モデルがコンピューティングデバイスCD1に提供され、CD1は、推論フェーズ404時に訓練済み機械学習モデルを実行するように意図されたものである。次に、学習フェーズ402時、事前訓練済み機械学習モデルが訓練データ410を使用してさらに訓練され得、この場合、訓練データ410は、コンピューティングデバイスCD1のカーネルデータおよび非カーネルデータから導出され

10

20

30

40

50

得る。C D 1 のデータの訓練データ 4 1 0 を使用した、機械学習システム 4 2 0 および／または事前訓練済みの訓練済み機械学習モデルのこのさらなる訓練は、教師あり学習または教師なし学習のいずれかを使用して行われ得る。機械学習システム 4 2 0 および／または事前訓練済み機械学習モデルが少なくとも訓練データ 4 1 0 上で訓練されると、学習フェーズ 4 0 2 を完了することができる。訓練された結果生じた機械学習モデルは、訓練済み機械学習モデル 4 3 2 のうちの少なくとも 1 つとして利用され得る。

【0077】

増分学習技法は、訓練済み機械学習モデル 4 3 2（およびおそらく機械学習システム 4 2 0）に、訓練済み機械学習モデル 4 3 2 の知識を絶えず広げるために使用される入力データを提供することを含み得る。カリキュラム学習技法は、機械学習システム 4 2 0 に、例えば学校での学習カリキュラムまたは学習コースと同様に、最初に比較的簡単な訓練例を提供し、徐々により難しい訓練例に進んでいくなど、特定の順番で配置された訓練データを提供することを含み得る。機械学習システム 4 2 0 および／または訓練済み機械学習モデル 4 3 2 を訓練するのに、他の技法も考えられ得る。

【0078】

例によっては、学習フェーズ 4 0 2 が完了したが、推論フェーズ 4 0 4 が始まる前に、訓練済み機械学習モデル 4 3 2 が、訓練済み機械学習モデル 4 3 2 がまだ常駐していないコンピューティングデバイス C D 1 に提供され得、例えば、学習フェーズ 4 0 2 が完了した後、訓練済み機械学習モデル 4 3 2 がコンピューティングデバイス C D 1 にダウンロードされ得る。

【0079】

例えば、訓練済み機械学習モデル 4 3 2 を格納するコンピューティングデバイス C D 2 が、訓練済み機械学習モデル 4 3 2 のコピーをコンピューティングデバイス C D 1 に伝えること、コンピューティングデバイス C D 1 用に訓練済み機械学習モデル 4 3 2 のコピーを作ること、訓練済み機械学習モデル 4 3 2 へのアクセスをコンピューティングデバイス C D 1 に提供すること、および／またはそうでなければ訓練済み機械学習システムをコンピューティングデバイス C D 1 に提供すること、のうちの 1 つ以上によって、訓練済み機械学習モデル 4 3 2 をコンピューティングデバイス C D 1 に提供することができる。例によっては、訓練済み機械学習モデル 4 3 2 は、コンピューティングデバイス C D 2 によって提供された直後に、コンピューティングデバイス C D 1 によって使用され得る。例によっては、訓練済み機械学習モデル 4 3 2 がコンピューティングデバイス C D 1 に提供された後、訓練済み機械学習モデル 4 3 2 は、訓練済み機械学習モデル 4 3 2 がコンピューティングデバイス C D 1 によって使用され得る前に、インストールされ、かつ／またはそうでなければ使用に向けて準備され得る。

【0080】

推論フェーズ 4 0 4 時、訓練済み機械学習モデル 4 3 2 は、入力データ 4 3 0 を受信し、入力データ 4 3 0 について、対応する推論および／または予測 4 5 0 を生成し、出力することができる。このように、入力データ 4 3 0 は、対応する推論および／または予測 4 5 0 をカーネル構成要素および非カーネル構成要素に提供するのに、訓練済み機械学習モデル 4 3 2 への入力として使用され得る。例えば、訓練済み機械学習モデル 4 3 2 は、推論／予測要求 4 4 0 に応答して、推論および／または予測 4 5 0 を生成することができる。例によっては、訓練済み機械学習モデル 4 3 2 は、他のソフトウェアの一部分によって実行され得る。例えば、訓練済み機械学習モデル 4 3 2 は、要求に応じて推論および／または予測を提供するのにすぐに使用可能となるように、推論または予測デモンによって実行され得る。入力データ 4 3 0 には、訓練済み機械学習モデル 4 3 2 を実行するコンピューティングデバイス C D 1 からのデータ、および／または C D 1 以外の 1 つ以上のコンピューティングデバイスからの入力データが含まれ得る。

【0081】

例によっては、入力データ 4 3 0 には、車両 1 0 0／2 0 0 が動作する環境からのデータが含まれ得る。上記のように、車両 1 0 0／2 0 0 は、カメラ、レーダユニット、レー

10

20

30

40

50

ザ距離計、マイクロフォン、ラジオユニット、および他のセンサを含む様々なセンサを有し得る。これらのセンサのそれぞれは、訓練済み機械学習モデル432への入力として、この環境データを伝えることができる。なお、他のタイプの入力データも考えられ得る。

【0082】

推論および／または予測450には、出力画像、熱マップ、深度マップ、数値、および／または入力データ430（および訓練データ410）上で動作する訓練済み機械学習モデル432によってもたらされた他の出力データが含まれ得る。例によっては、訓練済み機械学習モデル432は、入力フィードバック460として出力推論および／または予測450を使用することができる。訓練済み機械学習モデル432は、新しい推論を生成するための入力として過去の推論を利用することもできる。

10

【0083】

例によっては、機械学習システム420および／または訓練済み機械学習モデル432は、1つ以上のコンピュータプロセッサおよび／またはオンデバイスコプロセッサを使用して実行され得、かつ／または加速され得る。オンデバイスコプロセッサには、1つ以上のグラフィックプロセッシングユニット（GPU）、1つ以上のテンソルプロセッシングユニット（TPU）、1つ以上のデジタルシグナルプロセッサ（DSP）、および／または1つ以上の特定用途向け集積回路（ASIC）が含まれ得るが、これらに限定されるわけではない。このようなオンデバイスコプロセッサは、機械学習システム420の訓練、ならびに／または訓練済み機械学習モデル432による推論および／もしくは予測450の生成をスピードアップすることができる。例によっては、訓練済み機械学習モデル432は、特定のコンピューティングデバイス上で推論および／または予測450を提供するように訓練され、常駐し、それを実行することができ、かつ／またはそうでなければ特定のコンピューティングデバイスに対し推論を行うことができる。

20

【0084】

例によっては、1つのコンピューティングデバイスCD__SOLOは、おそらくコンピューティングデバイスCD__SOLO上で機械学習システム420の訓練を行った後、訓練済み学習モデル432を含み得る。それにより、コンピューティングデバイスCD__SOLOは、推論および／または予測450を提供するよう求める推論／予測要求440を受信することができ、入力データ430上で動作する訓練済み機械学習モデル432を使用して、それに応じて推論および／または予測450を提供することができ、この場合、推論および／または予測450は、1つ以上の電子通信として、1つ以上の印刷された文書として、など、ユーザインターフェースおよび／またはディスプレイを使用して提供され得る。

30

【0085】

例によっては、2つ以上のコンピューティングデバイスCD__CLIおよびCD__SRVを使用して、推論および／または予測450を提供することができる。例えば、第1のコンピューティングデバイスCD__CLIは、推論／予測要求440を生成し、第2のコンピューティングデバイスCD__SRVに送信することができる。CD__CLIから推論／予測要求440を受信すると、CD__SRVは、おそらく機械学習システム420の訓練を行った後、訓練済み機械学習モデル432を使用して、入力データ430上で動作し、それに応じて推論および／または予測450を決定することができる。推論および／または予測450を決定した後、CD__SRVは、CD__CLIに推論および／または予測450を提供することによって、CD__CLIからの要求に応える。

40

【0086】

なお、上記の例では、CD1、CD2、CD__SOLO、CD__CLI、およびCD__SRVは、車両100または別の同様の車両の形態を取り得る。

【0087】

上で述べたように、車両100は、様々な方法でその周囲環境内の物体を検出することができる。実施形態によっては、車両100は、サーマルイメージングシステムを使用して、車両100の近くの標的物体によって反射される電磁信号（例えば、近赤外光）を能

50

動的に送信することができる。サーマルイメージングシステムは、検出器要素を使用して、反射電磁信号を捕捉することができる。他の実施形態では、サーマルイメージングシステムは、車両100の近くの標的物体から熱として発せられる赤外線放射（例えば、中赤外光または遠赤外光）を受動的に捕捉し得る。捕捉された反射電磁信号および／または捕捉された赤外線放射は、車両100がサーモグラフィ技法を使用して、その周囲環境内の物体を分類することを可能にし得る（例えば、物体間の温度のバラツキに基づいて、生物または無生物として物体を分類する）。

【0088】

それでも、車両100が物体を正確に分類する能力は、その周囲環境における日ごとの／季節的なバラツキによって制限される可能性がある。日光の量、環境内の周囲温度などの要因により、捕捉された反射電磁信号または捕捉された赤外線放射にノイズが入る可能性がある。また、サーモグラフィが、通常、物体とその背景環境との温度コントラストを使用するため、周囲環境の変化により、物体を正しく見分けるのにサーモグラフィを適用することが難しくなる場合がある。一例として、生物は、日中よりも夜間に、周囲環境とは異なる熱コントラストを有する可能性がある。

【0089】

一部のソリューションは、周囲環境内の温度を推定するラジオメトリック較正式カメラを介して、これらのバラツキを正規化しようとする。すなわち、このラジオメトリック較正式カメラは、周囲環境にわたって標準放射率値を使用するように構成され得る。ただし、標準放射率を使用すると、サーモグラフィ技法の精度が下がる可能性がある。例えば、アスファルトの放射率は、草とは大きく異なるため、これらの物質の両方に標準放射率を設定すると、物体分類が不正確になる可能性がある。

【0090】

これらおよび他の問題に対処するために、本実施形態は、車両を取り囲む環境属性に基づいて、1つ以上の前の熱マップを生成するように訓練され得る機械学習システムを提供する。これらの前の熱マップを使用して、車両を取り囲む環境における熱のバラツキが正規化され得る。また、本明細書に記載の機械学習システムは、可視・近赤外反射率、2色赤外線放射、および／またはLIDARデータを利用して、環境内の様々な要素の固有放射率を予測し、それによってこのような環境内の物体の分類を向上させることができる。他の利点も考えられ得る。

【0091】

図5は、実施形態例による、車両100が通過している環境内の物体を分類するように構成され得るシステム例500を示す。システム500は、環境センサ510、赤外線モジュール520、LIDAR／可視モジュール530、熱機械学習（ML）モデル540、放射率MLモデル550、正規化モジュール560、投影モジュール570、および分類機械学習MLモデル580を含むように示される。

【0092】

環境センサ510は、車両100を取り囲むその時の環境に関連する物理的性質を確認するように構成され得る。この物理的性質には、周囲環境の周囲特性／背景特性を表す性質が含まれ得る。環境センサ510は、それに応じて、車両100を取り囲むその時の環境を表す信号である環境属性512を生成することができる。

【0093】

赤外線モジュール520は、車両100が通過している環境に対応する赤外線画像522を生成するように構成され得る。実施形態によっては、赤外線モジュール520は、環境内のそれぞれの点から反射される近赤外光パルスを能動的に放つ。これらの反射パルス（すなわち、戻りパルス）の強度は、赤外線モジュール520によって測定され得、赤外線画像522として捕捉され得る。実施形態によっては、赤外線モジュール520は、車両100の近くの標的物体から熱として発せられる赤外線放射（例えば、中赤外線放射または遠赤外線放射）を受動的に測定する可能性がある。測定された赤外線放射の強度は、赤外線画像522として捕捉され得る。実施形態によっては、赤外線画像522は、環境

から複数の異なる時点で捕捉された複数の異なる画像を表す。

【0094】

L I D A R / 可視モジュール 530 は、車両 100 が通過している環境から L I D A R データ / 可視光データを生成するように構成され得る。実施形態によっては、L I D A R / 可視モジュール 530 は、レーザ距離計 / L I D A R ユニット 128 を利用して、車両 100 の近くの様々な物体によって反射される近赤外スペクトル（例えば、905 nm または 1550 nm）の電磁信号を送信することができる。実施形態によっては、L I D A R / 可視モジュール 530 は、カメラ 130 を利用して、車両 100 の近くの様々な物体によって反射される可視光スペクトル（例えば、380 nm ~ 740 nm）の電磁信号を送信することができる。L I D A R / 可視モジュール 530 は、反射電磁信号を捕捉することができ、それに反応して、電磁信号を反射した物体について様々な決定を行うことができる。例えば、L I D A R / 可視モジュール 530 は、反射電磁信号の放射エネルギーに基づいて、電磁信号を反射した物体の反射率を決定することができる。したがって、L I D A R / 可視データ 532 は、環境から L I D A R / 可視モジュール 530 によって捕捉された反射電磁信号の放射エネルギーを表し得る。

10

【0095】

熱 M L モデル 540 は、プロセッサ（例えば、プロセッサ 113）によって実行可能なソフトウェア命令として、プログラム可能な回路機構（例えば、フィールドプログラマブルゲートアレイ（FPGA））として、専用の回路機構（例えば、特定用途向け集積回路（ASIC））として、またはそれらの組み合わせとして、実装され得る。熱 M L モデル 540 は、環境センサ 510 に通信可能に接続され得る。動作時、熱 M L モデル 540 は、環境センサ 510 から環境属性 512 を受信することができ、前の熱マップ 542 を生成するように、環境属性 512 を処理することができる。前の熱マップ 542 は、環境属性 512 と同様の物理的性質下で捕捉された熱マップ（例えば、3-D または 2-D）に対応し得る。

20

【0096】

車両 100 は、1つ以上の前の熱マップ 542 を使用して、赤外線画像 522 における熱のバラツキを正規化することができる。例えば、赤外線モジュール 520 が車両 100 を取り囲む環境を表す赤外線画像 522 を生成すると、熱 M L モデル 540 も、それに反応して、環境センサ 510 から受信した環境属性 512 を使用して、前の熱マップ 542 を生成することができる。それにより、赤外線画像 522 および前の熱マップ 542 の両方が、プロセッサ（例えば、プロセッサ 113）によって実行可能なソフトウェア命令として実装され得る、正規化モジュール 560 に送信され得る。正規化モジュール 560 は、赤外線画像 522 から前の熱マップ 542 を差し引いて、正規化マップ 562 を作り出すことができる。ここでの考えは、正規化モジュール 560 が赤外線画像 522 の熱ノイズ / 熱背景を取り除くので、結果として生じる正規化マップ 562 により、物体がその周囲環境からのより高いコントラストを呈することが可能になり、それがこれらの物体を分類する能力を高めるということである。実施形態によっては、多数の前の熱マップ 542 が使用される場合、正規化モジュール 560 は、正規化を行う前に、多数の熱マップのそれぞれの値を平均化するか、そうでなければ重み付けすることができる。実施形態によっては、正規化モジュール 560 はまた、事前定義された物体タイプ（例えば、生物）を含む前の熱マップ 542 内の範囲を編集するか、またはそうでなければ取り除くように働くことができる。

30

40

【0097】

放射率 M L モデル 550 は、プロセッサ（例えば、プロセッサ 113）によって実行可能なソフトウェア命令として実装され得る。放射率 M L モデル 550 は、L I D A R / 可視モジュール 530 に通信可能に接続され得る。動作時、放射率 M L モデル 550 は、L I D A R / 可視モジュール 530 から L I D A R / 可視データ 532 を受信し、放射率マップ 552 を生成するように、L I D A R / 可視データ 532 を処理することができる。例では、放射率マップ 552 内の各点（例えば、画素）は、対応する放射率値でラベル付

50

けされ得る。したがって、放射率マップ 552 を使用して、車両 100 を取り囲む環境内の様々な物体の固有放射率を予測することができる。

【0098】

投影モジュール 570 は、プロセッサ（例えば、プロセッサ 113）によって実行可能なソフトウェア命令として実装され得る。投影モジュール 570 は、正規化マップ 562 および放射率マップ 552 の両方を入力として取り入れることができる。それにより、投影モジュール 570 は、放射率マップ 552 の座標と正規化マップ 562 の座標とを一致させることができ、放射率マップ 552 からの放射率値を正規化マップ 562 に投影することができる。それにより、結果としてもたらされる投影マップ 572 は、正規化マップ 562 内の各点の放射率値を含むようになる。

10

【0099】

実施形態によっては、投影モジュール 570 は、放射率マップ 552 と正規化マップ 562 とを組み合わせて、温度マップを生成することができる。言い換えれば、投影マップ 572 は、車両 100 を取り囲む環境の温度マップの形態を取り得る。これを行うために、投影モジュール 570 は、放射率マップ 552 を使用して、環境内の様々な物体の放射率値を決定することができる。それにより、投影モジュール 570 は、正規化マップ 562 によって捕捉されるのに従って、物体の決定された放射率値および物体の赤外線放射を使用することによって、各物体の接触温度を計算することができる。

【0100】

実施形態によっては、システム 500 が、2 色比温度測定を介して温度マップを直接決定することができる。例えば、赤外線モジュール 520 は、様々なスペクトル波長帯（例えば、中波長赤外線（3～5 μm ）および長波長赤外線（7～14 μm ））で働く赤外光エミッタデバイスおよび／または受光素子／カメラを含み得る。結果として、温度マップは、様々な波長帯のそれぞれのスペクトル強度情報間の比率を計算することによって、コンピュータ計算され得る。

20

【0101】

分類 ML モデル 580 は、プロセッサ（例えば、プロセッサ 113）によって実行可能なソフトウェア命令として実装され得る。分類 ML モデル 580 は、投影モジュール 570 に通信可能に接続され得る。動作時、分類 ML モデル 580 は、投影モジュール 570 から投影マップ 572 を受信することができ、投影マップ 572 内で物体を分類するように、投影マップ 572 を処理することができる。例では、分類 ML モデル 580 は、生物、交通信号および交通標識、道路、草木、および他の環境特徴を識別するように構成され得、他の環境特徴には、郵便ポスト、ベンチ、ゴミ箱、歩道、および／または車両 100 の動作にとって関心なものであり得る環境内の任意の他の物体などが含まれる。

30

【0102】

実施形態例では、分類 ML モデル 580 は、分類精度を高めるために、物体の時空間関連付けを行うことができる。例えば、分類 ML モデル 580 は、タイムスタンプ T-1 および T-2 で物体を分類するように働くことができる。この分類を行う際、分類 ML モデル 580 は、タイムスタンプ T-1 および T-2 で分類された物体の各々に識別子を割り当てるように構成され得る。それにより、タイムスタンプ T で物体を分類すると、分類 ML モデル 580 は、物体の識別子がタイムスタンプ T-1 および T-2 にあった場合、その物体の分類に高い信頼度を割り当てることができる。例えば、タイムスタンプ T-1 および T-2 において、「歩行者 A」が居た場合、分類 ML モデル 580 は、タイムスタンプ T における「歩行者 A」分類により高い信頼度を割り当てることができる。実施形態によっては、分類 ML モデル 580 は、タイムスタンプとカルマンフィルタからの不確実性情報との間で、物体の位置を考慮に入れて、マハラノビス距離を使用して、物体の時空間関連付けを行うことができる。

40

【0103】

実施形態例において、分類 ML モデル 580 は、畳み込みニューラルネットワーク（CNN）の形態を取り得る。場合によっては、この CNN は、デコーダネットワークに結合

50

されたエンコーダネットワークを使用して、セマンティックセグメンテーションアーキテクチャに従うことがある。例えば、分類MLモデル580は、U-Netの形態を取り得る。分類MLモデル580は、訓練済み機械学習モデル432の形態を取り得る。

【0104】

実施形態例において、分類MLモデル580は、信頼度閾値を有する物体を検出するように構成され得る。信頼度閾値は、検出される物体タイプに応じて異なり得る。例えば、別の車両のブレーキライトなど、素早い応答行動を要求する可能性がある物体では、信頼度閾値が低くなる可能性がある。しかしながら、他の実施形態では、検出されたすべての物体で、信頼度閾値が同じであり得る。

【0105】

検出された物体に付随する信頼度が信頼度閾値よりも高い場合、分類MLモデル580は、その物体が正しく認識されたと見なし、それに応じて、その前提に基づいて車両100の制御を調整し得る。

【0106】

検出された物体に付随する信頼度が信頼度閾値よりも低い場合、分類MLモデル580が講じる措置が、変わる可能性がある。実施形態によっては、分類MLモデル580は、低い信頼度水準にも関わらず、検出された物体が存在するかのようにより車両100に反応させることができる。他の実施形態では、分類MLモデル580は、検出された物体が存在しないかのようにより車両100に反応させることができる。実施形態によっては、物体が信頼度閾値を下回る信頼度を有するとして検出された場合、物体には予備識別が与えられ得、分類MLモデル580は、予備識別にตอบสนองして、車両100にその動作を調整させることができる。このような動作の調整は、数ある調整の中でも特に、停止、人間制御式（例えば、手動）動作モードへの切り替え、速度（例えば、速さおよび／または方向）の変更の形態を取り得る。

【0107】

実施形態によっては、物体が閾値を下回る検出信頼度を有するとの判断にตอบสนองして、分類MLモデル580は、リモートコンピューティングシステム302などのリモートコンピューティングシステムに、物体の識別とともにリモートアシスタンスの要求を送信し得る。追加として、かつ／または代替として、車両100がその周囲環境の視界が遮られている場合、かつ／または環境センサ510、赤外線モジュール520、もしくはLIDAR／可視モジュール530が誤作動している場合、車両100は、リモートコンピューティングシステムからのリモートアシスタンスを要求することができる。

【0108】

上述のように、リモートコンピューティングシステムは、様々な形態を取り得る。例えば、リモートコンピューティングシステムは、車両100とは別個である第2の車両内の第2のコンピューティングデバイスであり得る。リモートコンピューティングシステムは、車両100から閾値距離内（例えば、100mまたは1000m以内）にあり得、無線通信システム146またはネットワーク304を介して通信され得る。リモートコンピューティングシステムは、環境属性512、赤外線画像522、LIDAR／可視データ532、前の熱マップ542、放射率マップ552、正規化マップ562、および／または投影マップ572などのデータを車両100に提供するように構成され得る。実施形態によっては、リモートコンピューティングシステムによって車両100に送信されるデータは、赤外線モジュール520が赤外線画像522を生成したときから閾値時間制限（例えば、1ミリ秒、1秒）内にリモートコンピューティングシステムによって決定され得る。

【0109】

他の実施形態では、分類MLモデル580が閾値を満たすかまたは超える信頼度を有する物体を検出した場合でも、分類MLモデル580は、車両100に、検出された物体に従って動作させ得る（例えば、物体が一時停止標識として高い信頼度で識別された場合に停止する）が、車両100が検出された物体に従って動作すると同時に（または後で）リモートアシスタンスを要求するように構成され得る。

10

20

30

40

50

【0110】

図6Aは、実施形態例による、熱MLモデル540の態様を示す。上の記述に沿えば、環境属性512は、入力データ430の形態を取り得、熱MLモデル540は、訓練済み機械学習モデル432の形態を取り得、前の熱マップ542は、推論および／または予測450の形態を取り得る。

【0111】

環境属性512は、車両100を取り囲むその時の環境に付随する物理的性質を表し得る。これらの物理的性質には、その時の環境の天候状態602、地球に対する車両100のその時の位置に関するGPS604（GPS122の形態を取り得る）情報、その時の環境のその時の周囲温度606、車両100に対する太陽のその時の太陽位置608、および車両100の下の道路のその時の路面温度610が含まれ得る。実施形態によっては、GPS604および時刻を使用して、太陽位置608を推定することができる（例えば、車両100は、日付および場所に基づいて太陽の位置を決定するように動作可能であり得る）。なお、他の環境属性512も考えられ得る。

【0112】

熱MLモデル540は、環境属性512をN次元ベクトルとして受信するように構成され得る。例えば、環境属性512は、N次元ベクトル空間の複数の値X1～XN（すなわち、X1、X2、X3、X4、X5、X6、X7、X8、X9、およびX10～XN）として熱MLモデル540に渡され得る。熱MLモデル540は、環境属性512と同様の物理的性質下で捕捉された1つ以上の前の熱マップを予測するように訓練され得る。前の熱マップは、前日の車両100によって、または前日の車両100と同じ環境で動作する別の車両によって捕捉され得る。熱MLモデル540は、（環境属性、熱マップ）のいくつかの（例えば、1000、10000）対で訓練され得、この場合、環境属性は、訓練特徴を表し、熱マップは、ラベルを表す。場合によっては、熱機械学習モデル514は、夜間（例えば、太陽位置608によって詳しく示されるような）に収集された（環境属性、熱マップ）の対のみで訓練され得る。

【0113】

実施形態例において、前の熱マップ542内のそれぞれの前の熱マップは、（i）環境属性512との前の熱マップの相関を示す確率値、および（ii）前の熱マップが捕捉された日付を示すタイムスタンプ、に関連付けられ得る。例によっては、車両100は、前の熱マップ542から最も相関の高い前の熱マップ（例えば、90%または80%を超える相関を有する任意の前の熱マップ）を利用することを決定することができる。他の例では、車両100は、過去N日間（例えば、7日間、14日間）に捕捉された十分に相関のある（例えば、70%を超える相関）すべての前の熱マップを利用することを決定することができる。前の熱マップを選択する他の方式も考えられ得る。他の相関値および／または相関閾値が、本開示の範囲内で可能であり、考えられていることが理解されるであろう。

【0114】

図6Bは、実施形態例による、放射率MLモデル550の態様を示す。上の記述に沿えば、LIDAR／可視データ532は、入力データ430の形態を取り得、放射率MLモデル550は、訓練済み機械学習モデル432の形態を取り得、放射率マップ552は、推論および／または予測450の形態を取り得る。図6Bに示されるように、LIDAR／可視データ532には、LIDARデータ612および可視光データ614が含まれ得る。

【0115】

上記のように、LIDARデータ612は、車両100を取り囲む環境から赤外スペクトルで捕捉された電磁信号の放射エネルギーを表し得る。例えば、レーザ距離計／LIDARユニット128は、（i）車両100の近くの様々な物体によって反射される近赤外スペクトルの電磁信号を送信し、（ii）物体から反射する電磁信号を捕捉するように、構成され得る。可視光データ614は、車両100を取り囲む環境からの可視光スペクト

ルで捕捉された電磁信号の放射エネルギーを表し得る。例えば、カメラ130は、(i)車両100の近くの様々な物体によって反射される可視光スペクトルの電磁信号を送信し、(ii)物体から反射する電磁信号を捕捉するように構成され得る。

【0116】

実施形態によっては、LIDARデータ612/可視光データ614は、データ内のパラメータとして、LIDARデータ612/可視光データ614を捕捉するのに使用される装置の指示方向をさらに含み得る。すなわち、装置(例えば、レーザ距離計/LIDARユニット128、カメラ130、または別の装置)は、車両100を取り囲む環境を、装置の360°範囲をカバーする指示方向の有限集合に離散化するように動作可能であり得る。物体の放射率は角度で決まる可能性があるため、指示方向を含めると、放射率MLモデル550によってなされる予測が向上する可能性がある。

10

【0117】

熱MLモデル540と同様に、放射率MLモデル550は、N次元ベクトルとして、LIDAR/可視データ532を受信するように構成され得る。例えば、LIDAR/可視データ532は、N次元ベクトル空間における複数の値 $X_1 \sim X_N$ (すなわち、 X_1 、 X_2 、 X_3 、 X_4 、 X_5 、 X_6 、 X_7 、 X_8 、 X_9 、および $X_{10} \sim X_N$)として放射率MLモデル550に渡され得る。LIDAR/可視データ532を受信した後、放射率MLモデル550は、LIDAR/可視データ532によって取り込まれた場面に対応する放射率マップ552を予測することができる。放射率MLモデル550は、(LIDAR/可視データ、放射率マップ)のいくつか(例えば、1000、10000)対で訓練され得、LIDAR/可視データは、訓練特徴を表し、放射率マップは、ラベルを表す。

20

【0118】

放射率MLモデル550は、2つのフェーズで働くことができる。第1のフェーズでは、放射率MLモデル550は、反射率と放射率との間の逆相関を使用して、LIDAR/可視データ532における放射エネルギー値を、車両100の周りの各物体の放射率値の予測スペクトル分布に変換することができる。第2のフェーズでは、放射率MLモデル550は、放射率値の予測スペクトル分布と最もよく相関する各物体の真の放射率スペクトルを予測することができる。真の放射率スペクトルを使用すると、放射率MLモデル550は、その波長を問わず各物体の放射率値を推測することができる。結果として、放射率MLモデル550は、これに応じて、赤外線モジュール520が動作するのと同じ波長に対応する各物体の放射率値を有する放射率マップ552を生成することができる。

30

【0119】

IV. 方法例

図7は、実施形態例による方法700を示す。方法700の動作は、車両100もしくは200のいずれか、サーバコンピューティングシステム306、リモートコンピューティングシステム302、またはシステム500で使用され得る。動作は、例えば、制御システム106、コンピュータシステム112、または動作を行うように構成されている回路機構によって行われ得る。

【0120】

ブロック710は、コンピューティングデバイスにおいて、環境の1つ以上の赤外線画像を受信することを含む。実施形態によっては、環境の1つ以上の赤外線画像を受信することは、有線または無線の通信リンクを介して、レーザ距離計/LIDAR 128、カメラ130、または赤外線モジュール520などの赤外線カメラから複数の赤外線画像を受信することを含み得る。

40

【0121】

ブロック720は、コンピューティングデバイスを使用して、環境内の識別された物体タイプを決定するように訓練済みの機械学習システムを1つ上の赤外線画像に適用することを含む。訓練済み機械学習システムを適用することは、環境に関連する1つ以上の前の熱マップを決定することを伴い得る。訓練済み機械学習システムを適用することは、1つ以上の前の熱マップおよび1つ以上の赤外線画像を使用して、環境に関連するその時の熱

50

マップを決定することをさらに伴い得る。訓練済み機械学習システムを適用することは、その時の熱マップに基づいて、識別された物体タイプを決定することも伴い得る。

【0122】

ブロック730は、コンピューティングデバイスを使用して、識別された物体タイプを提供することを含む。実施形態によっては、識別された物体タイプを提供することは、有線または無線の通信リンク経由で、識別された物体タイプを車両100/200に送信することを含む可能性がある。使用に向けて識別された物体タイプを提供する他の方法も可能であり、考えられる。

【0123】

実施形態によっては、識別された物体タイプは、生物である。例えば、生物は、歩行者、オートバイ乗り、自転車乗り、犬、または馬の形態を取り得る。

10

【0124】

実施形態によっては、1つ以上の前の熱マップを決定することは、コンピューティングデバイスに通信可能に結合された複数のセンサから、環境のその時の熱状態を受信し、その時の熱状態に基づいて、コンピューティングデバイスに格納された複数の前の熱マップから、1つ以上の前の熱マップを決定することを伴う。

【0125】

実施形態によっては、複数のセンサは、周囲温度センサ、GPSセンサ、および太陽のその時の位置を決定するように動作可能な太陽センサのうちの少なくとも1つから成る。

【0126】

20

実施形態によっては、コンピューティングデバイスは、走査型レーザシステムに組み込まれる。このような実施形態では、1つ以上の前の熱マップの各々は、走査型レーザシステムの角度に対応しており、1つ以上の前の熱マップを決定することは、走査型レーザシステムのその時の角度にさらに基づく。

【0127】

実施形態によっては、1つ以上の前の熱マップは、取り除かれた物体タイプに基づいて変更、編集、または削除された1つ以上の領域を含む。

【0128】

実施形態によっては、環境に関連するその時の熱マップを決定することは、1つ以上の前の熱マップに基づいて、1つ以上の赤外線画像の熱コントラストを較正することを伴う。

30

【0129】

実施形態によっては、LIDARシステムから受信したデータに基づいて、環境のその時の空間点群を決定することと、その時の空間点群を使用して、環境内の物体を識別することと、識別された物体の放射率値を計算することとであって、識別された物体タイプを決定することが計算された放射率値にさらに基づく、計算することと、をさらに伴う。

【0130】

実施形態によっては、その時の熱マップは、1つ以上の赤外線画像上に投影されたその時の空間点群を含む。

【0131】

40

実施形態によっては、カメラシステムからのデータに基づいてその時の可視光画像を決定することと、その時の可視光画像を使用して、環境内の物体を識別することと、識別された物体の放射率値を計算することとであって、識別された物体タイプを決定することが、計算された放射率値にさらに基づく、計算することと、をさらに含む。

【0132】

実施形態によっては、1つ以上の赤外線画像には、環境の時間的に連続する赤外線画像のセットが含まれる。このような実施形態では、1つ以上の赤外線画像に訓練済み機械学習システムを適用することが、1つ以上の赤外線画像間での識別された物体タイプの時空間関連付けを伴う。

【0133】

50

実施形態によっては、時空間関連付けは、環境内の識別された物体タイプである各物体に一意の識別子を割り当てることを含む。

【0134】

実施形態によっては、訓練済み機械学習システムは、畳み込みニューラルネットワークを備える。実施形態によっては、畳み込みニューラルネットワークは、符号化パスおよび復号パスを有するセグメント化ネットワークである。

【0135】

実施形態によっては、1つ以上の前の熱マップには、コンピューティングデバイスとは環境内の異なる場所に位置付けられた第2のコンピューティングデバイスによって決定される熱マップが含まれる。

【0136】

実施形態によっては、第2のコンピューティングデバイスによって決定される熱マップは、コンピューティングデバイスが1つ以上の赤外線画像を受信したときからの閾値時間制限内に決定される。

【0137】

図8は、実施形態例による方法800を示す。方法800の動作は、車両100もしくは200のいずれか、サーバコンピューティングシステム306、リモートコンピューティングシステム302、またはシステム500で使用され得る。動作は、例えば、制御システム106、コンピュータシステム112、または動作を行うように構成されている回路機構によって行われ得る。

【0138】

ブロック810は、コンピューティングデバイスにおいて、環境の1つ以上の赤外線画像を受信することを伴う。実施形態によっては、環境の1つ以上の赤外線画像を受信することは、有線または無線の通信リンクを介して、レーザ距離計/LIDAR 128、カメラ130、または赤外線モジュール520などの赤外線カメラから複数の赤外線画像を受信することを含み得る。

【0139】

ブロック820は、コンピューティングデバイスを使用して、環境内の識別された物体タイプを決定するように、機械学習システムを1つ以上の赤外線画像において訓練することを伴う。機械学習システムを訓練することは、環境に関連する1つ以上の前の熱マップを決定するように、機械学習システムを訓練することを伴い得る。機械学習システムを訓練することは、1つ以上の前の熱マップおよび1つ以上の赤外線画像を使用して、環境に関連するその時の熱マップを決定するように機械学習システムを訓練することをさらに伴い得る。機械学習システムを訓練することは、その時の熱マップを使用して識別された物体タイプを決定するように、機械学習システムを訓練することも伴い得る。

【0140】

ブロック830は、コンピューティングデバイスを使用して、訓練済み機械学習システムを提供することを伴う。実施形態によっては、訓練済み機械学習システムを提供することは、有線または無線の通信リンク経由で、訓練済み機械学習システムを車両100/200に送信することを含む可能性がある。使用に向けて訓練済み機械学習システムを提供する他の方法も可能であり、考えられている。

【0141】

実施形態によっては、1つ以上の赤外線画像には、スペクトル強度情報が複数のそれぞれのスペクトル波長帯に対応している状態の赤外線画像が含まれる。これらの実施形態では、環境に関連するその時の熱マップを決定するように機械学習システムを訓練することは、環境内の物体の放射率を計算するために、それぞれのスペクトル強度情報間の比率を計算することを含む。

【0142】

図に示されている特定の配置は、限定であるとみなされるべきではない。他の実施形態が、所与の図に示される各要素をより多く、またはより少なく含み得ることを理解された

10

20

30

40

50

い。また、図示の要素のうちのいくつかが、組み合わせられても、省かれてもよい。さらにまた、例示的な実施形態は、図に示されていない要素を含むことができる。

【0143】

情報の処理を表すステップまたはブロックは、本明細書に記載の方法または技法の特定の論理機能を果たすように構成され得る回路機構に対応し得る。代替的にまたは追加的に、情報の処理を表すステップまたはブロックは、モジュール、セグメント、物理コンピュータ（例えば、フィールドプログラマブルゲートアレイ（FPGA）もしくは特定用途向け集積回路（ASIC））、またはプログラムコードの一部分（関連データを含む）に対応することができる。プログラムコードは、特定の論理機能または論理動作を方法または技法において実装するための、プロセッサにより実行可能な1つ以上の命令を含み得る。プログラムコードおよび／または関連データは、ディスク、ハードドライブ、または他の記憶媒体を含む、記憶デバイスなどの任意のタイプのコンピュータ可読媒体に格納され得る。

10

【0144】

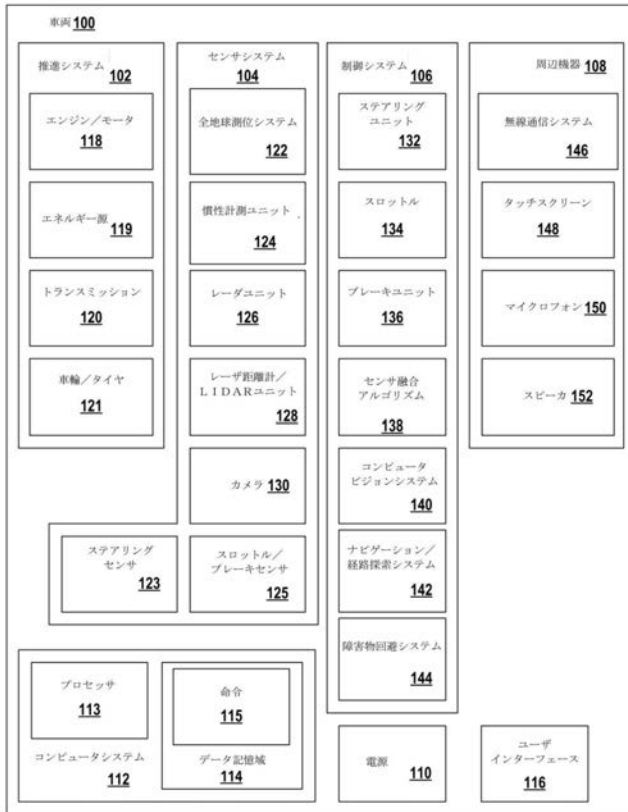
コンピュータ可読媒体には、レジスタメモリ、プロセッサキャッシュ、およびランダムアクセスメモリ（RAM）のような、データを短期間格納するコンピュータ可読媒体などの非一時的コンピュータ可読媒体も含まれ得る。コンピュータ可読媒体には、プログラムコードおよび／またはデータを長期間にわたって格納する非一時的コンピュータ可読媒体も含まれ得る。このように、コンピュータ可読媒体には、例えば、読み取り専用メモリ（ROM）、光ディスクまたは磁気ディスク、コンパクトディスク読み取り専用メモリ（CD-ROM）のような二次的なまたは長期永続的記憶域が含まれ得る。コンピュータ可読媒体は、任意の他の揮発性または不揮発性の記憶システムとすることもできる。コンピュータ可読媒体は、例えばコンピュータ可読記憶媒体、または有形の記憶デバイスと考えられ得る。

20

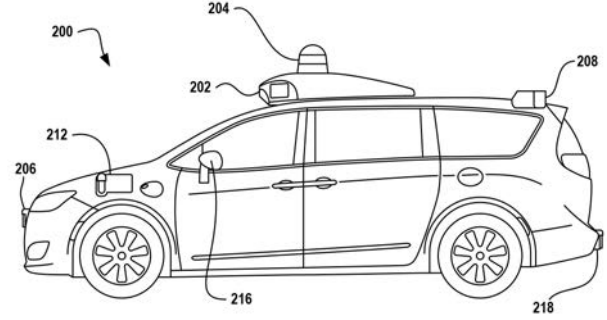
【0145】

様々な例および実施形態が開示されてきたが、他の例および実施形態が当業者には明らかであろう。様々な開示された例および実施形態は、例示の目的のためであり、限定することを意図するものではなく、その真の範囲は、以下の特許請求の範囲により示される。

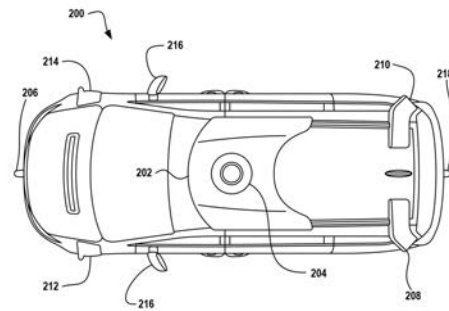
【図 1】



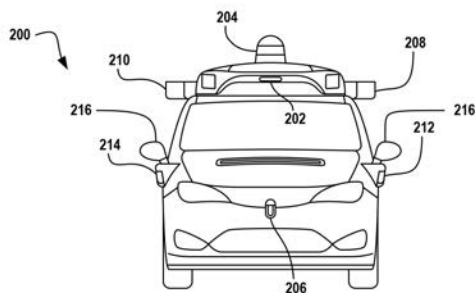
【図 2 A】



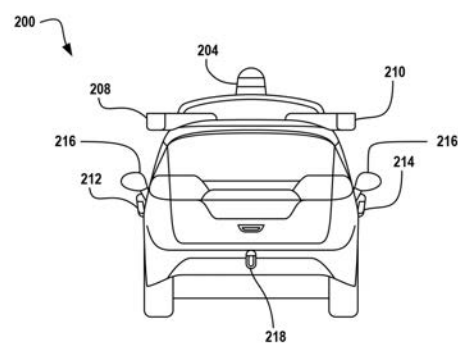
【図 2 B】



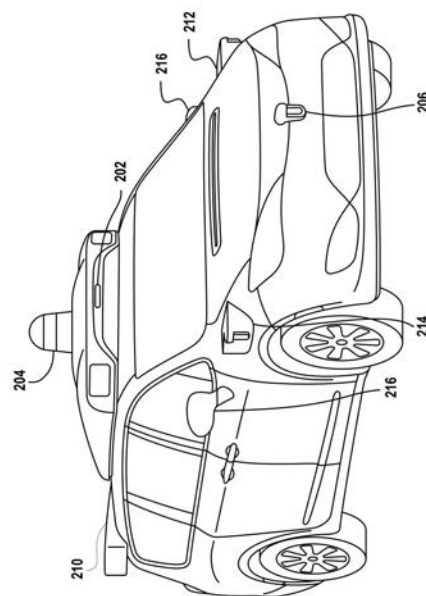
【図 2 C】



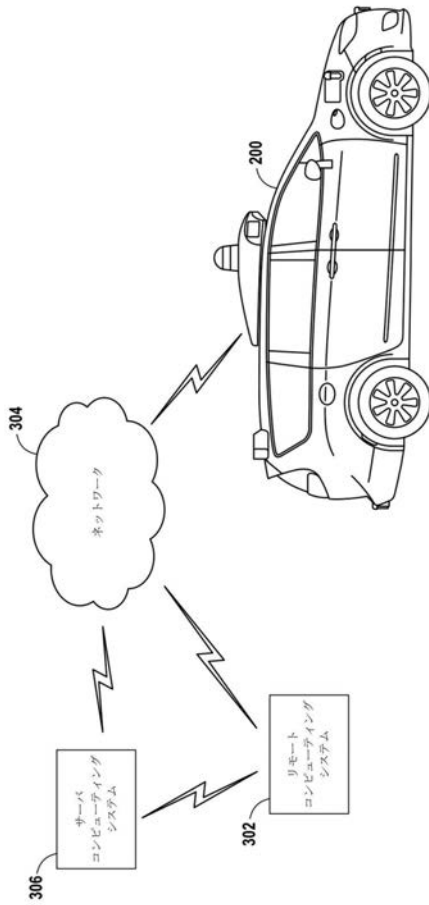
【図 2 D】



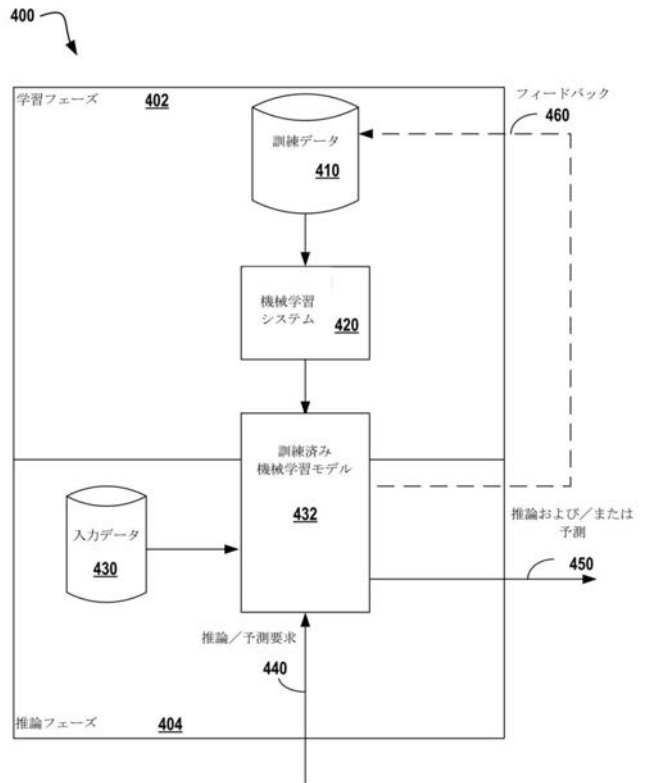
【図 2 E】



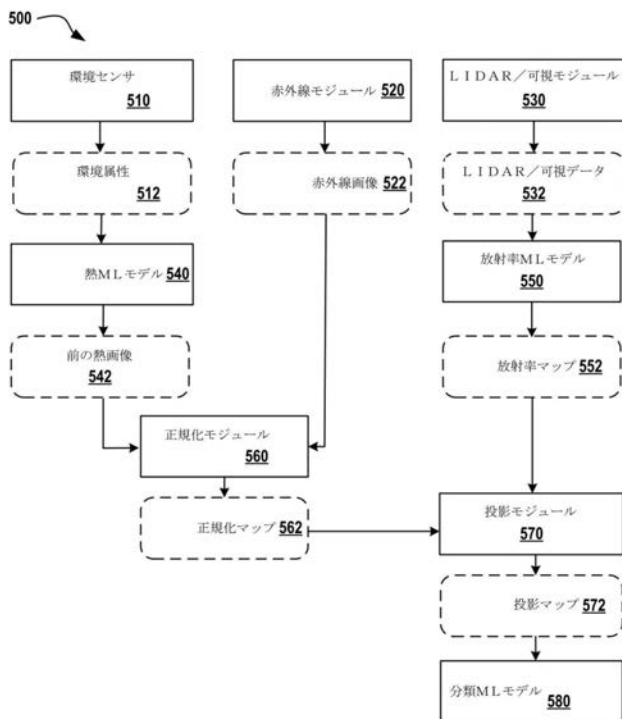
【図 3】



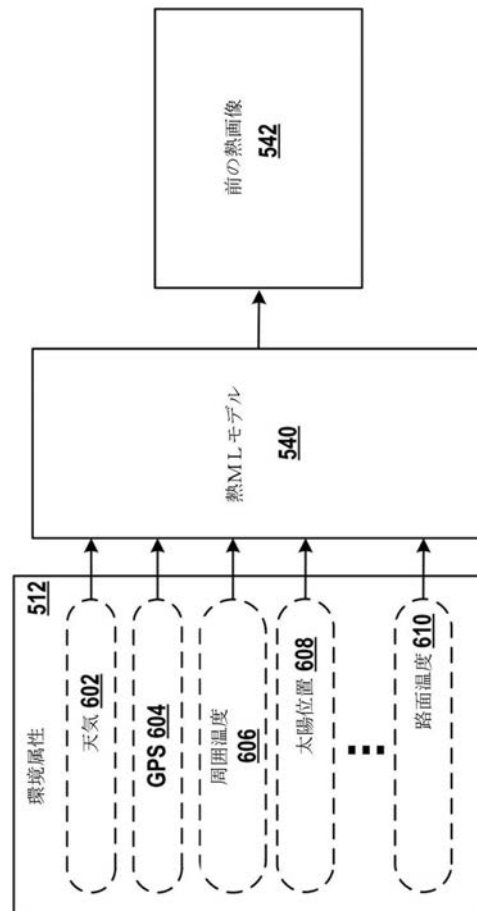
【図 4】



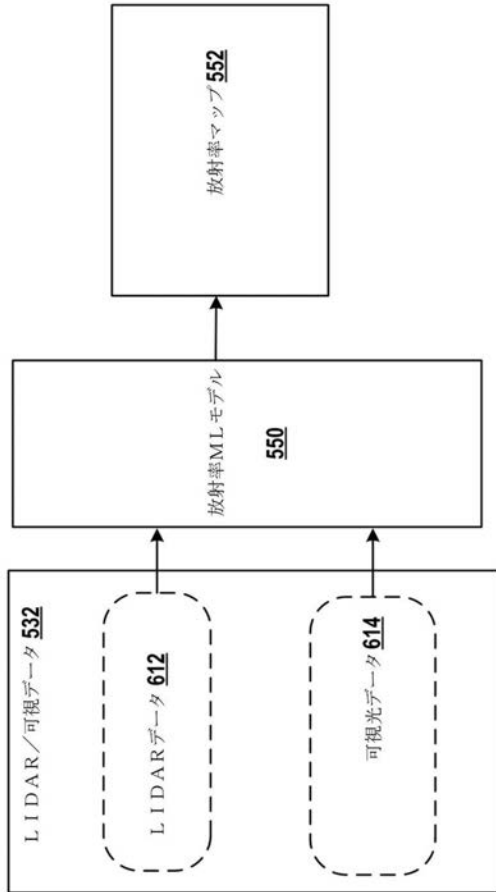
【図 5】



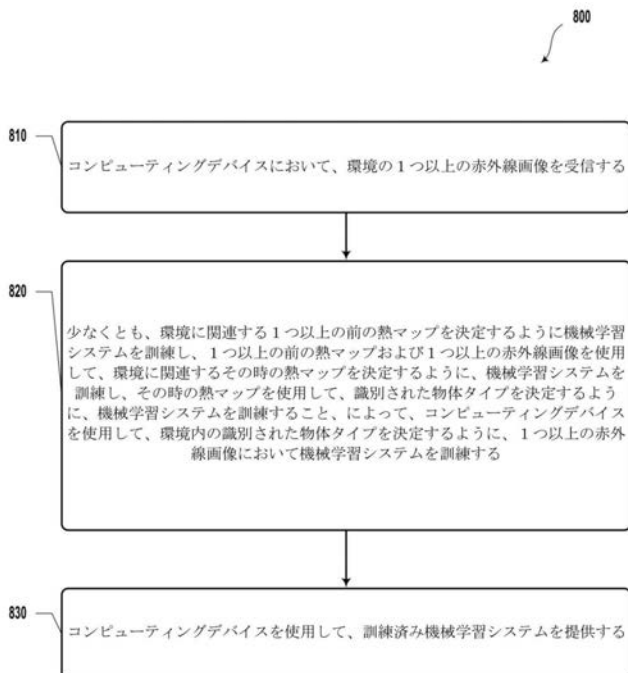
【図 6 A】



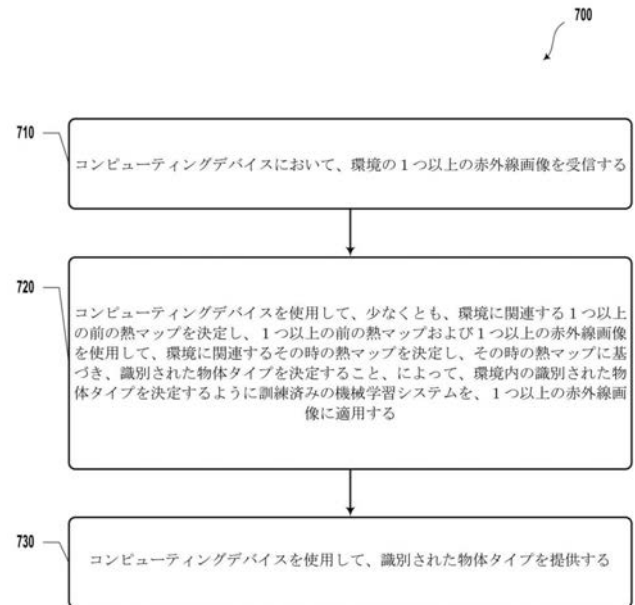
【図 6 B】



【図 8】



【図 7】



フロントページの続き

- (72)発明者 シェパード, ラルフ
アメリカ合衆国, カリフォルニア州 94043, マウンテン ビュー, アンフィシアター パークウェイ 1600
- (72)発明者 ホワイト, ブランディン
アメリカ合衆国, カリフォルニア州 94043, マウンテン ビュー, アンフィシアター パークウェイ 1600
- (72)発明者 ヴァーギーズ, サイモン
アメリカ合衆国, カリフォルニア州 94043, マウンテン ビュー, アンフィシアター パークウェイ 1600

Fターム(参考) 5L096 AA06 AA09 AA13 BA04 CA02 FA67 HA11 KA04

【外国語明細書】
2021082271000001.pdf