

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号  
特許第6211263号  
(P6211263)

(45) 発行日 平成29年10月11日(2017.10.11)

(24) 登録日 平成29年9月22日(2017.9.22)

(51) Int.Cl.

F I

G O 6 T 1/00 (2006.01) G O 6 T 1/00 3 3 O A

G O 1 B 11/24 (2006.01) G O 1 B 11/24 K

G O 8 G 1/16 (2006.01) G O 8 G 1/16 C

請求項の数 13 外国語出願 (全 22 頁)

(21) 出願番号	特願2012-266408 (P2012-266408)	(73) 特許権者	514281407
(22) 出願日	平成24年12月5日 (2012.12.5)		モービルアイ ヴィジョン テクノロジー
(65) 公開番号	特開2013-239143 (P2013-239143A)		ズ リミテッド
(43) 公開日	平成25年11月28日 (2013.11.28)		イスラエル国, 9 7 7 7 5 1 3 エルサレ
審査請求日	平成27年12月2日 (2015.12.2)		ム, ハー ホツヴィム, ピー. オー. ピー
(31) 優先権主張番号	61/567, 132	(74) 代理人	100114775
(32) 優先日	平成23年12月6日 (2011.12.6)		弁理士 高岡 亮一
(33) 優先権主張国	米国 (US)	(72) 発明者	ギデオン, ステイン
(31) 優先権主張番号	61/727, 722		イスラエル国, 9 6 2 6 3 エルサレム,
(32) 優先日	平成24年11月18日 (2012.11.18)		1 8 シャハール ロード
(33) 優先権主張国	米国 (US)		
(31) 優先権主張番号	61/727, 755		
(32) 優先日	平成24年11月19日 (2012.11.19)		
(33) 優先権主張国	米国 (US)		

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 道路の垂直輪郭検出

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

道路の垂直輪郭における偏差を検出するためのコンピュータ化された方法であって、前記方法は、ホスト車両が前記道路沿いに動いている間に、前記ホスト車両内に搭載可能な運転者支援システムによって実行可能であり、前記運転者支援システムは、プロセッサに作動可能に連結可能なカメラを含み、

第 1 の画像フレームおよび第 2 の画像フレームを前記カメラの視野内に捕捉することと、

複数の像点を前記第 1 の画像フレーム内で選択することと、  
前記像点に対して、前記像点を中心にそれぞれが配置された複数の画像表示を配置することと、

前記道路に対する平面モデルを仮定して、前記第 2 の画像フレームを前記第 1 の画像フレームに向かって最初に歪めることを含み、それにより歪められた第 2 の画像フレームを生成することと、

前記第 1 の画像フレーム内の前記画像表示を、前記歪められた第 2 の画像フレーム内の対応する画像表示と相関させることによって、前記像点をトラッキングすることであって、それにより複数のトラッキングされた点を生成する、トラッキングすることと、

前記道路のそれぞれの画像間の画像の動きを処理することであって、前記道路の前記画像は、前記第 1 の画像フレームと前記歪められた第 2 の画像フレームとの間から抽出され、前記道路の前記画像間の前記画像の動きを前記処理することは、前記道路の路面モデル

を使用して、前記道路の前記垂直輪郭を見積ることを含む、処理することと、  
前記垂直輪郭における前記偏差を前記路面モデルから計算することと、  
を含む方法。

【請求項 2】

前記垂直輪郭における前記偏差を前記路面モデルから前記計算することは、前記第 1 の画像フレームから抽出された前記道路の複数の第 1 の画像表示と、前記第 2 の画像フレームから抽出された前記道路の対応する第 2 の画像表示との間のオプティカルフローを見積ることを含む、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 3】

前記垂直輪郭における前記偏差は、前記オプティカルフローを、前記路面モデルによって予測されるようなオプティカルフローと比較することによって、またそれによって前記偏差を示す残差オプティカルフローを生成することによって、決定される、請求項 2 に記載の方法。

【請求項 4】

第 3 の画像フレームを前記カメラの前記視野内に捕捉することと、

前記第 3 の画像フレームから抽出された前記道路のそれぞれの画像と、前記第 1 および第 2 の画像フレームの少なくとも 1 つとの間の画像の動きを 2 番目に処理することと、

前記第 1 の画像フレームおよび前記第 2 の画像フレームに基づく、前記路面モデルから抽出された前記道路の道路プロファイルを、前記 2 番目に処理することと組み合わせることによってマルチフレームの路面モデルを計算することと、をさらに含む、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 5】

前記マルチフレームの路面モデルを、前記第 1 および第 2 の画像フレームからなる群から選択された少なくとも 1 つの前の画像フレームから、前記第 3 の画像フレームに、前記少なくとも 1 つの前の画像フレームと前記第 3 の画像フレームとの間のホモグラフィを使用することによって、マッピングすることをさらに含む、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 6】

前記最初に歪めることは、

前記道路に対する前記ホスト車両の少なくとも 1 つの動きに起因する、少なくとも 1 つの画像シフトを調節することによって、前記第 2 の画像フレームを前記第 1 の画像フレームと位置合わせすることであって、前記少なくとも 1 つの動きは、ヨー、ピッチおよびロールからなる群から選択される、位置合わせすることと、

前記第 2 の画像フレームと前記第 1 の画像フレームとの間の相対スケール変化に対して調節することであって、前記相対スケール変化は、前記カメラまでの距離の差に起因する、調節することと、を含む、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 7】

前記像点は、前記道路の前記画像上に固定された分布内に配置され、または、特定の分布に従って、無作為に選択される、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 8】

前記トラッキングされた点をホモグラフィに適合することと、

前記歪められた第 2 の画像フレームを前記第 1 の画像フレームに向かって精密に歪めることであって、それにより前記最初に歪めることを前記ホモグラフィを使用することによって修正し、精密に歪められた第 2 の画像フレームを生成する、精密に歪めることと、をさらに含む、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 9】

前記精密に歪められた第 2 の画像フレームと前記第 1 の画像フレームとの間のオプティカルフローを計算することと、前記オプティカルフローを路面モデルに基づく路面モデルのオプティカルフローと比較することと、をさらに含み、前記道路の垂直輪郭における前記偏差は、前記路面モデルのオプティカルフローと異なる残差オプティカルフローを生成する、請求項 8 に記載の方法。

## 【請求項 10】

道路の垂直輪郭を検出するために、カメラおよび、請求項 1 による前記コンピュータ化された方法を実行するように構成されたプロセッサを含む、運転者支援システム。

## 【請求項 11】

ホスト車両に搭載可能な運転者支援システムであって、前記運転者支援システムは、プロセッサに作動可能に連結可能なカメラを含み、前記運転者支援システムは、道路の垂直輪郭における偏差を検出するために、前記ホスト車両が前記道路沿いに動いている間に作動可能であり、第 1 の画像フレームおよび第 2 の画像フレームは、前記カメラの視野内に捕捉され、

複数の像点が前記第 1 の画像フレーム内で選択され、

10

前記像点に対して、前記像点を中心にそれぞれが配置された複数の画像表示が配置され

、  
前記道路に対する平面モデルを仮定して、前記第 2 の画像フレームが前記第 1 の画像フレームに向かって最初に歪められて、歪められた第 2 の画像フレームが生成され、

前記第 1 の画像フレーム内の前記画像表示を、前記歪められた第 2 の画像フレーム内の対応する画像表示と相関させることによって、前記像点がトラッキングされて、複数のトラッキングされた点が生成され、

画像の動きは、前記道路のそれぞれの画像間で処理され、前記道路の前記画像は、前記第 1 の画像フレームおよび前記歪められた第 2 の画像フレームから抽出され、前記道路の前記垂直輪郭は、前記道路の路面モデルを使用して見積られ、前記垂直輪郭における前記偏差は、前記路面モデルから計算される運転者支援システム。

20

## 【請求項 12】

オプティカルフローは、前記第 1 の画像フレームから抽出された前記道路の複数の第 1 の画像表示と、前記歪められた第 2 の画像フレームから抽出された前記道路の対応する第 2 の画像表示との間で見積られる、請求項 11 に記載の運転者支援システム。

## 【請求項 13】

前記垂直輪郭における前記偏差は、前記オプティカルフローを、それにより前記偏差を示す残差オプティカルフローを生成するために、前記路面モデルによって予測されたように、オプティカルフローと比較することによって決定される、請求項 12 に記載の運転者支援システム。

30

## 【発明の詳細な説明】

## 【技術分野】

## 【0001】

本発明は、形状を正確に検出するシステムに関し、詳細にはカメラを使用して道路の垂直輪郭を正確に検出するシステムに関する。

## 【背景技術】

## 【0002】

従来技術の説明

過去数年間に、車線逸脱警告 (LDW)、自動ハイビーム制御 (AHC)、交通標識認識 (TSR)、前方衝突警告 (FCW) および歩行者の検出を含む、運転者支援システム (DAS) に基づいたカメラが、市場に参入してきた。

40

## 【発明の概要】

## 【発明が解決しようとする課題】

## 【0003】

ホスト車両内に搭載可能な様々な運転者支援システムおよびコンピュータ化された方法が、本明細書に提供される。運転者支援システムは、プロセッサに作動可能に連結可能なカメラを含む。運転者支援システムは、道路の垂直輪郭における偏差を検出するために、ホスト車両が動いている間に作動可能である。第 1 の画像フレームおよび第 2 の画像フレームは、カメラの視野内に捕捉される。画像の動きは、第 1 のフレームと第 2 のフレーム

50

から抽出された道路の画像および第2のフレームから抽出された道路のそれぞれの画像間で処理される。道路の垂直輪郭は、道路の路面モデルを使用して見積られ、垂直輪郭における偏差は、路面モデルから計算される。オプティカルフローは、第1の画像フレームから抽出された道路の複数の第1の画像表示と、第2の画像フレームから抽出された道路の対応する第2の画像表示との間で見積られてもよい。垂直輪郭における偏差は、オプティカルフローを、路面モデルによって予測されるようなオプティカルフローと比較することによって決定される。残余のオプティカルフローは、道路の垂直輪郭における偏差を示す。

【課題を解決するための手段】

【0004】

10

第3の画像フレームは、カメラの視野内に捕捉されてもよく、道路のそれぞれの画像間の画像の動きは、第3の画像フレームならびに1つまたは複数の第1および第2の画像フレームから抽出されてもよい。マルチフレームの路面モデルは、該第1の画像フレームおよび該第2の該第2の画像フレームに基づく、該路面モデルから抽出された道路の道路プロファイルを、該第2の処理することと組み合わせることによって計算されてもよい。

【0005】

マルチフレームの路面モデルは、第1および/または第2の画像フレームから、第3の画像フレームに、該少なくとも1つの前の画像フレームと第3の画像フレームとの間のホモグラフィを使用することによって、マッピングされてもよい。

【0006】

20

道路の輪郭に対する平面モデルを仮定して、道路の画像の、画像の動きは、歪められた第2の画像フレームによって生成されるために、第2の画像フレームを第1の画像フレームに向かって最初に歪めることによって処理されてもよい。最初の歪みは、道路、ヨー、ピッチおよび/またはロールに対する、車両の動きに起因する画像シフトを調節することにより、第2の画像フレームを第1の画像フレームに、位置合わせすることを含んでもよい。最初の歪みは、第2の画像フレームと第1の画像フレームとの間の相対スケール変化に対する調節を含んでもよい。相対スケール変化は、カメラまでの距離の差に起因する。

【0007】

複数の像点は、第1の画像フレーム内で選択されてもよい。像点は、路面の画像上に配置されてもよく、固定格子の点に配置されてもよい。像点に対して、複数の画像表示は、像点を中心にそれぞれが配置される。像点は、複数のトラッキングされた点を生成するために、第1の画像フレーム内の画像表示を、歪められた第2の画像フレーム内の対応する画像表示と関連させることによって、トラッキングされてもよい。トラッキングされた点は、ホモグラフィに適合される。第1の画像フレームに向かって歪められた第2の画像フレームの精密な歪みは、ホモグラフィを使用することにより最初の歪みを修正するために、また精密に歪められた第2の画像フレームを生成するために実行されてもよい。オプティカルフローは、精密に歪められた第2の画像フレームと第1の画像フレームとの間で計算されてもよい。オプティカルフローは、路面モデルの基づく路面と比較される。道路の垂直輪郭における偏差は、路面モデルによって見出されたように、路面のオプティカルフローと異なる残余のオプティカルフローを生成する。

30

40

【0008】

前述および/または他の態様は、添付図面と関連して考慮すると、以下の詳細な説明から明らかになる。

【0009】

本発明を、単に例示を目的として、添付図面を参照しながら本明細書に説明する。

【図面の簡単な説明】

【0010】

【図1】本発明の態様による、車両内に搭載されたカメラまたは画像センサを含むシステムを示す図である。

【図2】本発明の態様による、車両内に搭載されたカメラまたは画像センサを含むシステ

50

ムを示す図である。

【図 3】本発明の特徴による、車両が道路に沿って移動中に道路の垂直輪郭のリアルタイム測定のための簡略化した方法の流れ図である。

【図 4】本発明の特徴による、車両内に搭載された前向きカメラから捕捉された 2 つの連続画像フレームである。

【図 5】本発明の特徴による、図 3 に示された処理ステップの詳細を示す流れ図である。

【図 6】本発明の特徴による、図 5 に示された最初に歪めるステップのさらに詳細を示す流れ図である。

【図 7 a】本発明の特徴による、歪められた画像として示された結果、すなわち図 5 の最初の歪みステップの結果を示す図である。

【図 7 b】本発明の特徴による、図 7 a の歪められた画像と一画像との差の結果として異なる画像を示す図である。

【図 8 a】本発明の特徴による、台形領域の歪められた画像である。

【図 8 b】本発明の特徴による、図 8 a の歪められた画像内の台形領域の詳細を示す図である。

【図 9 a】本発明の特徴による、画像に向かって歪められた画像の精密な歪みの結果を示す図である。

【図 9 b】本発明の特徴による、一画像に向かって歪められた画像の精密な歪みとその画像との差を示す図である。

【図 10 a】本発明の特徴による、点の高密度格子のトラッキングの結果を示す図である。

【図 10 b】本発明の特徴による、図 10 a に示された領域の詳細を示す図である。

【図 10 c】本発明の特徴による、図 10 a に示された領域の詳細を示す図である。

【図 10 d】本発明の特徴による、図 10 a に示された領域の詳細を示す図である。

【図 11】本発明の特徴による、Matlab（商標）で実行されたオプティカルフロールーチンに送り込まれる、2 つのフィルタを掛けられ、切断された画像である。

【図 12】本発明の特徴による、グレースケール画像として残余のオプティカルフローの y 成分を示す図である。

【図 13】本発明の特徴による、元の画像上にかぶせた図 12 に示されたものと同じデータを示す図である。

【図 14】本発明の特徴による、y 方向の平面の動き流れに対する、画像の y 座標のグラフである。

【図 15】本発明の特徴による、カメラからのメートル単位の距離に対する、道路プロファイルのメートル単位のグラフである。

【発明を実施するための形態】

【0011】

ここで、本発明の例が添付図面に図示された、本発明の特徴を詳細に参照する。添付図面において同様の参照番号は、すべてを通して同様の要素を指す。特徴は、図を参照することにより、本発明を説明するために以下に説明される。

【0012】

本発明の特徴を詳細に説明する前に、本発明は、その適用が以下の記載に説明された、または図面に示された構成部品の詳細な設計および配置に限定されないことを理解されたい。本発明は、他の特徴が可能である、または様々な方法で実施もしくは実行することが可能である。また、本明細書に利用された表現および用語は、説明のためであり、限定としてみなされるべきではないことを理解されたい。

【0013】

ここで、本発明の一態様による、車両 18 に搭載されたカメラまたは画像センサ 12 を含む、システム 16 を示す図 1 および 2 を参照する。順方向の視野を撮像する画像センサ 12 は、画像フレーム 15 をリアルタイムで提供し、画像フレーム 15 は、画像プロセッサ 30 によって捕捉される。プロセッサ 30 を使用して、多数の運転者支援システム / ア

10

20

30

40

50

アプリケーションの働きを同時におよび／または並行してするために、画像フレーム１５を処理してもよい。プロセッサ３０を使用して、カメラ１２の前方視野における画像または画像の一部を検出し認識するために、画像フレーム１５を処理してもよい。運転者支援システムは、取り付けられたソフトウェアおよび／または記憶装置１３内のソフトウェア制御アルゴリズムと共に、特定のハードウェア回路（図示せず）を使用して実施されてもよい。画像センサ１２は、単色もしくは白黒、すなわち、色分解がなくてもよく、または画像センサ１２は、色を感知できてもよい。図２の例として、画像フレーム１５を使用して、歩行者検知２０、交通標識認識（ＴＳＲ）２１、前方衝突警告（ＦＣＷ）２２および本発明の特徴による、道路の垂直輪郭または道路平面からの偏差のリアルタイム検出２３として働く。

10

#### 【００１４】

場合によっては、画像フレーム１５は、異なる運転者支援アプリケーションとの間で分割され、場合によっては、画像フレーム１５は、異なる運転者支援アプリケーションとの間で共有されてもよい。

#### 【００１５】

紹介として、本発明の様々な実施形態は、道路の形状、すなわち垂直輪郭をホスト車両１８内に搭載されたカメラ１２を使用して、道路から正確に検出するために有益である。本明細書に提供されたシステムおよび方法を使用すると、減速ランプ、縁石およびマンホールの蓋などの隆起および／または穴は、わずか２センチメートルの垂直輪郭で道路平面から検知されてもよい。本明細書に開示されたシステムおよび方法は、前方視、側方視および背面視カメラ１２に同様に適用されてもよい。

20

#### 【００１６】

本明細書に記載された様々な方法は、路面の平面（または四次方程式）モデルを見積り、次いで隆起および穴を検出するために、小さい偏差を平面（または四次方程式）モデルから計算する。

#### 【００１７】

次に、本発明の一態様による、車両１８が道路に沿って移動中に、道路の垂直輪郭のリアルタイム測定のために、簡略化した方法２３の流れ図を示す、図３を参照する。ステップ３０３では、第１の画像フレーム１５および第２の画像フレーム１５は、車両１８内に搭載されたカメラ１２の視野内の道路を捕捉する。第１の画像フレーム１５から第２の画像フレーム１５への画像の移動は、道路の垂直輪郭を検出するために処理される（ステップ３０５）。さらに、ステップ３０５の詳細が、以下の説明に示される。

30

#### 【００１８】

次に、本発明の特徴による、車両１８内に搭載された前向きカメラ１２から捕捉された（ステップ３０３）、２つの連続した画像フレーム１５ａおよび１５ｂを示す図４も参照する。画像フレーム１５ｂは、画像フレーム１５ａが捕捉された後で捕捉される。同様に、画像フレーム１５ｂは、画像フレーム１５ａを捕捉する前に捕捉されてもよい。以下に説明されるカメラ１２は、Mobileye（商標）のadvance warning system（事前警報システム）（AWS）（商標）に使用されるような、WVGACamera（Aptina M9V024およびSunny 4028A 5.7mmレンズ）であってもよい。

40

#### 【００１９】

次に、本発明の特徴による、処理ステップ３０５の詳細を示す流れ図を含む図５も参照する。用語「歪める」は、本明細書に使用される場合、画像の空間から画像の空間への変形を表す。

#### 【００２０】

画像フレーム１５ｂは、画像フレーム１５ａに最初に歪められる（ステップ５０１）。（同様の工程で、画像フレーム１５ａは、画像フレーム１５ｂに最初に歪められてもよい）。道路はほとんど平面としてモデル化することができると考えられる。したがって、道路の像点は、ホモグラフィに従って画像空間を移動する。用語「ホモグラフィ」は、本明

50

細書に使用される場合、射影空間からそれ自体に直線から直線にマッピングする可逆変換を表す。コンピュータ視覚の分野では、空間における同じ平面の2つの画像は、ピンホールカメラのモデルとみなされるホモグラフィによって関連付けられる。

【0021】

特に、例として、所与のカメラ12の高さ(1.25m)、焦点距離(950画素)およびフレーム間(1.58m)の車両の動きに対して、2つの画像フレーム15aと15bとのそれぞれの間の道路平面上の点の動きを予測することが可能であってもよい。道路の点の動きに対してほとんど平面のモデルを使用すると、第2の画像15bを第1の画像15aに向かって歪めることが可能である。以下のMatlab(商標)コードは、最初の歪みステップ501を実行するはずである。

【数1】

```
[h,w]=size(lin);
lout=zeros(size(lin));
for i=1:h,
    for j=1:w,
        x=j;
        y=i;
        S=dZ/(f*H);
        x1=x(:)-x0;
        y1=y(:)-y0;
        y2=y1./(1+y1*S);
        x2=x1./(1+y1*S);
        x2=x2+x0;
        y2=y2+y0;

        lout(i,j)=bilinearInterpolate(lin,x2,y2);
    end;
end;
```

式中、 $dZ$ は車両18の前進運動、 $H$ はカメラ12の高さ、および $f$ はカメラ12の焦点距離である。 $p_0 = (x_0; y_0)$ は、道路構造の消滅点である。別法として、車両18におけるシステム1の取付け中に最初の校正值を使用することが可能であってもよい。式中、 $x_0$ は車両18の前方向であり、 $y_0$ は車両18が水平面上にある際は、水平線である。変数 $S$ は、カメラ12から異なる車両距離 $Z$ で捕捉された2つの画像フレーム15aと15bとの間の画像座標に関する、全体のスケール係数である。用語「相対スケール変化」は、本明細書に使用される場合、カメラ12までの距離 $Z$ に依存する画像座標における全体のスケール変化を表す。

【0022】

次に、本発明の特徴による、最初に歪めるステップ501のさらに詳細を示す、流れ図を含む図6を参照する。道路モデルによると、画像15bは、利用可能なヨー、ピッチおよびロールの見積りに従って、画像15aに向かった回転(ステップ601)によって変形される。見積りは、車両18内またはカメラ12内の前方のヨーレートセンサなどの慣性センサからもたらされてもよい。また、見積りは、前の画像フレーム15から計算された値からもたらされることもある。最初の歪みは、ステップ603に示された平面道路の平面モデルに基づいた。

【0023】

10

20

30

40

50

実際には、回転（ステップ 6 0 1）および道路モデルの歪み（ステップ 6 0 3）は、単一の歪みに組み合わせることができるので、共一次内挿法の 1 つのステップのみが必要とされる。ピッチおよびヨーのみが関与する場合は、これらを画像シフトによって概算することができる。たとえば、ヨーは、方程式 1 および 2 から水平画像シフト  $P i x e l_s$  を概算することができる。

【数 2】

$$\delta\Theta = \delta t \times yawRate; \quad (1)$$

【数 3】

$$\delta\Theta_{Pixels} = \frac{f\delta\Theta * \pi}{180} \quad (2)$$

10

【0 0 2 4】

次に、本発明の特徴による、歪められた画像 1 5 w として示された結果、すなわち画像 1 5 a に向かう画像 1 5 b の最初の歪みステップ 5 0 1 の結果を示す、図 7 a を参照する。歪みは、車両 1 8 の動き（速度計、慣性センサなどから）に基づいてもよい。

【0 0 2 5】

次に、本発明の特徴による、画像 1 5 d として示された、歪められた画像 1 5 w と画像 1 5 a との差を示す、図 7 b を参照する。図 7 b では、道路上の一部の特徴は依然として完全には位置合わせされないことがわかる。

20

【0 0 2 6】

点のトラッキング

最初の歪み（ステップ 5 0 1）後、道路上の特徴の残余の動きは、画像 1 5 a から画像 1 5 w への画像表示の均一な移動として、局部的に概算できる。これは、元の画像 1 5 a と歪められていない画像 1 5 b との間の真の動きではなく、表示の動きも非均一のスケール変化である。

【0 0 2 7】

次に、本発明の特徴による、台形領域 8 0 の、歪められた画像フレーム 1 5 w を示す図 8 a も参照する。車線マークおよび陰影などの強力な特徴に付勢を常に与えるはずである特徴点を見出そうとするのではなく、点の固定格子 8 4 を使用してトラッキングする（ステップ 5 0 7）。点の格子 8 4 は、1 5 メートル前方に 1 車線幅で概ねマッピングする、台形領域 8 0 から選択される（ステップ 5 0 3）。点 8 4 は、水平方向に 2 0 画素毎に、垂直方向に 1 0 画素毎に離間される。別法として、特定の分布に従って、点を無作為に選択する。

30

【0 0 2 8】

画像 1 5 a の各点を中心に、表示が配置される（ステップ 5 0 5）。この場合、表示は、1 7 x 1 7 の画素四方をもたす点を中心にした各方向に 8 画素ある。次いで、標準化された相関関係を、歪められた画像 1 5 w に対して計算する（たとえば、Matlab（商標）関数  $normxcorr2$ ）。ただし、表示の中心は、検索領域内でシフトされる。実際の使用では、ヨーセンサはあるがピッチセンサはなくてもよいので、より厳密な検索領域が y 方向よりむしろ x 方向に使用される。x 方向に  $(2 \times 4 + 1)$  画素の検索領域が使用されてもよく、y 方向に  $(2 \times 10 + 1)$  画素の検索領域が使用されてもよい。

40

【0 0 2 9】

最高相関スコアを与えるシフトが発見され、サブ画素解像度 0 . 1 画素の最良のスコア位置を中心に絞込み検索が続いた。この絞込みステップは、最高スコアを中心とする整数スコアを放物面または薄板に適合させようとし、サブ画素の一致を計算するために最高スコアを中心とするこれらの整数スコアを使用する、優れた結果を与えた。また、サブ画素解像度 0 . 1 画素の絞込み検索は、差の二乗和を最小にするルーカスカナデ法より良好な結果も与えた。

50



## 【0030】

無効なトラッキングは、トラッキングステップ507の結果としてトラッキングされた点509を残す閾値（たとえば、 $T = 0.7$ ）を超えるスコアの点を選択することにより、検索段階で除去されてもよく、歪められた画像15wから画像15aへの逆トラッキングは、反対方向に同様の値を与える。逆トラッキングは、左右の検証とステレオ方式に同様である。

## 【0031】

次に、本発明の特徴による、歪められた画像フレーム15wにおける台形領域80の詳細82を示す、図8bも参照する。三角形および円形の点84は、開始場所にある。菱形の点は、対応するトラッキング場所にある。内座層は円形で示され、外座層は三角形で示される。

10

## 【0032】

## 堅固な適合

トラッキングステップ507の結果としてのトラッキングされた点509は、無作為標本抽出（RANSAC）を使用してホモグラフィに適合される（ステップ511）。点の数（たとえば、4）は、無作為に選択され、ホモグラフィを計算するために使用される。次いで、点509は、ホモグラフィを使用して変形され、閾値により接近した点の数が数えられる。無作為に4点を選択すること、および閾値により接近した点の数を数えることは、多くの回数繰り返され、最高数を与えた4点が保持される。

20

## 【0033】

工程の最後に、最良の4点を使用して点を再度変形し（ステップ513）、（恐らく異なる）閾値より接近したすべての点（内座層）は、最小二乗を使用してホモグラフィを計算するために使用される。（恐らく異なる）閾値より接近していない残りの点は、外座層とみなされる。

## 【0034】

工程のこの点において、内座層の数および歪められた画像15wにおけるそれらの拡散は、道路平面モデルの発見に成功したことを示す。通例、100を超える内座層および良好な適合を得る。図8bは、円形としての内座層および三角形としての外座層を示す。次いで、ホモグラフィを使用して、最初の位置合わせ歪み（ステップ501）を修正できる。最初の位置合わせ歪みの修正は、修正を最初の歪みに統合することによってなされる（ステップ501）、または2つの歪みを連続してなすことができる。前者は、1つの挿入ステップのみを必要とするので有利であり、2つのホモグラフィ行列の行列乗算により、恣意的に実行できる。

30

## 【0035】

次に、本発明の特徴による、画像15aに向かって歪められた画像15wの精密な歪みの結果を示す、図9aを参照する。図9aにおいて、道路上の特徴は、ほとんど完全に位置合わせされる。しかし、依然として構成されない一部の明度差が存在する。

## 【0036】

次に、本発明の特徴による、画像15aに向かって歪められた画像15wと画像15aとの差を示す、図9bを参照する。

40

## 【0037】

## 高密度のトラックおよび残差流

歪められた画像15wを与えるために、画像15aに向かって画像15bを歪めた後、精密な歪みを使用して（ステップ513）、点のトラッキング（ステップ507）は、より精密な格子（たとえば、5番目の行毎に5番目の画素）を使用し、道路のより広い領域を跨いで繰り返されてもよい。道路平面は非常に良好に位置合わせされるので、より小さい領域は、各方向に2画素などを超えて、再度サブ画素検索で検索されてもよい。

## 【0038】

次に、本発明の特徴による、点の高密度格子のトラッキング結果を示す、図10aを参照する。図10aは、車両を伴う領域124および車両上の陰影104を含む。また、領

50

域 1 2 0 および 1 2 2 は、それぞれマンホールの蓋 1 0 0 および歩道 1 0 2 を含む。図 1 0 b、1 0 c および 1 0 d は、それぞれ領域 1 2 4、1 2 0 および 1 2 2 のより詳細を示す。

#### 【0039】

結果は、Matlab (商標) の振動描画として図 1 0 a ~ 1 0 d に示されている。Matlab (商標) の振動描画は、点  $(x, y)$  における成分  $(u, v)$  の矢印として、速度ベクトルを表す。たとえば、第 1 のベクトルは、成分  $u(1)$ 、 $v(1)$  によって定義され、点  $x(1)$ 、 $y(1)$  で表される。振動  $(x, y, u, v)$  は、 $x$  および  $y$  のそれぞれの対応する対の要素に指定された、座標における矢印としてベクトルを描画する。道路上の点は、ゼロに近い流れを示すべきである。道路平面の上の特徴の点は、ゼロより大きい流れを有することになり、道路平面より下の点は、ゼロより下の残差流を有することになる。正の流れは、拡大焦点 (FOE) から離れる (概して言えば下に外方に) 流れとして定義される。図 1 0 d に示されたような高くなった歩道 1 0 2、および図 1 0 c に示されたような沈んだマンホールの蓋 1 0 0 は、はっきりと表れることに留意されたい。また、道路に固定されていない物体も、車両または車両上の陰影 1 0 4 として著しい残差流を示す。0.5 画素を超える流れの点は、高くなった歩道 1 0 2 内に示され、-0.5 画素より下の流れの点は、沈んだマンホールの蓋 1 0 0 の上、車両上および車両上の陰影 1 0 4 に示される。

10

#### 【0040】

したがって、歩道は、細長い線により低い残差流の領域から分離される比較的同質の正の残差流の領域を検出することによって検出されることが可能である。これらの線は、FOE の方向、または道路の方向 (すなわち、車線マークの消失点の方向) に概ね進む。

20

#### 【0041】

ノイズに対する著しい堅牢性は、近隣点からの情報を組み合わせることによって (すなわち、ある種の平滑な制約に適應して)、変化する手法でグローバルコスト関数を使用することによって、または動的プログラミングを使用することによって、達成されることが可能である。

#### 【0042】

変化する手法

まず初めに、ホーン・アンド・シュンクのオプティカルフロー計算法は、画像 1 5 a と歪められた画像 1 5 b との間に適用されてもよい。(Horn, B. K. P および B. G. Shunck, 「Determining Optical Flow」、Artificial Intelligence, Vol. 17, No. 1 ~ 3, 1981 年 8 月, pp. 185 ~ 203) 画像は良好に位置合わせされるので、アルゴリズムは非常に良好に収束することができる。Horn および Shunck は、データおよび誤差項の両方に対して二次誤差関数を使用する。より良好な結果は、L1 誤差項を使用して得ることができる。Ce Liu のオプティカルフロー・コード (C. Liu. Beyond pixels: exploring new representations and applications for motion analysis. Doctoral Thesis. Massachusetts Institute of Technology. 2009 年 5 月. Appendix A143 ~ 148 ページ) は、非常に良好に作用する。コードは、Brox らの研究に基づいて Ce Liu によるものである。(T. Brox, A. Bruhn, N. Papenberger, および J. Weickert. High accuracy optical flow estimation based on a theory for warping. In European Conference on Computer Vision (ECCV), 25 ~ 36 ページ, 2004 年。)

30

40

#### 【0043】

しかし、Ce Liu のコードに一部の変更がなされた。変化する手法を使用する際、計算が、以下の 2 つの理由のために、ピラミッドの 1 レベル (ネストまたは元のレベル)

50

のみが制限される。

1. 道路上の組織は非常に細かいことが多く、組織は最も高い解像度の画像のみで見られ、ピラミッドの上のレベルにはない。通常、道路上に粗い組織は存在しないので、粗い組織から細かい組織に作用しない。

2. 解は、著しく粗い尺度の明度特性に向かって引かれるべきではない。そうでない場合は、解は、良好に位置合わせされた開始点から引き離され、決して回復しない。

【0044】

さらなる項が、平面モデルから遠く外れるために不利になる（すなわち、1画素を超える、または他のいくつかの閾値の流れに対して）、コスト関数に加えられてもよい。以下の関数

【数4】

$$\lambda \sum (u^2 + v^2)^a \quad (3)$$

は、良好に働く。式中、uおよびvは、xおよびyにおけるそれぞれの値であり、aはコスト項の形状を決定する。a = 4は良好に働く。データ項および平滑項と比較して、このコスト項に重きをおく。

【0045】

画像間の明度変化の効果を低減するために、帯域または高域のフィルタリングを実施してもよい。たとえば、以下の通りである。

```
f = ones(5);
f = f / sum(f(:));
f = conv2(f, f);
f = conv2(f, f);
f = conv2(f, f);
im1f = conv2(im1, f', 'same');
im2f = conv2(im2, f', 'same');
im1 = im1 - im1f;
im2 = im2 - im2f;
```

【0046】

オプティカルフローの計算は、通常道路によって占められる画像の部分のみに適用されてよい。たとえば、水平線から下のみに開始することにより、100列が左右に除去され、画像15aの底部も歪められた画像15w内に現れない（また、歪められた画像内にゼロである。図9aを参照されたい）。

【0047】

Matlab（商標）においてコードは以下の通りである。

```
im1 = im1(200:400, 100:540)
im2 = im2(200:400, 100:540)
```

【0048】

次に、本発明の特徴による、Matlab（商標）のコードを超えるオプティカルフロールーチンに流れ込む、2つのフィルタリングされ、切断された画像を示す、図11を参照する。オプティカルフロールーチンへの入力として使用される、フィルタリングされ、切り取られた2つの画像は、高域のフィルタリングによって高められた道路の組織を有する。

【0049】

次に、本発明の特徴による、グレースケール画像として、残差のオプティカルフローのy成分を示す、図12を参照する。暗部表示は、水平軸および垂直軸のそれぞれの上の(300, 400)に集中したことに留意されたい。暗部表示は、道路内に沈む、マンホールの蓋100上の負の残差流に起因する。実線は、ホスト車両車輪の正面に0.5m幅のトラックを示す。点線は、実線の各対の間のデータの行平均である。データは、データの

10

20

30

40

50

形状を可視にするために30により計測される。マンホールの蓋100に起因する右の点線の赤い線において著しい窪みに留意されたい。

【0050】

次に、本発明の特徴による、元の画像15aの上にある図12に示されたものと同じデータを示す、図13を参照する。実線は、ホスト車両の車輪の正面に0.5m幅のトラックを示す。点線は、実線の各対の間のデータの行平均である。

【0051】

次に、本発明の特徴による、y方向の平面の動き流れに対する、画像のy座標のグラフを示す、図14を参照する。図12および13に示された同じ情報は、メートル値に変換できる。まず、回転歪み、最初の歪みおよび精密な歪みは、単一の歪みに組み合わせられたとみなされる。次に、単一の歪みで、道路上の点を画像15aから画像15bに正確にマッピングする有効な機能が存在する。図14は、平面モデルによるy方向に予期される流れを示す。流れは、y軸が歪められた画像15wのy軸に位置合わせするように、x軸上に描画された。

【0052】

最小流れのy座標は、画像15aの画像空間の $y_0$ 、換言すると画像15a内の道路の水平または消失点に対応する。図14の場合、画像の座標 $y = 200$ である。最小のx座標は、画像15aと歪められた画像15wとの間の $y_0$ に対する値の変化である。画像15aと歪められた画像15wとの間の $y_0$ に対する値の変化は、有効な実際のピッチの画素単位の値である。図14に示された場合では、実際のピッチの値は10画素である。

【0053】

$y_0$ を所与として、行座標を道路平面上の距離に変換するのは容易である。

【数5】

$$Z = \frac{fH}{y - y_0} \quad (4)$$

【0054】

前進運動のみに起因する道路平面の流れ（すなわち、ピッチに対する補償後）は、組み合わせられた歪み値からピッチを引くことによって得られる。 $v$ を道路平面に対する流れとし、 $v$ を残差流とする。次いで、道路Hからの点の高さは、以下によって得られる。

【数6】

$$\delta H = \frac{\delta v}{v} H \quad (5)$$

【0055】

次に、本発明の特徴による、カメラ12からのメートル単位の距離に対する、道路プロファイルのメートル単位のグラフを示す、図15を参照する。図15は、メートル単位の距離および高さの図12の右側トラックの道路プロファイルを示す。

【0056】

動的プログラミング

動的プログラミングの使用において、（図13に示されたような）0.5m幅で、車両18の車輪の1つの正面に20m延びるトラックなどの、狭いトラックに対して、路面は道路Z上の距離の一次関数としてモデル化することができると考えられる。

【0057】

ストリップにおける各点に対して、標準化された相互関係は、サブ画素の精度に点の周囲の小さい検索領域内で計算されてもよい。小さい検索領域内で計算された標準化された相互関係は、上に記載された精密な解像度の格子と同様である。しかし、前のように各点

に対して最高の相互関係を選ぶのではなく、行に沿って平均の相互スコアをそれぞれの可能性のある残差流に対して計算し、外座層を除去するために平均した堅固性が使用されてもよい。

【 0 0 5 8 】

次に、 $y$  の関数として関数  $v$  または  $z$  の関数として  $H$  を見出され、これは合計相関スコアおよび一部の平滑スコアを最大にする。また、平面モデルから偏差のために不利益となる項を追加することも可能である。

【 0 0 5 9 】

この種の一次元最適化問題により、それ自体が動的プログラミングをもたらす。第 1 の行に対して、各残差流に対するスコアは、所与の範囲内（たとえば、2 画素）で計算される。次いで、各行  $n + 1$  に対して、行  $n + 1$  に沿って平均相関スコアに関連するスコアが計算される。また、行  $N$  における累積スコア、およびこの残差流と行  $n$  における残差流との間の平滑スコアを考慮する最良のスコアである、各残差流に対するスコアが計算される。

【 0 0 6 0 】

より明確にするために、 $N \times M$  表を提示する。ただし、 $N$  はトラックにおける画像の行数（たとえば、250 から 400 の間の 150 行）であり、 $M$  は残差流の検索空間である。たとえば、第 21 値は  $[-1 : 0 : 1 : 1]$  である。 $N$  行の 1 番目は、単に、範囲  $[-1 : 0 : 1 : 1]$  内の各残差流に対する、各残差流  $S_{NC}(1, i)$  で得られる平均相関スコアである。

【数 7】

$$T(1, i) = S_{NC}(1, i) \quad (6)$$

【 0 0 6 1 】

一般的な行  $n$ （ただし、 $n = 2 \sim N$  である）に対して、表項目  $T(n, j)$  の値は、残余動き  $j$ （ $S_{NC}(n, j)$ ）に対する行  $n$  の平均相関スコアと、 $T(n - 1, i)$  と平滑スコア  $S_{sm}(i, j)$  の組合せを最大にするスコアとの組合せである。

【数 8】

$$T(n, j) = \Psi(S_{NC}(n, j), \text{Max}_i(\Phi(T(n - 1, i), S_{sm}(i, j)))) \quad (7)$$

式中、 $\Psi$  および  $\Phi$  はスコアを組み合わせる関数である。単関数は加算が可能である。表が満たされた後、最短経路を得るために逆トラッキングを実行し、最短経路は表面を説明する。

【 0 0 6 2 】

単一フレームシステムへの更新  
計算方向

以前の型では、最近のフレームが以前のフレームに向かって歪められ、道路プロファイルが、以前のフレームの座標系において計算された。最近の型はこれを逆転し、以前の画像を最新の画像に向かって歪め、道路プロファイルは、この最新の座標フレームにおいて計算される。計算は同じであるが、以下の利点を有する。

1．以前の画像を最新の画像に向かって歪めることは、適用に対して最適な座標フレームをもたらす。

2．前方に運転する際（通常の状態）、最新画像に現れるすべての道路は、以前の画像内で見られてきた。たとえば、図 7b の例に表すように、「黒い」領域は存在しない。

3．これによりマルチフレームの概念の実行がより容易になる。

【 0 0 6 3 】

フレームの選択

現在のフレームは、フレーム 2 として選択され、次いで、車両の動きが一定値（たとえ

ば、1 m) を超える場合に、以前のフレームの中で最新のものを見出すために、フレームを通して逆検索がなされる。一定値を超える車両の動きは、車両速度およびフレームの時刻印に基づく。このフレームはフレーム 1 と表される。

#### 【 0 0 6 4 】

最初の動き歪み

最初の動き歪みに対するパラメータは、慣性センサから、もしくは画像自体から、またはその 2 つの混合から決定することができる。たとえば、通常の現代の車両では、速度もヨーレートを利用可能である。ピッチレートは利用可能ではない場合があり、画像から見積られる。

#### 【 0 0 6 5 】

ホモグラフィ行列を使用して歪みを実施することは、より便利である。そのように歪みを単一の歪みに一緒に組み合わせることができる。

#### 【 0 0 6 6 】

最初の動き歪みの段階で、近似値は、シフトし、回転を無視してヨーおよびピッチの歪みを実行するなどで使うことができる。後の位置合わせ段階は、あらゆるアフィンおよび射影運動を修正する。

#### 【 0 0 6 7 】

画像間のヨー回転は、画素に変換されたヨー角シータに基づく。次いで、ホモグラフィ行列が、画像をシフトするために構築される。

```
dTheta = dt * yawRate ;
dThetaPix = f * dTheta * pi / 180 ;
dx = round ( dThetaPix ) ;
Hdx = eye ( 3 ) ;
Hdx ( 1 , 3 ) = dx ;
```

#### 【 0 0 6 8 】

画像間のピッチは、水平線上に集中した大きい表示をトラッキングすることにより、画像から決定される ( 高解像度 1280 x 960 画素の画像に対して、表示は幅 400 画素および高さ 200 画素である )。表示は、水平方向に ± 80 画素を超えてトラッキングされ、最良の整合は、ピッチ値として使用される。領域をサブ表示にびたりと付けることができる別法として、各経路をトラッキングし、中央値を使用する。次いで、ホモグラフィ

% はピッチを見出し、ピッチに基づいて X 軸 ( シフトとしての概算 ) を中心に回転する

```
dy = findMotionY ( 12 , 11 , y0 )
Hdy = eye ( 3 ) ;
Hdy ( 2 , 3 ) = dy ;
```

#### 【 0 0 6 9 】

車両速度、焦点距離およびカメラの高さを使用して、予測される道路の動きを計算する。予測される道路の動きもホモグラフィである。

```
Hs1 = eye ( 3 ) ;
Hs1 ( 1 , 3 ) = - x0 ;
Hx1 ( 2 , 3 ) = - y0 ;
S = dZ / ( f * H ) ;
Hs2 = eye ( 3 ) ;
Hs2 ( 3 , 2 ) = S ;
Hs3 = eye ( 3 ) ;
Hs3 ( 1 , 3 ) = x0 ;
Hs3 ( 2 , 3 ) = y0 ;
Hw = Hs3 * Hs2 * Hs1 ;
```

#### 【 0 0 7 0 】

次いで、3 つのホモグラフィが、完全な変形を形成するために一緒に乗算される。

```

H a l l = H w * H d y * H d x ;
I 1 h w = h o m o W a r p 1 ( I 1 o r i g , H a l l ) ;
I 1 w = I 1 h w ;
【 0 0 7 1 】

```

点のトラッキングおよび堅固な適合

R A N S A C の結果は、最初の歪み H a l l に訂正ホモグラフィ H 2 f i x e d である。訂正ホモグラフィ H 2 f i x e d および最初の歪み H a l l は、以前の画像 1 から現在の画像 2 に道路平面の正確なホモグラフィを与えるために一緒に乗算することができる。

```

H 2 f i n a l = H a l l * H 2 f i x e d

```

【 0 0 7 2 】

正確なホモグラフィ行列を表した A ' は、カメラ 1 2 の動きからなる。

【数 9】

$$\begin{pmatrix} R, \vec{T} \end{pmatrix}$$

および水平な平面

【数 10】

$$\vec{N}'$$

カメラと平面の距離 d ' およびカメラの行列 K および K '

【数 11】

$$A' = K \left( R^{-1} + \frac{\vec{T} \vec{N}'^T}{d'_\pi} \right) K'^{-1} \quad (8)$$

【 0 0 7 3 】

「 ' 」は、第 2 の画像の座標系における項を表すために使用される。カメラの行列 K および K ' は同じであり公知であるので、ホモグラフィ行列 A ' はその成分に分解されることが可能である。

【数 12】

$$R, \vec{N} \text{ and } \frac{\vec{T}}{d'_\pi}$$

【 0 0 7 4 】

高密度のトラッキングおよび残差流

高密度の流れを全画像を通して計算する代わりに、車両の表示がヨーレートおよびステアリング角に基づいて予測され、カメラに対する左右の車輪の位置が与えられる。各車輪に対して、たとえば幅 0 . 5 m の表示は、平面のパラメータを使用して画像に投影される。この表示に沿って 5 番目の画像毎に、表示幅が 0 . 0 5 m 毎を表す 1 1 の格子点に分けられる。

【 0 0 7 5 】

0 . 0 5 m 毎を表す 1 1 の格子点に分けられた表示幅は、（各車輪の）表示に沿って良好に画定された格子点の組を与える。トラッキングは、各格子点を中心に集中した 1 7 × 1 7 または 9 × 9 画素の表示サイズに対して、画像 2 と歪められた画像 1 との間で実行される。x および y の両方において ± 8 画素の検索領域が使用され、y 方向のサブ画素解像度の検索を含む。x 方向のサブ画素解像度の検索も実行できるが、試験は改善された性能を示さず、x 方向のサブ画素解像度の検索は計算時間を増加させた。最適化として、各画素に対する検索領域は画像内の各画素位置および拡大焦点 ( F O E ) の位置に基づいて最適化されるのは、流れが F O E を通過する線上のみに予期されるからである。

10

20

30

40

50

## 【 0 0 7 6 】

代替の最適化は、F O E が無限にマッピングされるように、画像を修正することになり、視座は頭上の視点にマッピングされ、流れは垂直になる。代替の最適化は、2つのカメラのステレオ方式での修正に非常に類似している。しかし、画像上の変形が道路に沿った異なった距離に対して全く異なると考えると、画像内の水平のストリップに対して個別に修正を実行することは有利であろう。各ストリップに対して、幅が著しく変化しない場合は、1行が存在する。その1行より上の行は伸び、下の行は縮む。たとえば、5 m ~ 2 0 mの道路領域に対して、7 mを中心に5 m ~ 1 0 mの1つのストリップを歪めることができる。第2のストリップは、1 1 mを中心に8 m ~ 1 6 mであることが可能であり、第3のストリップは、1 7 mを中心に1 4 m ~ 2 2 mあることが可能である。

10

## 【 0 0 7 7 】

ストリップは、画像の全幅を延ばさないが、表示サイズを可能にする余白を伴って車輪のトラックを網羅するのに十分な幅のみを延ばす。

## 【 0 0 7 8 】

各点に対して、有効ピットは、前向き後向きの検証、最小相関値ならびにxおよびyの流れ値を可能にする閾値に基づいて設定される。各行に対して、行に沿った1 1点のうちの有効点の中間値は、該行に対する値として取られる。行に沿った有効点の数は、信頼値である。有効点がない行に対して、残差流値は、上下の近隣の有効点から挿入される。

## 【 0 0 7 9 】

さらに平滑にするステップが使用できる。たとえば、幅3の中間フィルタに続いて、幅3のフィルタを平均することを使用することができる。これにより残差流が得られる。

20

## 【 数 1 3 】



残差流は以下のようにわかる。

## 【 数 1 4 】

$$\vec{\mu} = \frac{H T_z}{Z d_{\pi}} (\vec{e} - \vec{p}_w) \quad (9)$$

30

式中、Hは基準フレームからの最高点である。経路に沿った各点に対する残差流を考えると、方程式によりHを求めることができる。

## 【 0 0 8 0 】

画素およびサブ画素の解像度において精密なトラッキングを実行することは便利であるが、平面の上下の高さの観点から検索領域を画定することも可能である。たとえば、- 2画素から2画素までをサブ画素の解像度0 . 1画素の精度で検索する代わりに、- 0 . 2 m ~ 0 . 2 mの高さを- 0 . 0 1 mの増加で検索することが可能である。- 0 . 2 m ~ 0 . 2 mの高さの- 0 . 0 1 mの増加での検索は、高さを画素シフトに変換し、標準化した相互相関を実行することが必要である。検索は、より高額であるが、最初のコスト関数において、メートルの平滑制限を課すことが可能になる。

40

## 【 0 0 8 1 】

また、検索により3つ以上の動きからの情報を組み合わせる方法も可能になる。一連の3つのフレーム1、2および3を検討する。

- 1 . フレーム1および3をフレーム2に向かって歪める。
- 2 . 点をトラッキングし、1から2へ、また3から2へ良好にトラッキングされた有効点を保持する。
- 3 . R A N S A Cを実行し、画像2から4点を選択し、画像1および3からホモグラフィを計算する。しかし、内座層の計算は、1から2および3から2へのマッピングからの最小内座層である。
- 4 . 1から2および3から2への最終ホモグラフィを計算し、画像を歪める。

50



5．車輪トラックに沿った点に対して、基準平面から最良最高値の検索を実行する。各最高値に対して、2から1および2から3への残差画素を個別に計算し、標準化した相関スコアを個別に計算し、平均（または最小化もしくは最大化）する。別法として、組み合わせられた標準化した相関スコアを計算することも可能である。

6．最良スコアを選択する。

【0082】

マルチフレーム分析

システムは、形状の特徴および10mより数センチメートル超える高さである隆起を検出できる。当然、システムにはいくらかのノイズも存在し、疑似隆起が検出される。しかし、実際の形状の特徴は、車両の動きと一致して動く一方で、ノイズに起因する疑似形状の特徴は、無作為に現れるか、または疑似形状の特徴が人為的な撮像に起因する場合は、画像内で移動しない場合がある。物体の移動に起因する形状の特徴も、車両と一致して動かない。

【0083】

したがって、情報を経時的に蓄積することが有益である。一方法は、平面情報および道路プロファイル情報を使用して3D(X, Y, Z)座標内に道路プロファイルを生成し、次いで車両のエゴモーションを使用して、フレームからフレームにモデルを変形する。カルマンフィルタを使用することが可能である。

【0084】

別の方法は、ホモグラフィ自体を使用して、情報を経時的にフレームからフレームに運ぶ。情報を経時的にフレームからフレームに運ぶために、ホモグラフィ自体を使用することは、道路プロファイルが路面上に画定されたことを巧みに生かしており、形状の特徴に起因する実際の偏差は1または2画素であり、表面領域または表示の大きさよりはるかに小さいと考えられる。基本マルチフレームのアルゴリズムは、以下の通りである。

1．フレーム $n - m$ を計算したマルチフレームの道路プロファイルを仮定する。式中、 $m$ は1と等しいことが多いが、各フレームに対するプロファイルの計算が必要ない場合は、それより大きいことがある。

2．フレーム $n$ およびフレーム $n - k$ を使用して、フレーム $n$ に対する単一フレームの道路プロファイルを計算する。式中、 $k$ は $m$ と等しくないことがある。通常、 $k$ は車両の動きが1mなどの一定値を超えるように選択される。

3．マルチフレームのプロファイルおよび単一平面のプロファイルは、異なる基準平面を使用する。異なる基準平面は、重複する著しい領域と同じ道路によって決定されるので、非常に類似していることが多いが、減速バンプを通過する際に非常に類似した基準フレームの仮定が崩れる。したがって、減速バンプの通過を以下によって補うことが重要である。

(a)  $m$ をマルチフレーム・モデルの基準平面とし、 $n$ を単一のフレームモデルの基準平面とする。

(b) 車両経路( $x, y$ )に沿った各点に対して、平面 $m$ 上の対応する( $X, Y, Z$ )点を計算する。次に、点( $X, Y, Z$ )から平面 $n$ までの距離を計算する。

(c) 点( $X, Y, Z$ )から平面 $n$ までの距離を、経路に沿った該点に対する道路プロファイルに加算する。

4．フレーム $n$ とフレーム $n - m$ との間の道路のホモグラフィ行列( $H_{n-m}$ )を計算する( $m = k$ の場合は、結果を再利用できる)。

5． $H_{n-m}$ の逆数を使用して、経路座標( $x_1, y_1$ )をフレーム $n - m$ からフレーム $n$ に変形する。これによりフレーム $n$ の座標( $x_1, y_1$ )内のフレーム $n - m$ から経路が得られる。

【数 1 5】

```

p1=[x1,y1,ones(size(y1))];
p2=p1*inv(Hnm)';
p2=[p2(:,1)/p2(:,3),p2(:,2)/p2(:,3),p2(:,3)/p2(:,3)];
x1h=p2(:,1);
y1h=p2(:,2);

```

6. マルチフレームの道路プロファイルの値 (  $ProfL_1$  ) および信頼値 (  $VS_1$  ) を  
フレーム  $n$  の経路の座標 (  $x_2, y_2$  ) に挿入する。 10

【数 1 6】

```

ProfL_1Interp=interp1(y1h,ProfL_1,y2,'linear','extrap')';
VS_1Interp=interp1(y1h,VS_1,y2,'linear','extrap')';

```

上のコードでは、経路内での小さい水平方向の変化のみが考えられる。大きい水平方向の  
変化が予期される場合は、マルチフレームの信頼値から点 (  $i$  ) で差 (  $x1h(i) - x$   
 $2(i)$  ) の関数を減ずることが可能である。

7. 新しいマルチフレームのプロファイルは、歪められたマルチフレームのプロファイル  
と現在の単一フレームのプロファイルとの間の加重平均である。 20

【数 1 7】

```

ProfL_1=(a*VS.*ProfL+(1-a)*VS_1Interp.*ProfL_1Interp)./(a*VS+(1-a)*VS_1Interp);

```

加重することは、信頼スコアおよび時間係数 (  $a$  ) に基づく。ただし、この `Matlab`  
コードに留意されたい。  $ProfL_1$ 、 $VS$ 、 $ProfL$ 、 $VS_1Interp$  およ  
び  $ProfL_1Interp$  は、すべてベクトルであり、加重平均はベクトル  $Prof$   
 $L_1$  に沿った各要素に対して実行される。

8. マルチフレームの信頼値も計算される。

【数 1 8】

```

VS_1=max(1,(a*VS+(1-a)*VS_1Interp));

```

ただし、定義されたように、単一フレームの信頼値 (  $VS$  ) は、ゼロ ~ 11 ( 0 . 05 m  
毎に抽出された幅 0 . 5 m の経路と仮定する ) の数のベクトルであることに留意されたい  
。最大関数は、マルチフレームの信頼値がベクトルにおける各点に対してゼロでないこと  
を確保する。

【0085】

本発明の実施形態は、運転者支援アプリケーションの概念において提供されているが、  
本発明の実施形態は、例として、通信、機械視覚、音声および / もしくは発話処理などの  
、他のリアルタイムの信号処理アプリケーションならびに / またはデジタル処理アプリケ  
ーションで等しく適用可能であってもよい。 40

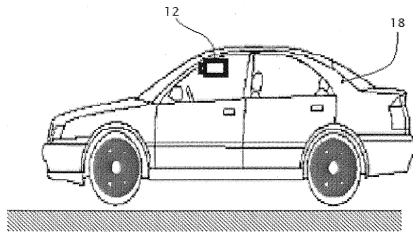
【0086】

不定冠詞「 $a$ 」、「 $an$ 」は、「 $an\ image$ 」( 1 つの画像 ) が「 $one\ or$   
 $more$ 」( 1 つまたは複数 ) の意味を有する、すなわち「 $one\ or\ more$   
 $images$ 」( 1 つまたは複数の画像 ) であるように、本明細書で使用される。

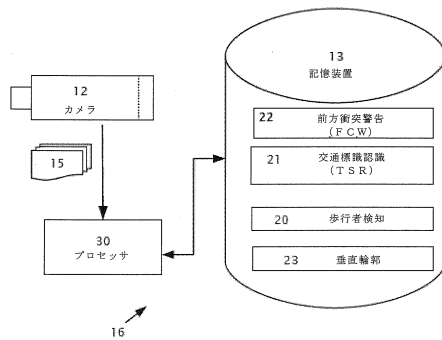
【0087】

本発明の選択された特徴が示され、説明されたが、本発明は、説明された特徴に限定さ  
れないことを理解されるべきである。その代わりに、本発明の原理および精神、特許請求  
の範囲およびその等価物によって定義されたその範囲から逸脱することなく、これらの特  
徴がなされ得ることを理解されるべきである。 50

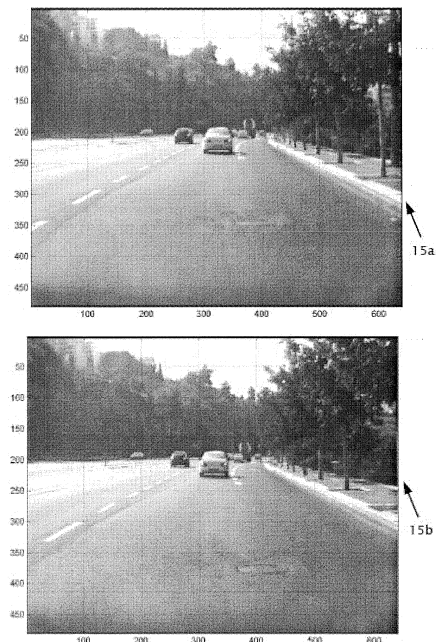
【図 1】



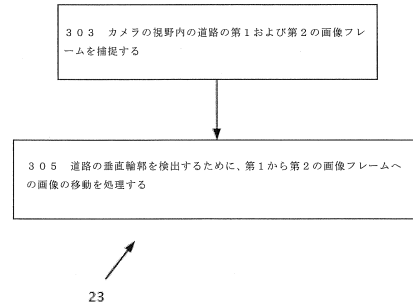
【図 2】



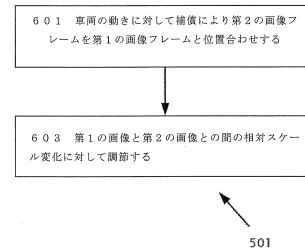
【図 4】



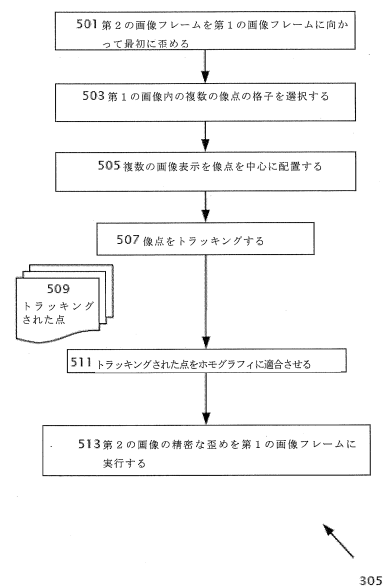
【図 3】



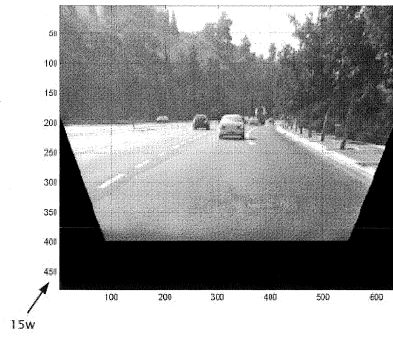
【図 6】



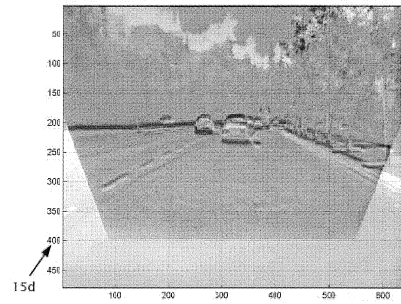
【図 5】



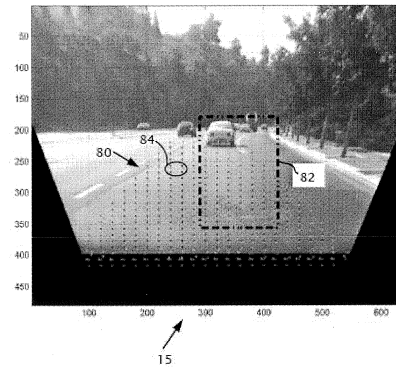
【図 7 a】



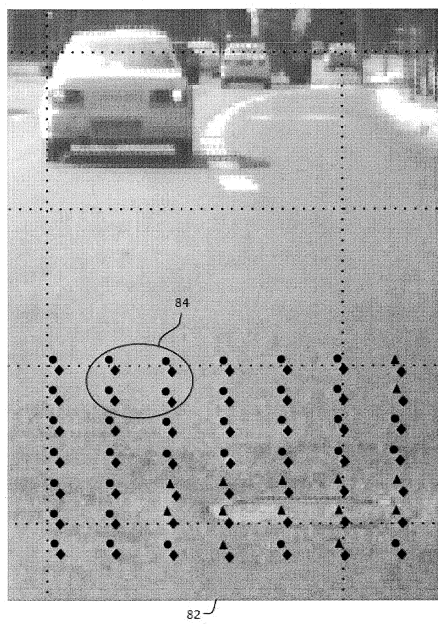
【図 7 b】



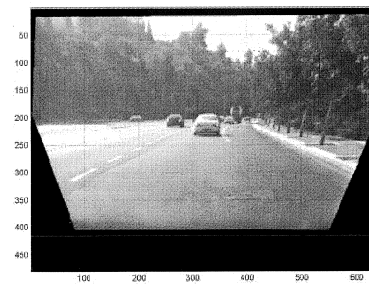
【図 8 a】



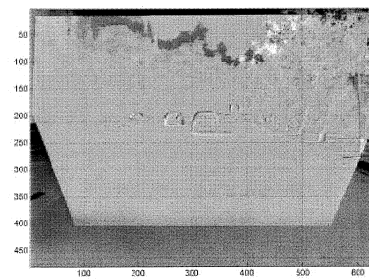
【図 8 b】



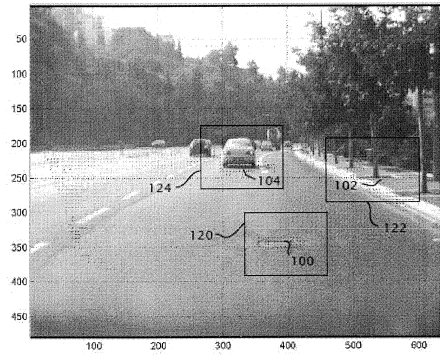
【図 9 a】



【図 9 b】



【図10a】



【図10b】

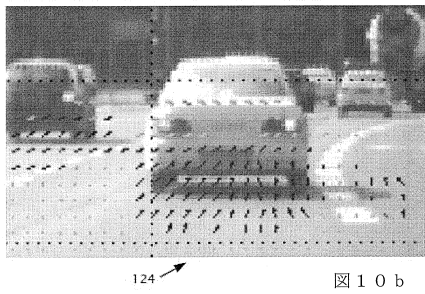


図10b

【図10c】

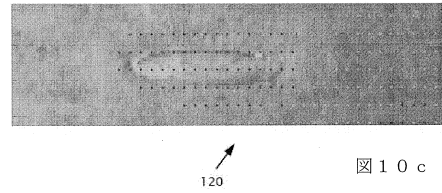


図10c

【図10d】

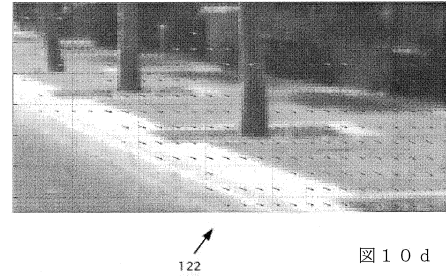
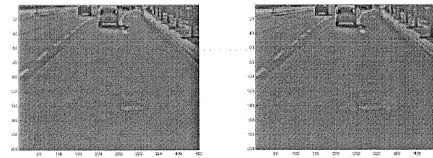
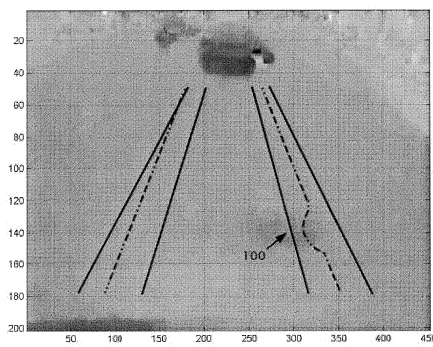


図10d

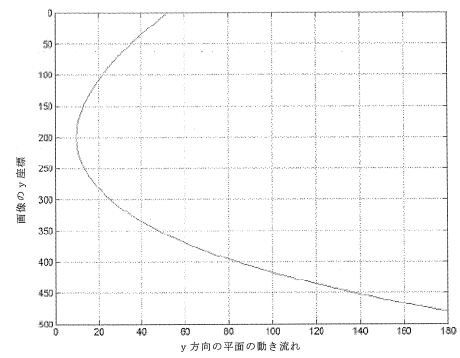
【図11】



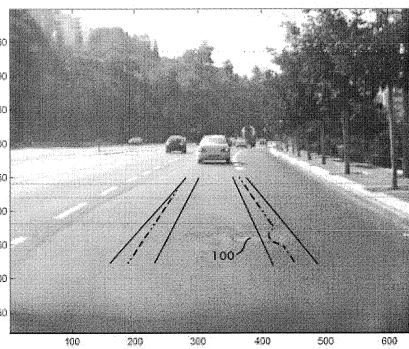
【図12】



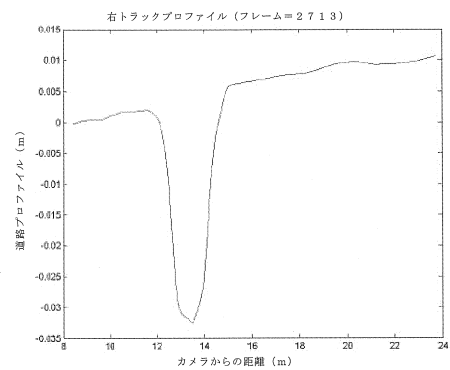
【図14】



【図13】



【図15】



---

フロントページの続き

(72)発明者 アムノン, シャシュア

イスラエル国, 9 0 8 0 5 メヴァセレト ザイオン, 2 6 ハタヴォア ストリート

審査官 佐藤 卓馬

(56)参考文献 特開 2 0 0 7 - 1 2 9 5 6 0 ( J P , A )

特開 2 0 0 5 - 3 2 3 0 2 1 ( J P , A )

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G 0 6 T 1 / 0 0

G 0 1 B 1 1 / 2 4

G 0 8 G 1 / 1 6