

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号  
特許第7616940号  
(P7616940)

(45)発行日 令和7年1月17日(2025.1.17)

(24)登録日 令和7年1月8日(2025.1.8)

(51)国際特許分類 F I  
G 0 6 T 7/277(2017.01) G 0 6 T 7/277

請求項の数 6 (全18頁)

(21)出願番号	特願2021-75295(P2021-75295)	(73)特許権者	000006633
(22)出願日	令和3年4月27日(2021.4.27)		京セラ株式会社
(65)公開番号	特開2022-169324(P2022-169324 A)	(74)代理人	100147485
(43)公開日	令和4年11月9日(2022.11.9)		弁理士 杉村 憲司
審査請求日	令和5年11月17日(2023.11.17)	(74)代理人	230118913
			弁護士 杉村 光嗣
		(74)代理人	100132045
			弁理士 坪内 伸
		(74)代理人	100180655
			弁理士 鈴木 俊樹
		(72)発明者	山本 顕嗣
			京都府京都市伏見区竹田鳥羽殿町6番地
			京セラ株式会社内
		(72)発明者	黒田 淳

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 物体追跡装置

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

センサデータを取得する入力インターフェイスと、  
前記センサデータから検出対象を検出し、前記検出対象及び前記検出対象の位置を示す観測値のそれぞれに対応付けが行われたカルマンフィルタを用いて、前記検出対象の追跡を行うプロセッサと、

前記検出対象の検出結果を出力する出力インターフェイスと、を備え、

前記プロセッサは、前記検出対象の追跡に影響する前記カルマンフィルタの指標の変動範囲に制限を設ける、物体追跡装置。

【請求項2】

前記指標は、前記カルマンフィルタと前記観測値との対応付けに用いられるマハラノビス距離、前記カルマンフィルタと前記検出対象との対応付けに用いられるグルーピング領域の半径、及び、前記カルマンフィルタの誤差楕円の大きさ、の少なくとも1つを含む、請求項1に記載の物体追跡装置。

【請求項3】

前記指標は、前記マハラノビス距離を含み、

前記プロセッサは、前記マハラノビス距離に下限を設ける、請求項2に記載の物体追跡装置。

【請求項4】

前記指標は、前記グルーピング領域の半径を含み、

前記プロセッサは、前記グルーピング領域の半径に、観測ノイズ及び前記検出対象までの距離の少なくとも1つに応じて、上限及び下限の少なくとも1つを設ける、請求項2に記載の物体追跡装置。

【請求項5】

前記指標は、前記誤差楕円の大きさを含み、

前記プロセッサは、前記誤差楕円の大きさに、前記検出対象の検出結果について保証する精度に応じて、下限を設ける、請求項2に記載の物体追跡装置。

【請求項6】

前記指標は、前記誤差楕円の大きさを含み、

前記プロセッサは、前記誤差楕円の大きさに、前記検出対象までの距離による前記観測値の飽和性に応じて、上限及び下限の少なくとも1つを設ける、請求項2に記載の物体追跡装置。

10

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本開示は、物体追跡装置に関する。

【背景技術】

【0002】

周囲の物体を検知し、検知した物体を追跡して動きを予測する技術が知られている。例えば、特許文献1は、車両周辺の映像を取り込む車載カメラから出力される映像信号を処理して接近する車両及び歩行者の有無を検知し、接近車両及び歩行者に四角枠のマークを付加して表示する装置を開示する。

20

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【文献】特開平11-321494号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

しかし、従来技術において、画像上で個別の車両として検出しても実際は同一の車両であったり、逆に単一の車両として検出しても実際は別個の車両であったりすることがあった。そのため、より高い精度で、混乱を生じることなく追跡を継続する技術が求められていた。

30

【0005】

かかる点に鑑みてなされた本開示の目的は、物体を高精度に、安定して追跡できる物体追跡装置を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0006】

一実施形態に係る物体追跡装置は、

センサデータを取得する入力インターフェイスと、

前記センサデータから検出対象を検出し、前記検出対象及び観測値のそれぞれに対応付けが行われたカルマンフィルタを用いて、前記検出対象の追跡を行うプロセッサと、

前記検出対象の検出結果を出力する出力インターフェイスと、を備え、

前記プロセッサは、前記検出対象の追跡に影響する前記カルマンフィルタの指標の変動範囲に制限を設ける。

40

【発明の効果】

【0007】

本開示の実施形態によれば、物体を高精度に、安定して追跡できる物体追跡装置を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

50

## 【 0 0 0 8 】

【図 1】図 1 は、一実施形態に係る物体追跡装置を含む物体追跡システムの概略構成を示すブロック図である。

【図 2】図 2 は、図 1 の物体追跡システムを搭載する車両と検出対象とを示す図である。

【図 3】図 3 は、動画像上の物体の像を追跡する処理の例を示すフローチャートである。

【図 4】図 4 は、動画像上の物体の像の一例を示す図である。

【図 5】図 5 は、実空間の物体、動画像中の物体の像及び仮想空間における質点の関係を説明する図である。

【図 6】図 6 は、仮想空間における質点の移動の一例を示す図である。

【図 7】図 7 は、データアソシエーションを説明するための図である。

10

【図 8】図 8 は、追跡物体 ID 管理の階層構造を例示する図である。

【図 9】図 9 は、マハラノビス距離の制限について説明するための図である。

【図 10】図 10 は、グルーピング領域の制限について説明するための図である。

【図 11】図 11 は、グルーピング領域の制限について説明するための図である。

【図 12】図 12 は、出力精度に応じた誤差楕円の大きさの制限について説明するための図である。

【図 13】図 13 は、検出結果の飽和性に応じた誤差楕円の大きさの制限について説明するための図である。

【発明を実施するための形態】

## 【 0 0 0 9 】

20

以下、図面を参照して、本開示の実施形態が説明される。以下の説明で用いられる図は模式的なものである。図面上の寸法比率などは現実のものと必ずしも一致していない。

## 【 0 0 1 0 】

図 1 は、物体追跡システム 1 の概略構成を示すブロック図である。本開示の一実施形態に係る物体追跡装置 20 は、物体追跡システム 1 に含まれる。本実施形態において、物体追跡システム 1 は、撮像装置 10 と、物体追跡装置 20 と、ディスプレイ 30 とを含む。また、本実施形態において、物体追跡システム 1 は、図 2 に例示するように移動体の一例である車両 100 に搭載される。

## 【 0 0 1 1 】

本実施形態に係る物体追跡装置 20 は、センサデータとして撮像装置 10 から動画像を取得する。つまり、本実施形態において、検出対象を検出するために用いられるセンサは、撮像装置 10 が備える可視光を撮像する撮像素子 12 である。ただし、物体追跡システム 1 は、図 1 に示される構成に限定されない。物体追跡システム 1 は、検出対象を検出するものであれば、撮像装置 10 と異なる装置を備えることができる。別の例として、物体追跡システム 1 は、撮像装置 10 に代えて、照射したレーザー光の反射波から検出対象との距離を測定する測定装置を備える構成であってよい。別の例として、物体追跡システム 1 は、撮像装置 10 に代えて、ミリ波センサを有する検出装置を備える構成であってよい。また、別の例として、物体追跡システム 1 は、可視光領域以外の光を撮像する撮像素子 12 を備える撮像装置 10 を備える構成であってよい。

30

## 【 0 0 1 2 】

本実施形態において、物体追跡システム 1 は移動体に搭載されて、移動する移動体の周囲の物体 40 (図 2 参照) を検出対象とする。ただし、物体追跡システム 1 は、移動体に搭載される構成に限定されない。別の例として、物体追跡システム 1 は、工場などの施設で用いられて、従業員、搬送ロボット及び製造物などを検出対象としてよい。また、別の例として、物体追跡システム 1 は、老人福祉施設などで用いられて、室内の老人及びスタッフなどを検出対象としてよい。また、物体追跡システム 1 は、走行又は行動の安全のために物体の追跡を行うだけでなく、例えば農業及び工業の現場において作業の効率化、品質管理又は生産性向上などのために物体の追跡を行ってよい。ここで、本開示において、物体追跡装置 20 の検出対象である物体は、移動体などの物だけでなく人を含む。

40

## 【 0 0 1 3 】

50

図 2 に示すように、本実施形態において、実空間の座標のうち、x 軸方向は、撮像装置 10 が設置された車両 100 の幅方向とする。y 軸正方向は、車両 100 の後退する方向とする。x 軸方向と y 軸方向とは、車両 100 が位置する路面に平行な方向である。z 軸方向は、路面に対して垂直な方向である。z 軸方向は、鉛直方向とよぶことができる。x 軸方向、y 軸方向及び z 軸方向は、互いに直交する。x 軸方向、y 軸方向及び z 軸方向のとり方はこれに限られない。x 軸方向、y 軸方向及び z 軸方向は、互いに入れ替えることができる。

【0014】

撮像装置 10 は、撮像光学系 11、撮像素子 12 及びプロセッサ 13 を含んで構成される。

10

【0015】

撮像装置 10 は、車両 100 の種々の位置に設置され得る。撮像装置 10 は、フロントカメラ、左サイドカメラ、右サイドカメラ及びリアカメラなどを含むが、これらに限られない。フロントカメラ、左サイドカメラ、右サイドカメラ及びリアカメラは、それぞれ車両 100 の前方、左側方、右側方及び後方の周辺領域を撮像可能となるように車両 100 に設置される。以下に一例として説明する実施形態では、図 2 に示すように、撮像装置 10 は、車両 100 の後方を撮像可能なように、光軸方向を水平方向より下に向けて車両 100 に取付けられている。

【0016】

撮像光学系 11 は、1 つ以上のレンズを含んで構成されてよい。撮像素子 12 は、CCD イメージセンサ (charge-coupled device image sensor) 又は CMOS イメージセンサ (complementary MOS image sensor) を含んで構成されてよい。

20

【0017】

撮像素子 12 は、撮像光学系 11 により撮像素子 12 の撮像面に結像された物体の像 (被写体像) を電気信号に変換する。撮像素子 12 は、所定のフレームレートで、動画を撮像することができる。フレームは動画を構成する各静止画像である。1 秒間に撮像できる画像の数をフレームレートという。フレームレートは、例えば 60 fps (frames per second) であってよいし、30 fps であってよい。

【0018】

プロセッサ 13 は、撮像装置 10 全体を制御するとともに、撮像素子 12 から出力された動画像に対して、種々の画像処理を実行する。プロセッサ 13 が行う画像処理は、歪み補正、明度調整、コントラスト調整、ガンマ補正等の任意の処理を含み得る。

30

【0019】

プロセッサ 13 は、1 つ又は複数のプロセッサで構成され得る。プロセッサ 13 は、例えば、関連するメモリに記憶された指示を実行することによって 1 以上のデータ計算手続又は処理を実行するように構成された 1 以上の回路又はユニットを含む。プロセッサ 13 は、1 以上のプロセッサ、マイクロプロセッサ、マイクロコントローラ、特定用途向け集積回路 (ASIC: application specific integrated circuit)、デジタル信号処理装置 (DSP: digital signal processor)、プログラマブルロジックデバイス (PLD: programmable logic device)、フィールドプログラマブルゲートアレイ (FPGA: field-programmable gate array)、これらのデバイス若しくは構成の任意の組み合わせ又は他の既知のデバイス若しくは構成の組み合わせを含む。

40

【0020】

物体追跡装置 20 は、入力インターフェイス 21、記憶部 22、プロセッサ 23 及び出力インターフェイス 24 を含んで構成される。

【0021】

入力インターフェイス 21 は、撮像装置 10 との間で有線又は無線の通信手段により通信可能に構成される。入力インターフェイス 21 は、センサデータとして撮像装置 10 が

50

ら動画像を取得する。入力インターフェイス 21 は、撮像装置 10 の送信する画像信号の伝送方式に対応してよい。入力インターフェイス 21 は、入力部又は取得部と言い換えることができる。撮像装置 10 と入力インターフェイス 21 との間は、CAN (control area network) などの車載通信ネットワークにより接続されてよい。

#### 【0022】

記憶部 22 は、プロセッサ 23 が行う処理に必要なデータ及びプログラムを格納する記憶装置である。例えば、記憶部 22 は、撮像装置 10 から取得した動画像を一時的に記憶する。例えば、記憶部 22 は、プロセッサ 23 が行う処理により生成されるデータを格納する。記憶部 22 は、例えば半導体メモリ、磁気メモリ及び光メモリなどのいずれか一つ以上を用いて構成されてよい。半導体メモリは、揮発性メモリ及び不揮発性メモリを含んでよい。磁気メモリは、例えばハードディスク及び磁気テープなどを含んでよい。光メモリは、例えば CD (compact disc)、DVD (digital versatile disc) 及び BD (blue-ray (登録商標) disc) などを含んでよい。

10

#### 【0023】

プロセッサ 23 は、物体追跡装置 20 の全体を制御する。プロセッサ 23 は、入力インターフェイス 21 を介して取得した動画像に含まれる物体の像を認識する。プロセッサ 23 は、認識した物体の像の座標を仮想空間 46 (図 6 参照) の物体 40 の座標に写像変換し、仮想空間 46 上で物体 40 を表す質点 45 (図 5 参照) の位置及び速度を追跡する。質点 45 は、質量を有し大きさを持たない点である。仮想空間 46 は、実空間の x 軸、y 軸及び z 軸の 3 軸より成る座標系において、z 軸方向の値を所定の固定値とする 2 次元空間である。プロセッサ 23 は、追跡した質点 45 の仮想空間 46 上の座標を動画像上の座標に写像変換してよい。

20

#### 【0024】

また、プロセッサ 23 は、動画像から検出対象を検出し、カルマンフィルタを用いて追跡を行う。ここで、プロセッサ 23 は、動画像から複数の検出対象を検出可能であって、複数の検出対象のそれぞれについてカルマンフィルタを用いて追跡を行う。複数の検出対象を検出する場合に、動画像においてそれらの像が重なると、従来の技術では追跡を誤ったり、精度が低下したりする。本実施形態において、プロセッサ 23 は、複数の検出対象のそれぞれに 1 つ以上のカルマンフィルタを対応付けることによって、このような問題を回避できる。また、プロセッサ 23 は、観測値と、カルマンフィルタと、追跡物体の固有識別情報 (以下「追跡物体 ID」) と、を各レイヤ (層) で管理する。プロセッサ 23 は、追跡物体について同一物体 (同一の検出対象) であるか否かを判定し、観測値と、カルマンフィルタと、追跡物体 ID と、を対応付ける処理を実行する。これによって、複数の検出対象の追跡の精度をさらに向上させることができる。

30

#### 【0025】

また、プロセッサ 23 は、検出対象の追跡に影響するカルマンフィルタの指標の変動範囲に制限を設ける。本実施形態において、プロセッサ 23 は、カルマンフィルタと観測値との対応付けに用いられるマハラノビス距離、カルマンフィルタと検出対象との対応付けに用いられるグルーピング領域の半径、及び、カルマンフィルタの誤差楕円の大きさ、の少なくとも 1 つを含む指標について、上限及び下限の少なくとも 1 つを設ける。カルマンフィルタの指標の変動範囲を適切に制限することによって、検出対象及び観測値との対応付けを途切れにくくして、安定した追跡が可能になる。プロセッサ 23 が行う処理の詳細については後述する。プロセッサ 23 は、撮像装置 10 のプロセッサ 13 と同じく、複数のプロセッサを含んでよい。また、プロセッサ 23 は、プロセッサ 13 と同じく、複数の種類のデバイスが組み合わされて構成されてよい。

40

#### 【0026】

出力インターフェイス 24 は、物体追跡装置 20 から出力信号を出力するように構成される。出力インターフェイス 24 は、出力部と言い換えることができる。出力インターフェイス 24 は、例えば質点 45 の座標などの検出対象の検出結果を出力してよい。

#### 【0027】

50

出力インターフェイス 24 は、物理コネクタ及び無線通信機を含んで構成され得る。出力インターフェイス 24 は、例えば CAN などの車両 100 のネットワークに接続されてよい。出力インターフェイス 24 は、CAN などの通信ネットワークを介してディスプレイ 30、車両 100 の制御装置及び警報装置などに接続され得る。出力インターフェイス 24 から出力された情報は、ディスプレイ 30、制御装置及び警報装置の各々で適宜利用されてよい。

#### 【0028】

ディスプレイ 30 は、物体追跡装置 20 から出力される動画像を表示し得る。ディスプレイ 30 は、物体追跡装置 20 から、物体の像の位置を表す質点 45 の座標を受け取った場合、これに従う画像要素（例えば、接近する物体とともに表示する警告）を生成して動画像に重畳させる機能を有してよい。ディスプレイ 30 は、種々の種類の装置を採用し得る。例えば、ディスプレイ 30 は、液晶ディスプレイ（LCD: liquid crystal display）、有機 EL（electro-luminescence）ディスプレイ、無機 EL ディスプレイ、プラズマディスプレイ（PDP: plasma display panel）、電界放出ディスプレイ（FED: field emission display）、電気泳動ディスプレイ、ツイストボールディスプレイなどを採用し得る。

10

#### 【0029】

次に、図 3 のフローチャートを参照して、物体追跡装置 20 が実行する物体追跡方法を説明する。物体追跡装置 20 は、以下に説明するプロセッサ 23 が行う処理を、非一時的なコンピュータ可読媒体に記録されたプログラムを読み込んで実装するように構成されてよい。非一時的なコンピュータ可読媒体は、磁気記憶媒体、光学記憶媒体、光磁気記憶媒体、半導体記憶媒体を含むがこれらに限られない。磁気記憶媒体は、磁気ディスク、ハードディスク、磁気テープを含む。光学記憶媒体は、CD、DVD 及び BD などの光ディスクを含む。半導体記憶媒体は、ROM（read only memory）、EEPROM（electrically erasable programmable read-only memory）、フラッシュメモリを含む。

20

#### 【0030】

図 3 のフローチャートは、動画像の順次のフレームを取得して、プロセッサ 23 が実行する処理を示す。物体追跡装置 20 のプロセッサ 23 は、図 3 のフローチャートに従い、動画像のフレームを取得する度に、物体の像 42（図 4 参照）の位置を追跡（トラッキング）する。図 2 に示すように、検出対象となる物体 40 は複数であってよく、歩行者 40A、自動車 40B 及び自転車 40C を含み得る。さらに、物体 40 は、移動している物及び人に限定されず、道路上の障害物など、種々の対象物を含み得る。以下の物体追跡方法についての説明では、車両 100 の後ろに設置された撮像装置 10 の動画像に含まれる複数の物体 40 のうち 1 つ（具体的には歩行者 40A）を用いて説明する。他の物体 40（例えば自動車 40B 及び自転車 40C）のそれぞれについても、同様の処理によって追跡が行われる。

30

#### 【0031】

プロセッサ 23 は、入力インターフェイス 21 を介して、撮像装置 10 から動画像の各フレームを取得する（ステップ S101）。図 4 に、動画像の 1 フレームの一例が示される。図 4 の例では、 $uv$  座標系からなる 2 次元の画像空間 41 に、車両 100 の後方の物体 40 の像（物体の像 42）が表示されている。 $u$  座標は、画像の横方向の座標である。 $v$  座標は、画像の縦方向の座標である。図 4 において、 $uv$  座標の原点は、画像空間 41 の左上端の点である。また、 $u$  座標は、左から右へ向かう方向を正の方向とする。 $v$  座標は、上から下へ向かう方向を正の方向とする。

40

#### 【0032】

プロセッサ 23 は、画像認識により動画像の各フレームから物体の像 42 を認識する（ステップ S102）。物体の像 42 の認識方法は、公知の種々の方法を含む。例えば、物体の像 42 の認識方法は、車及び人などの物体の形状認識による方法、テンプレートマッ

50

チングによる方法、画像から特徴量を算出しマッチングに利用する方法などを含む。特徴量の算出には、入出力の関係を学習可能な関数近似器を用いることができる。入出力の関係を学習可能な関数近似器には、例えばニューラルネットワークを用いることができる。

【0033】

プロセッサ23は、画像空間41の物体の像42の座標 $(u, v)$ を仮想空間46(図6参照)の物体の座標 $(x', y')$ に写像変換する(ステップS103)。一般に、2次元座標である画像空間41の座標 $(u, v)$ は、実空間の座標 $(x, y, z)$ に変換することはできない。しかし、実空間における高さを特定し、 $z$ 座標を所定値に固定することにより、画像空間41の座標 $(u, v)$ を、実空間の座標 $(x, y, z_0)$ ( $z_0$ は固定値)に対応する2次元の仮想空間46の座標 $(x', y')$ に写像することが可能になる。ここで、本実施形態では仮想空間46を2次元としたが、入力情報(センサの種類)によって3次元とすることがあり得る。

10

【0034】

図4に示すように、物体の像42の最下部の中央に位置する代表点43が特定される。例えば、代表点43は、画像空間41において、物体の像42が占める領域の $v$ 座標の最も下の位置且つ $u$ 座標の範囲の中心位置とすることができる。この代表点43は、物体の像42に対応する物体40の路面又は地面と接している位置であると想定される。

【0035】

図5において、3次元の実空間に位置する物体40と、2次元の画像空間41上の物体の像42との関係が示される。撮像装置10の内部パラメータが既知の場合、画像空間41の座標 $(u, v)$ に基づき、撮像装置10の撮像光学系11の中心から実空間の対応する座標 $(x, y, z)$ に向かう方向を算出することができる。撮像装置10の内部パラメータは、撮像光学系11の焦点距離、歪み及び撮像素子12の画素サイズなどの情報を含む。実空間において、画像空間41の代表点43に対応する方向に向かう直線が、 $z=0$ の基準面44と交差する点を物体40の質点45とする。基準面44は、車両100が位置する路面又は地面に相当する。質点45は、3次元の座標 $(x, y, 0)$ を有する。したがって、 $z=0$ の2次元空間を仮想空間46とすると、質点45の座標は、 $(x', y')$ で表すことができる。仮想空間46上の質点45の座標 $(x', y')$ は、実空間において $z$ 軸に沿う方向から物体40を見た場合の $xy$ 平面( $z=0$ )での物体40の特定の点の座標 $(x, y)$ に相当する。特定の点は、質点45に対応する点である。

20

30

【0036】

プロセッサ23は、図6に示すように、仮想空間46上で物体の像42の代表点43から仮想空間46に写像変換された質点45の位置 $(x', y')$ 及び速度 $(v_{x'}, v_{y'})$ を追跡する(ステップS104)。質点45が位置 $(x', y')$ 及び速度 $(v_{x'}, v_{y'})$ の情報を持つことにより、プロセッサ23は、順次のフレームにおける質点45の位置 $(x', y')$ の範囲を予測することができる。プロセッサ23は、次のフレームで予測された範囲に位置する質点45を、追跡している物体の像42に対応する質点45であると認識することができる。プロセッサ23は、新たなフレームの入力を受ける毎に、順次質点45の位置 $(x', y')$ 及び速度 $(v_{x'}, v_{y'})$ を更新する。

【0037】

質点45の追跡は、例えば、状態空間モデルに基づくカルマンフィルタを用いた推定を採用することができる。カルマンフィルタを用いた予測/推定を行うことにより、検出対象の物体40の検知不能及び誤検知などに対するロバスト性が向上する。一般に、画像空間41の物体の像42に対しては、運動を記述する適切なモデルで記述することは困難である。そのため、画像空間41の物体の像42に対して簡易に高精度の位置の推定を行うことは困難であった。本開示の物体追跡装置20では、物体の像42を実空間の質点45に写像変換することにより、実空間における運動を記述するモデルの適用が可能になるので、物体の像42の追跡の精度が向上する。また、物体40を、大きさを持たない質点45として扱うことにより、単純で簡易な追跡が可能となる。

40

【0038】

50

プロセッサ 23 は、質点 45 の新たな位置を推定するごとに、推定位置を示すために、質点 45 の仮想空間 46 上の座標を画像空間 41 上の座標 ( $u, v$ ) に写像変換してよい (ステップ S105)。仮想空間 46 の座標 ( $x', y'$ ) に位置する質点 45 は、実空間の座標 ( $x, y, 0$ ) に位置する点として、画像空間 41 に写像変換することができる。実空間の座標 ( $x, y, 0$ ) は、公知の方法により撮像装置 10 の画像空間 41 上の座標 ( $u, v$ ) に写像することができる。プロセッサ 23 は、画像空間 41 上の座標 ( $u, v$ ) と、仮想空間 46 の座標 ( $x', y'$ ) と、実空間の座標 ( $x, y, 0$ ) と、を相互に変換することができる。

【0039】

(データアソシエーション)

図 7 は、データアソシエーションを説明するための図である。データアソシエーションは、カルマンフィルタを観測値に対応付ける処理である。データアソシエーションにおいて、複数のカルマンフィルタが、複数の観測値と対応付けられ得る。ここで、観測値は、検出対象の位置である。プロセッサ 23 は、複数の観測値及び複数のカルマンフィルタに識別子を付して区別する。本実施形態において、プロセッサ 23 は、例えば通し番号を用いて、複数の観測値のそれぞれを観測値 (1)、観測値 (2)、観測値 (3) ... とする。また、プロセッサ 23 は、例えば記号及び通し番号を用いて、複数のカルマンフィルタのそれぞれを KF (1)、KF (2)、KF (3) ... とする。

【0040】

本実施形態において、プロセッサ 23 は、M 個の観測値と N 個のカルマンフィルタとのデータアソシエーションを行う。M は 2 以上の整数である。N は M 以上の整数である。図 7 の例において、プロセッサ 23 は、3 個の観測値と 5 個のカルマンフィルタとのデータアソシエーションを行っている。観測値 (1) は動画像のフレーム (k) において検出されている歩行者 40A の位置である。観測値 (2) は動画像のフレーム (k) において検出されている自動車 40B の位置である。観測値 (3) は動画像のフレーム (k) において検出されている自転車 40C の位置である。また、フレーム (k-1) は、動画像におけるフレーム (k) の 1 つ前のフレームである。フレーム (k-2) は、動画像におけるフレーム (k) の 2 つ前のフレームである。現フレームはフレーム (k) であるとする。

【0041】

ここで、KF (2) は、フレーム (k-1) の時まで歩行者 40A の追跡に用いられていたが、途中で初期化されて、検出対象の位置の追跡に用いられない。また、KF (5) は、フレーム (k-2) で新たな自転車 40C が認識されたことによって、新たに用意されたカルマンフィルタである。KF (5) は、新たに認識された自転車 40C が、現フレーム (k) でも認識されたために、検出対象の追跡を始動している。その他のカルマンフィルタは、フレーム (k-2) の時から、それぞれ検出対象の追跡を継続している。

【0042】

図 7 の例において、プロセッサ 23 は観測値 (1) に KF (1) を対応付けている。プロセッサ 23 は観測値 (2) に KF (3) 及び KF (4) を対応付けている。また、プロセッサ 23 は観測値 (3) に KF (5) を対応付けている。観測値 (2) の例のように、プロセッサ 23 は、複数の検出対象の追跡過程における検出結果の重複を許容する。つまり、プロセッサ 23 は、KF (3) 及び KF (4) を用いて、観測値 (2) すなわち自動車 40B の位置の範囲の予測を行う。このように、データアソシエーションにおいて重複を許容することによって、局所最適化を行うことができる。例えば、重複を許容せずに、複数の観測値と複数のカルマンフィルタとを一对一に対応付ける手法 (一例としてハンガリアン法) は、全体最適化のため、1 つのミスアソシエーションが連鎖するおそれがある。本実施形態においては、重複が許容されるため、ミスアソシエーションの連鎖といった問題は生じない。また、追跡過程において、1 つの観測値に対して 1 つ以上のカルマンフィルタが対応付けられており、どの観測値についても追跡の失敗が生じにくいいため、ロバスト性を向上できる。

【0043】

10

20

30

40

50

## ( 追跡物体 I D 管理 )

ここで、上記のように 1 つの観測値に複数のカルマンフィルタが対応付けられ得るが、検出対象である 1 つの物体に複数の観測値が対応付けられることもあり得る。例えば、検出対象が自動車 4 0 B であって、車線変更などによって動画像から一度消失した後に再び動画像に出現した場合などに、別物体として新たな観測値が対応付けられることがあり得る。正確な物体の追跡を行うために、物体追跡装置 2 0 は、それぞれの追跡物体を識別して、観測値との対応付けを把握することが好ましい。本実施形態において、プロセッサ 2 3 は、以下に説明するように階層構造を用いた追跡物体 I D 管理を実行し、複数のカルマンフィルタのグループ化を行って同一物体に対応するものか否かを判定する。

## 【 0 0 4 4 】

図 8 は、本実施形態における追跡物体 I D 管理 ( I D マネジメント ) の階層構造を示す図である。追跡物体 I D 管理は、カルマンフィルタを検出対象に対応付ける処理である。図 8 に示すように、プロセッサ 2 3 は、観測値と、カルマンフィルタと、追跡物体 I D と、を各レイヤ ( 層 ) で管理する。また、プロセッサ 2 3 は、観測値と、カルマンフィルタと、追跡物体 I D と、を対応付けることによって、正確な物体の追跡を可能にする。ここで、追跡物体 I D は上記のように追跡物体の固有識別情報である。複数の観測値又は複数のカルマンフィルタに対応付けられる追跡物体 I D が同じであれば、これらの観測値又はカルマンフィルタは同一物体の追跡に関連するものである。

## 【 0 0 4 5 】

プロセッサ 2 3 は、動画像のフレームが取得されると複数のカルマンフィルタのグループ化を実行する。そして、プロセッサ 2 3 は、観測値、カルマンフィルタ及び追跡物体 I D の対応付けを更新する。図 8 の例において、プロセッサ 2 3 は、K F ( 1 )、K F ( 2 ) 及び K F ( 3 ) をグループ化して、これらのカルマンフィルタを用いて追跡する物体に識別子である「追跡物体 I D ( 1 )」を割り当てて、この物体の追跡制御を行う。また、プロセッサ 2 3 は、K F ( 4 ) 及び K F ( 5 ) をグループ化して、これらのカルマンフィルタを用いて追跡する物体に識別子である「追跡物体 I D ( 2 )」を割り当てて、この物体の追跡制御を行う。プロセッサ 2 3 は、同一と判定した物体に対応するカルマンフィルタを紐付けし、これらのカルマンフィルタに対応する検出対象の検出結果についても紐付けする階層構造で追跡を制御することによって、誤りのない高精度な追跡が可能になる。プロセッサ 2 3 は、例えば紐づけされた複数のカルマンフィルタを用いた検出結果を比較又は選択して、確信度が高い検出結果を得ることが可能である。

## 【 0 0 4 6 】

## ( 指標の変動範囲の制限 )

上記のように、1 つの観測値に複数のカルマンフィルタが対応付けられ、1 つの検出対象 ( 1 つの追跡物体 I D を有する検出対象 ) に複数のカルマンフィルタが対応付けられ得る。複数のカルマンフィルタを対応付けることによって追跡の失敗が生じにくくなり、追跡の精度を高めて、ロバスト性を向上させることができる。また、プロセッサ 2 3 は、安定した追跡のために、検出対象の追跡に影響するカルマンフィルタの指標の変動範囲に制限を設けることができる。指標の変動範囲の制限は、具体例として、上限及び下限の少なくとも 1 つを設けることであって、クリッピング ( C l i p p i n g ) 処理と称することができる。本実施形態において、指標は、カルマンフィルタと観測値との対応付けに用いられるマハラノビス距離、カルマンフィルタと検出対象との対応付けに用いられるグループ化領域の半径、及び、カルマンフィルタの誤差楕円の大きさ、の少なくとも 1 つを含む。これらの指標のそれぞれの変動範囲の制限が、以下に説明される。

## 【 0 0 4 7 】

プロセッサ 2 3 は、上記のデータアソシエーションにおいて、指標の変動範囲の制限を実行してよい。このとき、指標には、マハラノビス距離が含まれる。マハラノビス距離は、データの乖離を表すものであり、本実施形態において、カルマンフィルタの誤差楕円の中心と、観測値との乖離を表す。ここで、カルマンフィルタの誤差楕円は、位置の確率密度分布による推定範囲を示すものであって、所定の確率 ( 一例として 9 9 % ) で楕円の内

10

20

30

40

50

部に位置することを示すものである。誤差楕円は、2次元の仮想空間46(図6参照)のx'方向の標準偏差及びy'方向の標準偏差などを用いて計算される。

【0048】

図9は、マハラノビス距離の制限について説明するための図である。マハラノビス距離の制限がない場合に、観測値は、誤差楕円に含まれる場合に、その誤差楕円を有するカルマンフィルタと対応付けられる。誤差楕円のバリデーションゲート(境界)内に複数の観測値が含まれる場合に、誤差楕円の中心から最もマハラノビス距離が小さい観測値が選択されて、その誤差楕円を有するカルマンフィルタと対応付けられる。ここで、検出対象の追跡の処理が進むと、追跡の精度(予測される位置の確信度)が向上して、誤差楕円のサイズが小さくなる。一方で、観測値の位置は、撮像光学系11の測定の誤差及びノイズの影響などによって、カルマンフィルタの誤差楕円の中心からずれることがある。したがって、図9の例のように、誤差楕円のサイズが小さくなって観測値がバリデーションゲート内に含まれなくなると、マハラノビス距離の制限がない場合には、追跡が継続されなくなる。本実施形態において、プロセッサ23は、データアソシエーションにおいて、マハラノビス距離に下限(図9の破線参照)を設ける。プロセッサ23は、カルマンフィルタの誤差楕円のバリデーションゲートが、マハラノビス距離の下限の内側にある場合に、この下限のマハラノビス距離を用いて観測値との対応付けを行う。そのため、観測値とカルマンフィルタとの対応付けは失われず、追跡が継続される。

10

【0049】

ここで、マハラノビス距離の下限(図9の破線参照)は、データアソシエーションにおける観測値とカルマンフィルタとの対応付けでのみ用いられる。観測値に対応する検出対象の位置の追跡(位置の予測計算)において、本来の誤差楕円(図9の実線参照)が計算で用いられるため、追跡の精度は低下しない。

20

【0050】

また、プロセッサ23は、上記の追跡物体ID管理において、指標の変動範囲の制限を実行してよい。ここで、追跡物体ID管理における、同一の検出対象とカルマンフィルタとの対応付けは、例えばDBSCAN(density-based spatial clustering of applications with noise)などのクラスタリングによって行われる。プロセッサ23は、複数のカルマンフィルタの誤差楕円の中心が所定範囲のグルーピング領域に含まれる場合に、それらのカルマンフィルタが1つのグループに属すると判定する。クラスタリングの手法は、DBSCANに限定されない。例えばk-means法など、他の手法でクラスタリングが実行されてよい。

30

【0051】

図10及び図11は、グルーピング領域の制限について説明するための図である。図10及び図11の例において、グルーピング領域は円で示されている。プロセッサ23が変動範囲を制限する指標は、グルーピング領域の半径(eps)を含む。プロセッサ23は、グルーピング領域の半径(eps)に、観測ノイズ及び検出対象までの距離の少なくとも1つに応じて、上限及び下限の少なくとも1つを設ける。

【0052】

検出対象までの距離が遠い場合に、同一の検出対象の範囲は観測ノイズの影響を受けやすい。観測ノイズは、例えば撮像光学系11が有するレンズによる像の歪みなどである。プロセッサ23は、検出対象までの距離が遠い場合に、図11のようにグルーピング領域の半径(eps)を、上限を超えない範囲で大きく設定する。プロセッサ23は、観測ノイズの距離依存性に基づいて、同一の検出対象と対応付けられるカルマンフィルタのグループの範囲が際限なく広がらないように上限を設ける。図11の例では、同一の検出対象に3つのカルマンフィルタであるKF(p)、KF(q)及びKF(r)が対応付けられている。

40

【0053】

検出対象までの距離が近い場合に、同一の検出対象の範囲は、比較的、観測ノイズの影響を受けにくい。プロセッサ23は、検出対象までの距離が近い場合に、図10のように

50

グルーピング領域の半径 (  $\epsilon$  ) を、下限を下回らない範囲で小さく設定する。プロセッサ 23 は、観測ノイズの距離依存性に基づいて、同一の検出対象と対応付けられるカルマンフィルタがゼロにならないように下限を設ける。図 10 の例では、同一の検出対象に 2 つのカルマンフィルタである  $KF(p)$  及び  $KF(r)$  が対応付けられている。換言すると、 $KF(q)$  については別の検出対象に対応付けられている。例えば、近づいてくる物体を追跡する場合に、プロセッサ 23 は、グルーピング領域の半径 (  $\epsilon$  ) を、上限から下限の範囲内で、徐々に小さくしてよい。このとき、プロセッサ 23 は、遠くにあるときに 1 つの物体と判定していたものが ( 図 11 参照 )、近づくにつれて、近接する 2 つ以上の物体であることを判定できる ( 図 10 参照 )。別の例として、プロセッサ 23 は、観測ノイズの影響のみに応じて、グルーピング領域の半径を可変に設定してよい。例えば、プロセッサ 23 は、撮影環境 ( 一例として天候 ) による観測ノイズの変化に応じて、グルーピング領域の半径を調整してよい。

10

## 【 0054 】

このように、プロセッサ 23 は、グルーピング領域の半径 (  $\epsilon$  ) に、観測ノイズ及び検出対象までの距離の少なくとも 1 つに応じて、上限及び下限の少なくとも 1 つを設けた上で変化させることによって、より高精度に追跡を継続することができる。

## 【 0055 】

また、プロセッサ 23 は、検出対象の検出結果に求められる出力精度 ( 保証精度 ) に対して、誤差楕円が小さくなり過ぎないように、指標の変動範囲の制限を実行してよい。ここで、保証精度は、例えば許容される誤差の範囲として設定され得る。上記のデータアソシエーションにおける指標の変動範囲の制限で説明したように、検出対象の追跡の処理が進むと、追跡の精度 ( 予測される位置の確信度 ) が向上して、誤差楕円のサイズが小さくなる。一方で、誤差楕円のサイズが小さくなって、観測値がバリデーションゲート内に含まれなくなると、追跡が継続されなくなり得る。

20

## 【 0056 】

図 12 は、保証精度に応じた誤差楕円の大きさの制限について説明するための図である。図 12 の例において、フレーム (  $k-1$  ) からフレーム (  $k$  ) になった場合に、カルマンフィルタの誤差楕円は保証精度を超えて小さくなっている。したがって、フレーム (  $k$  ) のカルマンフィルタの誤差楕円を用いて、追跡の演算を行った結果はオーバースペックになる。また、カルマンフィルタの誤差楕円が小さくなったために、観測値がバリデーションゲート内に含まれなくなることがあり得る。本実施形態において、プロセッサ 23 が変動範囲を制限する指標は、誤差楕円の大きさを含む。プロセッサ 23 は、誤差楕円の大きさに、検出対象の検出結果について保証する精度に応じて、下限を設ける。つまり、プロセッサ 23 は、カルマンフィルタの誤差楕円の大きさが、保証精度 ( 図 12 の実線参照 ) を下回らないように調整し、観測値とカルマンフィルタとの対応付けが継続されるようにする。

30

## 【 0057 】

また、プロセッサ 23 は、検出対象までの距離による観測値の飽和性に応じて、誤差楕円の大きさが適切であるように、指標の変動範囲の制限を実行してよい。ここで、観測値の飽和性は、観測値の位置の精度について、近くであっても精度向上に限界があり、遠くであっても精度低下が変化しないことを意味する。

40

## 【 0058 】

図 13 は、観測値の飽和性に応じた誤差楕円の大きさの制限について説明するための図である。図 13 の例において、歩行者 40A は物体追跡装置 20 を搭載する車両 100 に十分近付いており、歩行者 40A の観測値と対応付けられた誤差楕円がこれ以上、小さくなくても、観測値の飽和性によって検出の精度は向上しない。また、図 13 の例において、自動車 40B は物体追跡装置 20 を搭載する車両 100 から十分離れており、自動車 40B の観測値と対応付けられた誤差楕円がこれ以上、大きくなっても、観測値の飽和性によって検出の精度は変わらない。図 13 の例において、プロセッサ 23 が変動範囲を制限する指標は、誤差楕円の大きさを含む。プロセッサ 23 は、検出対象までの距離による観

50

測値の飽和性に依じて、上限及び下限の少なくとも1つを設ける。つまり、本実施形態において、プロセッサ23は、誤差楕円の大きさを変化させても、精度が向上しない場合に、及び、精度が低下しない場合に、誤差楕円の大きさを変化させない。このことによって、観測値とカルマンフィルタとの対応付けは維持されるため、高精度な追跡を継続することができる。

#### 【0059】

プロセッサ23は、上記の指標の変動範囲の制限の全てを同時に実行しなくてよい。つまり、プロセッサ23は、上記の指標の変動範囲の制限の一部を選択したり、組み合わせたりしてよい。プロセッサ23は、例えば変動範囲を制限する指標として、マハラノビス距離のみを選択してよい。また、プロセッサ23は、例えば変動範囲を制限する指標として、グルーピング領域の半径及び観測値の飽和性に依じた誤差楕円の大きさを選択してよい。このとき、プロセッサ23は、誤差楕円の大きさの下限だけを設けてよいし、上限だけを設けてよい。

#### 【0060】

以上のように、本実施形態に係る物体追跡装置20は、上記の構成によって、複数の検出対象の追跡過程における検出結果の重複を許容する。そのため、物体追跡装置20は、ミスアソシエーションの連鎖を生じさせることなく、複数の物体を高精度に追跡できる。また、本実施形態に係る物体追跡装置20は、指標の変動範囲の制限も実行する。そのため、物体追跡装置20は、物体を高精度に、安定して追跡できる。

#### 【0061】

本開示に係る実施形態について、諸図面及び実施例に基づき説明してきたが、当業者であれば本開示に基づき種々の変形又は修正を行うことが容易であることに注意されたい。従って、これらの変形又は修正は本開示の範囲に含まれることに留意されたい。例えば、各構成部又は各ステップなどに含まれる機能などは論理的に矛盾しないように再配置可能であり、複数の構成部又はステップなどを1つに組み合わせたり、或いは分割したりすることが可能である。本開示に係る実施形態について装置を中心に説明してきたが、本開示に係る実施形態は装置の各構成部が実行するステップを含む方法としても実現し得るものである。本開示に係る実施形態は装置が備えるプロセッサにより実行される方法、プログラム又はプログラムを記録した記憶媒体としても実現し得るものである。本開示の範囲にはこれらも包含されるものと理解されたい。例えば指標の変動範囲の制限は、プロセッサ23が実行する処理の各ステップを図3の物体追跡方法に含めることによって、方法としても実現される。

#### 【0062】

上記の実施形態において、物体追跡システム1は、撮像装置10と、物体追跡装置20と、ディスプレイ30とを含むが、これらのうちの少なくとも2つが一体化した構成であってよい。例えば物体追跡装置20の機能は、撮像装置10に搭載することができる。このとき、撮像装置10は、撮像光学系11、撮像素子12及びプロセッサ13に加えて、上記の記憶部22、出力インターフェイス24を備えてよい。また、プロセッサ13は、撮像装置10が出力した動画像について、上記の実施形態においてプロセッサ23が行った処理を実行してよい。このような構成によって、物体の追跡を実行する撮像装置10が実現されてよい。

#### 【0063】

本開示における「移動体」には、車両、船舶、航空機を含む。本開示における「車両」には、自動車及び産業車両を含むが、これに限られず、鉄道車両及び生活車両、滑走路を走行する固定翼機を含めてよい。自動車は、乗用車、トラック、バス、二輪車及びトロリーバスなどを含むがこれに限られず、道路上を走行する他の車両を含んでよい。産業車両は、農業及び建設向けの産業車両を含む。産業車両には、フォークリフト及びゴルフカートを含むがこれに限られない。農業向けの産業車両には、トラクター、耕耘機、移植機、バインダー、コンバイン及び芝刈り機を含むが、これに限られない。建設向けの産業車両には、ブルドーザー、スクレーパー、ショベルカー、クレーン車、ダンプカー及びロード

10

20

30

40

50

ローラを含むが、これに限られない。車両は、人力で走行するものを含む。ここで、車両の分類は、上述に限られない。例えば、自動車には、道路を走行可能な産業車両を含んでよく、複数の分類に同じ車両が含まれてよい。本開示における船舶には、マリンジェット、ボート、タンカーを含む。本開示における航空機には、固定翼機、回転翼機を含む。

【符号の説明】

【0064】

1	物体追跡システム	
10	撮像装置	
11	撮像光学系	
12	撮像素子	10
13	プロセッサ	
20	物体追跡装置	
21	入力インターフェイス	
22	記憶部	
23	プロセッサ	
24	出力インターフェイス	
30	ディスプレイ	
40	物体	
40A	歩行者	
40B	自動車	20
40C	自転車	
41	画像空間	
42	物体の像	
43	代表点	
44	基準面	
45	質点	
46	仮想空間	
100	車両	30

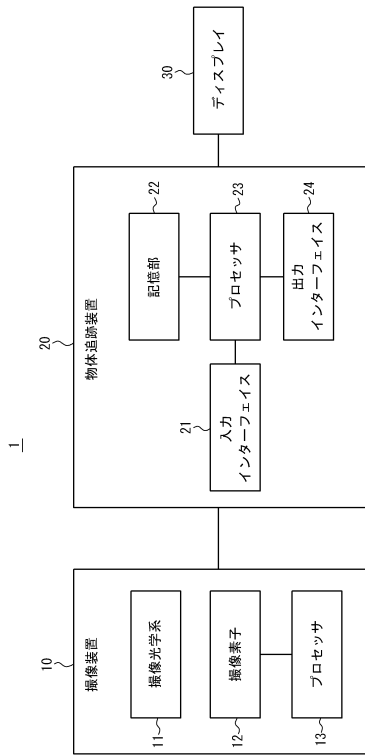
40

50

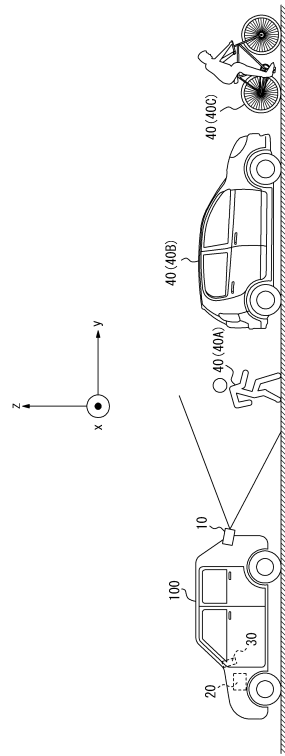
50

【図面】

【図 1】



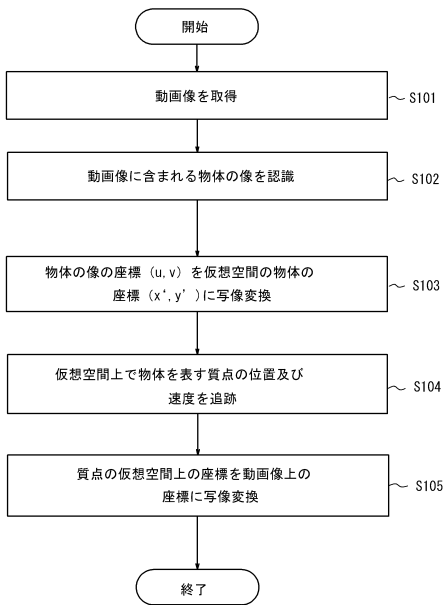
【図 2】



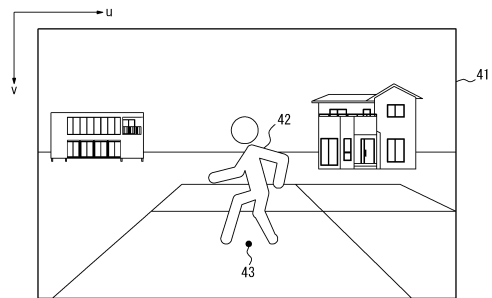
10

20

【図 3】



【図 4】

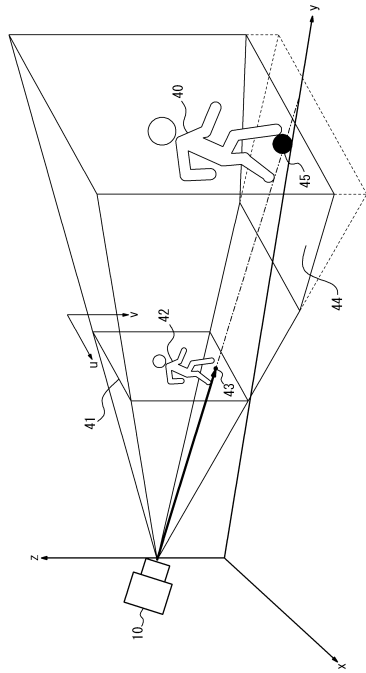


30

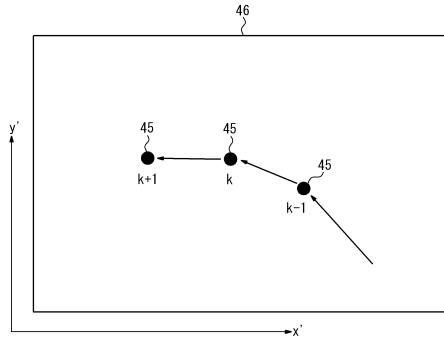
40

50

【図 5】



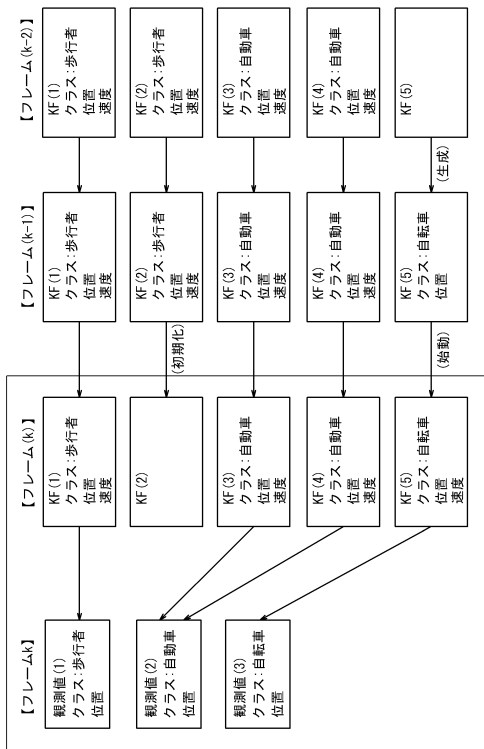
【図 6】



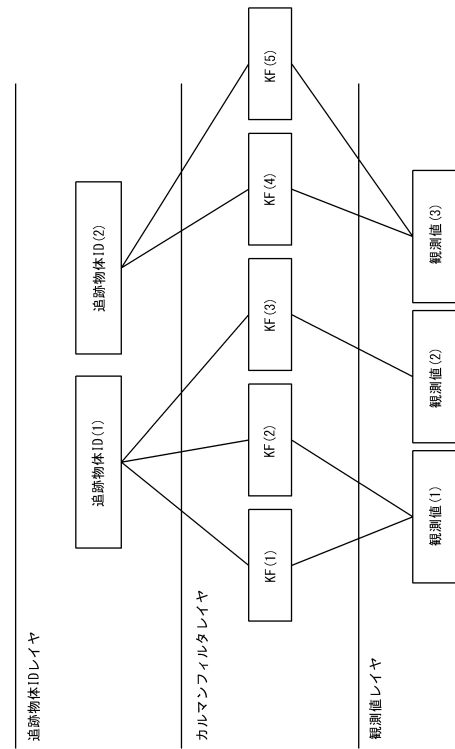
10

20

【図 7】



【図 8】

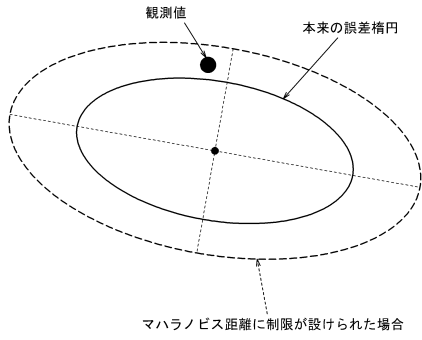


30

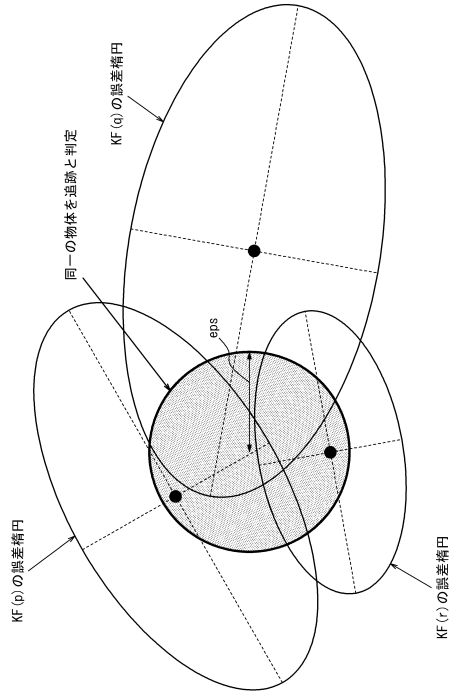
40

50

【図 9】



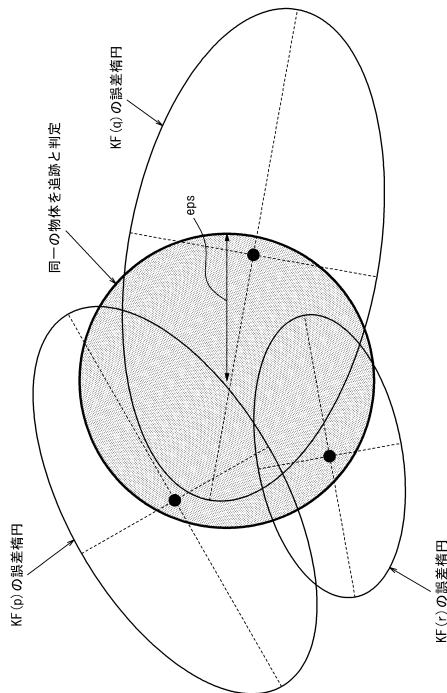
【図 10】



10

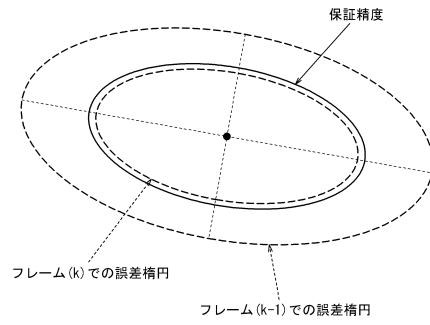
20

【図 11】



30

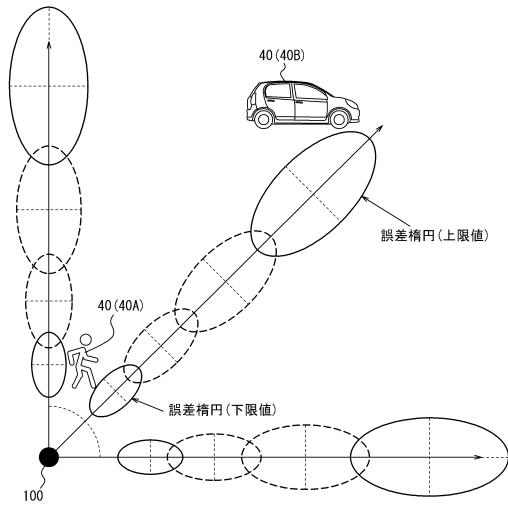
【図 12】



40

50

【 図 13 】



10

20

30

40

50

## フロントページの続き

- 京都府京都市伏見区竹田鳥羽殿町 6 番地 京セラ株式会社内  
(72)発明者 佐原 徹
- 京都府京都市伏見区竹田鳥羽殿町 6 番地 京セラ株式会社内  
(72)発明者 童 方偉
- 京都府京都市伏見区竹田鳥羽殿町 6 番地 京セラ株式会社内  
(72)発明者 本間 拓也
- 京都府京都市伏見区竹田鳥羽殿町 6 番地 京セラ株式会社内  
審査官 鈴木 圭一郎
- (56)参考文献 特開 2 0 1 9 - 1 6 8 9 5 3 ( J P , A )  
国際公開第 2 0 1 8 / 1 0 5 1 1 2 ( W O , A 1 )
- (58)調査した分野 (Int.Cl. , D B 名)  
G 0 6 T 7 / 2 7 7