

(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2012-168788
(P2012-168788A)

(43) 公開日 平成24年9月6日(2012.9.6)

(51) Int.Cl. F I テーマコード (参考)
G06T 19/00 (2011.01) G06T 17/40 A 5B050
G06T 7/20 (2006.01) G06T 7/20 100 5L096

審査請求 未請求 請求項の数 8 O L (全 22 頁)

(21) 出願番号 特願2011-29820 (P2011-29820)
 (22) 出願日 平成23年2月15日 (2011.2.15)

(71) 出願人 000003609
 株式会社豊田中央研究所
 愛知県長久手市横道41番地の1
 (74) 代理人 100079049
 弁理士 中島 淳
 (74) 代理人 100084995
 弁理士 加藤 和詳
 (72) 発明者 山口 晃一郎
 愛知県愛知郡長久手町大字長湫字横道41
 番地の1 株式会社豊田中央研究所内
 Fターム(参考) 5B050 BA11 DA01 EA05 EA07 EA18
 EA27
 5L096 AA06 BA04 CA04 FA67 FA69
 HA02

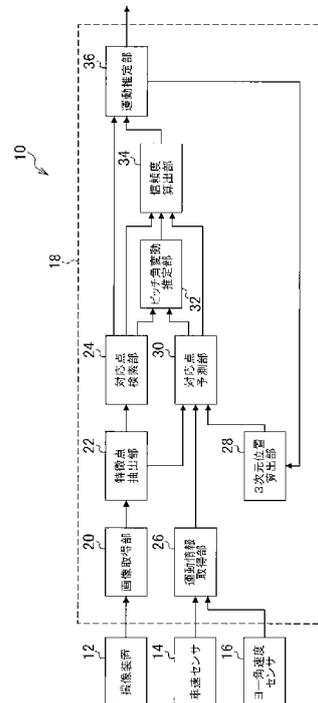
(54) 【発明の名称】 運動推定装置及びプログラム

(57) 【要約】

【課題】 全ての運動成分を計測するセンサを用いずに、移動体の運動を精度よく推定することができるようにする。

【解決手段】 対応点検索部24によって、第1の画像及び第2の画像の各々から対応点を検索する。運動情報取得部26によって、第1の画像及び第2の画像間の自車両の運動を取得する。3次元位置算出部28によって、第1の画像上における複数の特徴点の3次元位置を取得する。対応点予測部30によって、取得された自車両の運動に基づいて、3次元位置が取得された各特徴点の、第2の画像上の位置を予測する。ピッチ角変動推定部32によって、検索された各対応点における第2の画像上の位置と、予測された第2の画像上の各特徴点の位置との差分に基づいて、ピッチ角変動を推定し、信頼度算出部34によって、各対応点の信頼度を算出する。運動推定部36によって、算出された各対応点の信頼度に基づいて、自車両の運動を推定する。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

移動体の外部を撮像した第 1 の画像及び第 2 の画像の各々から、前記第 1 の画像及び第 2 の画像間に対応した特徴点を検索する検索手段と、

前記第 1 の画像及び前記第 2 の画像の各々を撮像したときの前記移動体の位置及び姿勢の変化を表わす運動を取得する運動取得手段と、

前記第 1 の画像上における複数の特徴点の 3 次元位置を取得する 3 次元位置取得手段と

、
前記運動取得手段によって取得された前記移動体の運動に基づいて、前記 3 次元位置取得手段によって 3 次元位置が取得された前記複数の特徴点の、前記第 2 の画像上の位置を予測する位置予測手段と、

10

前記検索手段によって検索された前記対応した特徴点の複数の組における前記第 2 の画像上の複数の特徴点の位置と、前記位置予測手段によって予測された前記第 2 の画像上の複数の特徴点の位置との差分に基づいて、前記第 1 の画像及び前記第 2 の画像の各々を撮像したときの前記移動体の姿勢の上下方向の変化を表わす上下回転運動を推定する上下回転運動推定手段と、

前記検索手段によって検索された前記対応した特徴点の複数の組と、前記位置予測手段によって予測された前記第 2 の画像上の複数の特徴点の位置と、前記上下回転運動推定手段によって推定された前記移動体の上下回転運動とに基づいて、前記第 1 の画像及び前記第 2 の画像の各々を撮像したときの前記移動体の運動を推定する運動推定手段と、

20

を含む運動推定装置。

【請求項 2】

前記検索手段によって検索された前記対応した特徴点の複数の組と、前記位置予測手段によって予測された前記第 2 の画像上の複数の特徴点の位置と、前記上下回転運動推定手段によって推定された前記移動体の上下回転運動とに基づいて、前記検索手段によって検索された前記対応した特徴点の複数の組の各々について、静止物を表わす領域上の特徴点の対応であって、かつ、前記特徴点の対応の正しさを示す信頼度を算出する信頼度算出手段を更に含み、

前記運動推定手段は、前記検索手段によって検索された前記対応した特徴点の複数の組と、前記対応した特徴点の複数の組について算出された前記信頼度とに基づいて、前記移動体の運動を推定する請求項 1 記載の運動推定装置。

30

【請求項 3】

前記検索手段によって検索された前記対応した特徴点の複数の組における前記第 2 の画像上の複数の特徴点の位置と、前記位置予測手段によって予測された前記第 2 の画像上の複数の特徴点の位置を、前記上下回転運動推定手段によって推定された前記移動体の上下回転運動の分だけ変更した位置とに基づいて、前記検索手段によって検索された前記対応した特徴点の全ての組のうち、前記対応した特徴点の複数の組を選択する選択手段を更に含み、

前記運動推定手段は、前記選択手段によって選択された前記対応した特徴点の複数の組に基づいて、前記移動体の運動を推定する請求項 1 記載の運動推定装置。

40

【請求項 4】

前記移動体の運動を計測する運動計測手段を更に含み、

前記運動取得手段は、前記運動計測手段によって計測された前記移動体の運動に基づいて、前記第 1 の画像及び前記第 2 の画像の各々を撮像したときの前記移動体の運動を取得する請求項 1 ~ 請求項 3 の何れか 1 項記載の運動推定装置。

【請求項 5】

前記運動取得手段は、前記運動推定手段によって過去に推定された前記移動体の運動に基づいて、前記第 1 の画像及び前記第 2 の画像の各々を撮像したときの前記移動体の運動を推定する請求項 1 ~ 請求項 3 の何れか 1 項記載の運動推定装置。

【請求項 6】

50

前記 3 次元位置取得手段は、前記運動推定手段によって推定された、前記第 1 の画像より前に撮像された前画像及び前記第 1 の画像の各々を撮像したときの前記移動体の運動と、前記検索手段によって検索された前記前画像及び前記第 1 の画像で対応した特徴点の各組とに基づいて、前記第 1 の画像上における各特徴点の 3 次元位置を算出する請求項 1 ~ 請求項 5 の何れか 1 項記載の運動推定装置。

【請求項 7】

前記第 1 の画像上における前記移動体が走行する道路領域を特定する道路領域特定手段を更に含み、

前記 3 次元位置取得手段は、予め求められた道路と前記移動体の外部を撮像する撮像手段との位置関係に基づいて、前記道路領域特定手段によって特定された前記第 1 の画像上における道路領域内の各特徴点の 3 次元位置を算出する請求項 1 ~ 請求項 5 の何れか 1 項記載の運動推定装置。

【請求項 8】

コンピュータを、

移動体の外部を撮像した第 1 の画像及び第 2 の画像の各々から、前記第 1 の画像及び第 2 の画像間で対応した特徴点を検索する検索手段、

前記第 1 の画像及び前記第 2 の画像の各々を撮像したときの前記移動体の位置及び姿勢の変化を表わす運動を取得する運動取得手段、

前記第 1 の画像上における複数の特徴点の 3 次元位置を取得する 3 次元位置取得手段と

、
前記運動取得手段によって取得された前記移動体の運動に基づいて、前記 3 次元位置取得手段によって 3 次元位置が取得された前記複数の特徴点の、前記第 2 の画像上の位置を予測する位置予測手段、

前記検索手段によって検索された前記対応した特徴点の複数の組における前記第 2 の画像上の複数の特徴点の位置と、前記位置予測手段によって予測された前記第 2 の画像上の複数の特徴点の位置との差分に基づいて、前記第 1 の画像及び前記第 2 の画像の各々を撮像したときの前記移動体の姿勢の上下方向の変化を表わす上下回転運動を推定する上下回転運動推定手段、及び

前記検索手段によって検索された前記対応した特徴点の複数の組と、前記位置予測手段によって予測された前記第 2 の画像上の複数の特徴点の位置と、前記上下回転運動推定手段によって推定された前記移動体の上下回転運動とに基づいて、前記第 1 の画像及び前記第 2 の画像の各々を撮像したときの前記移動体の運動を推定する運動推定手段

として機能させるためのプログラム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、運動推定装置及びプログラムに係り、特に、移動体の運動を推定する運動推定装置及びプログラムに関する。

【背景技術】

【0002】

従来より、屋外に存在する物体の三次元形状を精度良く特定する画像処理装置が知られている（特許文献 1）。この画像処理装置では、複数の地点で撮影された画像間で同一部分の点を特定する。正しく同一部分の点を検出するために、センシング手段により画像間の位置・姿勢情報を取得し、得られた位置・姿勢情報に基づいたエピポーラ拘束条件を利用している。つまり、得られた位置・姿勢情報により決定するエピポーラ線上で同一点の探索を行っている。

【0003】

また、画像間での特徴点の誤対応を抑制し、自車運動および 3 次元構造を算出する車両用画像処理装置が知られている（特許文献 2）。この車両用画像処理装置では、画像間での特徴点の誤対応を抑えるため、センサ情報から運動を推定し、推定した運動に基づいて

10

20

30

40

50

1枚目の画像で検出した各特徴点に対して2枚目の画像での位置を予測し、その位置を中心とした領域に探索領域を限定して、特徴点に対応する2枚目の画像での位置を検出している。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【特許文献1】特開2006-234703号公報

【特許文献2】特開2010-85240号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

10

【0005】

上記の特許文献1に記載の技術では、画像を用いずに画像間の位置・姿勢情報を検出可能なセンサを利用し、検出される位置・姿勢情報から決定されるエピソード拘束条件を満たす対応点のみを探索することで、点の誤対応を防いでいる。しかし、これを実現するためには、回転と平行移動の6自由度の成分をすべて精度良く計測できるセンサが必要であり、このようなセンサは一般的な車両では通常搭載されていない、という問題がある。

【0006】

また、上記の特許文献2に記載の技術では、センサ情報または過去の自車運動情報から得られる運動情報に基づいて特徴点の探索領域を限定することで、点の誤対応を抑制している。車両速度、加速度、及び回転角などの車両運動を計測するセンサが必要となるが、一般的にはすべての運動成分を計測できるセンサは搭載されていない。そのようなセンサがない場合には、一般的な車載センサでの計測が困難であって、かつ、過去の自車運動情報からも推定できない、急激なピッチ変動のような運動が発生すると、正しく探索領域を設定することができず、正しい特徴点の対応を求めることができない、という問題がある。また、そのような急激なピッチ変動に対応するために探索領域を広く設定した場合には、誤対応の抑制効果が低下してしまう。

20

【0007】

本発明は、上記の問題点を解決するためになされたもので、全ての運動成分を計測するセンサを用いずに、移動体の運動を精度よく推定することができる運動推定装置及びプログラムを提供することを目的とする。

30

【課題を解決するための手段】

【0008】

上記の目的を達成するために本発明に係る運動推定装置は、移動体の外部を撮像した第1の画像及び第2の画像の各々から、前記第1の画像及び第2の画像間で対応した特徴点を検索する検索手段と、前記第1の画像及び前記第2の画像の各々を撮像したときの前記移動体の位置及び姿勢の変化を表わす運動を取得する運動取得手段と、前記第1の画像上における複数の特徴点の3次元位置を取得する3次元位置取得手段と、前記運動取得手段によって取得された前記移動体の運動に基づいて、前記3次元位置取得手段によって3次元位置が取得された前記複数の特徴点の、前記第2の画像上の位置を予測する位置予測手段と、前記検索手段によって検索された前記対応した特徴点の複数の組における前記第2の画像上の複数の特徴点の位置と、前記位置予測手段によって予測された前記第2の画像上の複数の特徴点の位置との差分に基づいて、前記第1の画像及び前記第2の画像の各々を撮像したときの前記移動体の姿勢の上下方向の変化を表わす上下回転運動を推定する上下回転運動推定手段と、前記検索手段によって検索された前記対応した特徴点の複数の組と、前記位置予測手段によって予測された前記第2の画像上の複数の特徴点の位置と、前記上下回転運動推定手段によって推定された前記移動体の上下回転運動とに基づいて、前記第1の画像及び前記第2の画像の各々を撮像したときの前記移動体の運動を推定する運動推定手段とを含んで構成されている。

40

【0009】

本発明に係るプログラムは、コンピュータを、移動体の外部を撮像した第1の画像及び

50

第2の画像の各々から、前記第1の画像及び第2の画像間に対応した特徴点を検索する検索手段、前記第1の画像及び前記第2の画像の各々を撮像したときの前記移動体の位置及び姿勢の変化を表わす運動を取得する運動取得手段、前記第1の画像上における複数の特徴点の3次元位置を取得する3次元位置取得手段と、前記運動取得手段によって取得された前記移動体の運動に基づいて、前記3次元位置取得手段によって3次元位置が取得された前記複数の特徴点の、前記第2の画像上の位置を予測する位置予測手段、前記検索手段によって検索された前記対応した特徴点の複数の組における前記第2の画像上の複数の特徴点の位置と、前記位置予測手段によって予測された前記第2の画像上の複数の特徴点の位置との差分に基づいて、前記第1の画像及び前記第2の画像の各々を撮像したときの前記移動体の姿勢の上下方向の変化を表わす上下回転運動を推定する上下回転運動推定手段、及び前記検索手段によって検索された前記対応した特徴点の複数の組と、前記位置予測手段によって予測された前記第2の画像上の複数の特徴点の位置と、前記上下回転運動推定手段によって推定された前記移動体の上下回転運動とに基づいて、前記第1の画像及び前記第2の画像の各々を撮像したときの前記移動体の運動を推定する運動推定手段として機能させるためのプログラムである。

10

【0010】

本発明によれば、検索手段によって、移動体の外部を撮像した第1の画像及び第2の画像の各々から、前記第1の画像及び第2の画像間に対応した特徴点を検索する。運動取得手段によって、第1の画像及び第2の画像の各々を撮像したときの移動体の位置及び姿勢の変化を表わす運動を取得する。

20

【0011】

そして、3次元位置取得手段によって、第1の画像上における複数の特徴点の3次元位置を取得する。位置予測手段によって、運動取得手段によって取得された移動体の運動に基づいて、3次元位置取得手段によって3次元位置が取得された複数の特徴点の、第2の画像上の位置を予測する。

【0012】

そして、上下回転運動推定手段によって、検索手段によって検索された対応した特徴点の複数の組における第2の画像上の複数の特徴点の位置と、位置予測手段によって予測された第2の画像上の複数の特徴点の位置との差分に基づいて、第1の画像及び第2の画像の各々を撮像したときの移動体の姿勢の上下方向の変化を表わす上下回転運動を推定する。運動推定手段によって、検索手段によって検索された対応した特徴点の複数の組と、位置予測手段によって予測された第2の画像上の複数の特徴点の位置と、上下回転運動推定手段によって推定された移動体の上下回転運動とに基づいて、第1の画像及び第2の画像の各々を撮像したときの移動体の運動を推定する。

30

【0013】

このように、取得された移動体の運動と特徴点の3次元位置とに基づいて予測された第2の画像上の特徴点の位置との差分に基づいて、移動体の上下回転運動を推定して、移動体の運動を推定することにより、全ての運動成分を計測するセンサを用いずに、移動体の運動を精度よく推定することができる。

【0014】

本発明に係る運動推定装置は、検索手段によって検索された対応した特徴点の複数の組と、位置予測手段によって予測された第2の画像上の複数の特徴点の位置と、上下回転運動推定手段によって推定された移動体の上下回転運動とに基づいて、検索手段によって検索された対応した特徴点の複数の組の各々について、静止物を表わす領域上の特徴点の対応であって、かつ、特徴点の対応の正しさを示す信頼度を算出する信頼度算出手段を更に含み、運動推定手段は、検索手段によって検索された対応した特徴点の複数の組と、対応した特徴点の複数の組について算出された信頼度とに基づいて、移動体の運動を推定することができる。

40

【0015】

本発明に係る運動推定装置は、検索手段によって検索された対応した特徴点の複数の組

50

における第2の画像上の複数の特徴点の位置と、位置予測手段によって予測された第2の画像上の複数の特徴点の位置を、上下回転運動推定手段によって推定された移動体の上下回転運動の分だけ変更した位置とに基づいて、検索手段によって検索された対応した特徴点の全ての組のうち、対応した特徴点の複数の組を選択する選択手段を更に含み、運動推定手段は、選択手段によって選択された対応した特徴点の複数の組に基づいて、移動体の運動を推定するようにすることができる。

【0016】

上記の運動推定装置は、移動体の運動を計測する運動計測手段を更に含み、運動取得手段は、運動計測手段によって計測された移動体の運動に基づいて、第1の画像及び第2の画像の各々を撮像したときの移動体の運動を取得するようにすることができる。

10

【0017】

上記の運動取得手段は、運動推定手段によって過去に推定された移動体の運動に基づいて、第1の画像及び第2の画像の各々を撮像したときの移動体の運動を推定するようにすることができる。

【0018】

また、上記の3次元位置取得手段は、運動推定手段によって推定された、第1の画像より前に撮像された前画像及び第1の画像の各々を撮像したときの移動体の運動と、検索手段によって検索された前画像及び第1の画像で対応した特徴点の各組とに基づいて、第1の画像上における各特徴点の3次元位置を算出するようにすることができる。

【0019】

上記の運動推定装置は、第1の画像上における移動体が走行する道路領域を特定する道路領域特定手段を更に含み、3次元位置取得手段は、予め求められた道路と移動体の外部を撮像する撮像手段との位置関係に基づいて、道路領域特定手段によって特定された第1の画像上における道路領域内の各特徴点の3次元位置を算出するようにすることができる。

20

【発明の効果】

【0020】

以上説明したように、本発明の運動推定装置及びプログラムによれば、取得された移動体の運動と特徴点の3次元位置とに基づいて予測された第2の画像上の特徴点の位置との差分に基づいて、移動体の上下回転運動を推定して、移動体の運動を推定することにより、全ての運動成分を計測するセンサを用いずに、移動体の運動を精度よく推定することができる、という効果が得られる。

30

【図面の簡単な説明】

【0021】

【図1】本発明の第1の実施の形態に係る運動推定装置を示すブロック図である。

【図2】(A)対応点の第1の画像上の位置を示す図、及び(B)対応点の第2の画像上の位置と予測された特徴点の位置とを示す図である。

【図3】差分フローを説明するための図である。

【図4】抽出された特徴点と移動体の運動との関係を説明するための図である。

【図5】本発明の第1の実施の形態に係る運動推定装置における運動推定処理ルーチンの内容を示すフローチャートである。

40

【図6】本発明の第1の実施の形態に係る運動推定装置におけるピッチ角変動推定処理ルーチンの内容を示すフローチャートである。

【図7】本発明の第1の実施の形態に係る運動推定装置における推定処理ルーチンの内容を示すフローチャートである。

【図8】本発明の第2の実施の形態に係る運動推定装置を示すブロック図である。

【図9】本発明の第2の実施の形態に係る運動推定装置における運動推定処理ルーチンの内容を示すフローチャートである。

【図10】本発明の第3の実施の形態に係る運動推定装置を示すブロック図である。

【発明を実施するための形態】

50

【 0 0 2 2 】

以下、図面を参照して本発明の実施の形態を詳細に説明する。なお、車両に搭載された運動推定装置に本発明を適用した場合を例に説明する。

【 0 0 2 3 】

図 1 に示すように、第 1 の実施の形態に係る運動推定装置 1 0 は、自車両の前方の画像を撮像する単眼のカメラで構成される撮像装置 1 2 と、自車両の運動として、車速を計測する車速センサ 1 4 と、自車両の運動として、ヨー角速度を計測するヨー角速度センサ 1 6 と、撮像装置 1 2 によって撮像された画像、車速センサ 1 4 によって計測された車速、及びヨー角速度センサ 1 6 によって計測されたヨー角速度に基づいて、自車両の運動を推定して外部装置（図示省略）に出力するコンピュータ 1 8 とを備えている。なお、車速センサ 1 4 及びヨー角速度センサ 1 6 が、運動計測手段の一例である。

10

【 0 0 2 4 】

本実施の形態では、撮像装置 1 2 の単眼のカメラを自車両の前方に設置して、自車両の前方の画像を取得する場合を例に説明するが、自車両の外部の画像を撮像すればよく、例えば、単眼のカメラを自車両の後方に設置し、自車両の後方を撮像してもよい。また、単眼のカメラは、通常の画角 4 0 度程度のカメラでもよいし、広角のカメラでもよいし、全方位カメラでもよい。また、撮像する画像の波長について、種類は問わない。運動量を適切に推定できる場所であれば、設置場所、画角、波長、及び設置個数について問わない。

【 0 0 2 5 】

ヨー角速度センサ 1 6 は、例えば、ジャイロセンサを用いて構成されている。

20

【 0 0 2 6 】

コンピュータ 1 8 では、自車両の運動として、自車両の 3 軸角速度と並進方向を示す成分とを推定する。コンピュータ 1 8 は、CPU と、RAM と、後述する運動推定処理ルーチンを実行するためのプログラムを記憶した ROM とを備え、機能的には次に示すように構成されている。コンピュータ 1 8 は、撮像装置 1 2 によって撮像された複数の画像を取得する画像取得部 2 0 と、画像取得部 2 0 により取得した複数の画像から、画像上で追跡しやすい特徴点を複数抽出する特徴点抽出部 2 2 と、特徴点抽出部 2 2 により得られた 2 つの画像の各々における特徴点から、当該 2 つの画像間に対応する特徴点（以下、対応点とも称する）を検索する対応点検索部 2 4 と、を備えている。

【 0 0 2 7 】

30

特徴点抽出部 2 2 は、撮像装置 1 2 から得られる異なる時刻に撮像した 2 枚の画像から、それぞれ特徴点を抽出する。特徴点とは、周囲の点と区別でき、異なる画像間に対応関係を求めることが容易な点のことを指す。特徴点は、2 次元的に濃淡変化の勾配値が大きくなる画素を検出する方法（例えば Tomas i - Kan a d e の方法や、H a r r i s オペレータなど）を用いて、自動的に抽出される。特徴点の数としては、全画像に対して 3 0 ~ 5 0 0 点程度を想定すると良いが、状況に応じて、固定であってもよいし、可変であってもよい。適切な抽出方法であればその手法は上記の限りではない。

【 0 0 2 8 】

H a r r i s オペレータを用いる方法では、以下に説明するように、特徴点を抽出する。まず、画像の点 (u , v) の輝度を I (u , v) とし、以下の (1) 式によって、行列 M を計算する。

40

【 0 0 2 9 】

【 数 1 】

$$M = \begin{pmatrix} G_{\sigma}(I_u^2) & G_{\sigma}(I_u \cdot I_v) \\ G_{\sigma}(I_u \cdot I_v) & G_{\sigma}(I_v^2) \end{pmatrix} \dots (1)$$

【 0 0 3 0 】

50

ただし、 I_u, I_v はそれぞれ水平方向、垂直方向の微分、 G は標準偏差のガウス分布による平滑化を表す。

【0031】

そして、上記(1)式で計算された行列 M の固有値 λ_1, λ_2 を用いて、以下の(2)式によりコーナー強度を計算する。

【0032】

【数2】

$$\lambda_1 \cdot \lambda_2 - k \cdot (\lambda_1 + \lambda_2)^2 \quad \dots (2)$$

10

【0033】

ただし、 k は予め設定される定数であって、 $0.04 \sim 0.06$ の値が一般に用いられる。 $Harris$ オペレータを用いる方法では、このコーナー強度がしきい値以上でかつ極大となる点を選択し、選択された点を特徴点として抽出する。

【0034】

対応点検索部24は、特徴点抽出部22において2つの画像の各々から抽出された特徴点について、2つの画像間での対応付けを行って、2つの画像間の対応点を検索する。画像間での特徴点の対応付けは、特徴点周辺の画像パターンの相関値が最大となり、かつ相関値がしきい値以上となるペアを求めることにより行われる。例えばSSD(Sum of squared differences)による相関を用いる場合、第1の画像の特徴点 f と第2の画像の特徴点 g の相関値は以下の(3)式により計算される値が小さいほど大きな値となるように設定される。

20

【0035】

【数3】

$$\sum_{u=-w}^w \sum_{v=-w}^w (I(f_x + u, f_y + v) - J(g_x + u, g_y + v))^2 \quad \dots (3)$$

30

【0036】

ただし、特徴点の画像座標は $f = (f_x, f_y), g = (g_x, g_y)$ であり、 $I(x, y), J(x, y)$ はそれぞれ第1の画像、第2の画像の座標 (x, y) における輝度を表す。また、 w は相関を計算する周辺領域の大きさを決定する変数である。相関値の計算では、輝度でなく輝度勾配を用いる方法や、勾配方向のヒストグラムなどの特徴量による相関を用いてもよい。

【0037】

また、コンピュータ18は、車速センサ14及びヨー角速度センサ16の各々からの出力に基づいて、自車両の運動を取得する運動情報取得部26と、後述する運動推定部36による前回の推定値に基づいて、1つの画像上の特徴点の3次元位置を算出する3次元位置算出部28と、特徴点抽出部22によって抽出された特徴点、運動情報取得部26によって算出された自車両の運動、及び3次元位置算出部28によって算出された特徴点の3次元位置に基づいて、1つの画像の特徴点に対応する他の画像における特徴点の位置を予測する対応点予測部30とを更に備えている。なお、3次元位置算出部28が、3次元位置取得手段の一例であり、対応点予測部30が、位置予測手段の一例である。

40

【0038】

運動情報取得部26は、車速センサ14及びヨー角速度センサ16の各々からの出力に基づいて、第1の画像及び第2の画像を撮像した間における、3次元空間での3自由度の回転成分(ピッチ角、ヨー角、ロール角)と3自由度の平行移動成分(左右方向、上下方向、前後方向)を表わす自車両の運動を算出する。なお、自車両の運動の各成分は、第1

50

の画像を撮影したときのカメラのカメラ座標系で表されるものとする。また、搭載されているセンサで計測できない成分は0とする。本実施の形態では、車速センサ14及びヨー角速度センサ16を搭載しているため、ピッチ角とロール角の回転成分、上下方向の平行移動は計測されず、それらの運動成分は0として運動情報が出力される。

【0039】

3次元位置算出部28は、後述する運動推定部36によって前の時刻に推定された自車両の運動（現時点の第1の画像とその1つ前に撮像された画像（前の時刻における第1の画像と第2の画像）との間の運動）と、対応点検索部24によって前の時刻に検索された特徴点の対応（現時点の第1の画像とその1つ前に撮像された画像との間における特徴点の対応）とに基づいて、三角測量の原理に従って、第1の画像上での特徴点の3次元位置を算出する。

10

【0040】

対応点予測部30は、運動情報取得部26から出力される第1の画像及び第2の画像間の自車両の運動と、3次元位置算出部28から出力される第1の画像上の特徴点の3次元位置とを用いて、特徴点抽出部22によって抽出された第1の画像の各特徴点が、第2の画像上のどの位置に現れるかを予測する。第1の画像を基準としたときの第2の画像における相対的な位置・姿勢が回転行列Rと平行移動ベクトルtで表され、第1の画像の特徴点fの3次元位置が(X, Y, Z)である場合、第2の画像で対応する点の座標(\hat{x}' , \hat{y}')は、以下の(4)式に従って算出される。

【0041】

20

【数4】

$$\begin{bmatrix} \hat{u}' \\ \hat{v}' \\ \hat{w}' \end{bmatrix} = K \begin{bmatrix} R|t \\ 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{bmatrix}$$

30

$$(\hat{x}', \hat{y}') = (\hat{u}' / \hat{w}', \hat{v}' / \hat{w}') \quad \dots (4)$$

【0042】

なお、Kは撮像装置のキャリブレーション行列であり、以下の式で表される。

【0043】

【数5】

$$K = \begin{bmatrix} f_x & 0 & c_x \\ 0 & f_y & c_y \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

40

【0044】

ただし、 f_x , f_y は撮像装置のx方向、y方向の焦点距離、(c_x , c_y)は撮像装置の画像中心の画像座標を表す。

【0045】

50

また、コンピュータ 18 は、対応点検索部 24 によって検索された対応点、及び対応点予測部 30 によって予測された第 2 の画像上の特徴点の位置に基づいて、第 1 の画像と第 2 の画像の間で発生したピッチ角変動量を推定するピッチ角変動推定部 32 と、対応点検索部 24 によって検索された対応点、ピッチ角変動推定部 32 によって推定されたピッチ角変動量、及び対応点予測部 30 によって予測された第 2 の画像上の特徴点の位置に基づいて、各対応点について信頼度を算出する信頼度算出部 34 と、対応点検索部 24 によって検索された各対応点、及び信頼度算出部 34 によって算出された各対応点の信頼度に基づいて、自車両の運動を推定する運動推定部 36 とを更に備えている。なお、ピッチ角変動推定部 32 が、上下回転運動推定手段の一例であり、ピッチ角変動量が、上下回転運動の一例である。

10

【0046】

ピッチ角変動推定部 32 は、以下に説明するように、ピッチ角変動量を推定する。

【0047】

まず、対応点検索部 24 から出力される各対応点の第 1 の画像での画像座標と第 2 の画像での画像座標、および対応点予測部 30 から出力される各特徴点の第 2 の画像での予測画像座標を入力として、各特徴点に対して差分フロー d_i を計算する。図 2 (A)、(B) に示すように、 i 番目の対応点の第 1 の画像での画像座標が (x_i, y_i) 、 i 番目の対応点の第 2 の画像での画像座標が (x'_i, y'_i) 、対応点予測部 30 から得られた第 2 の画像での予測画像座標が (\hat{x}'_i, \hat{y}'_i) であるとき、差分フロー $d_i = (d_{ix}, d_{iy})$ は、以下の (5) 式に従って計算される。

20

【0048】

【数 6】

$$d_{ix} = x'_i - \hat{x}'_i, d_{iy} = y'_i - \hat{y}'_i \quad \dots (5)$$

【0049】

図 3 で示す実線のベクトルが差分フロー $d_i = (d_{ix}, d_{iy})$ であり、破線で示す 2 つのベクトルが、検索された対応点に基づくフローを示すベクトル $(x'_i - x_i, y'_i - y_i)$ と、予測された特徴点に基づくフローを示すベクトル $(\hat{x}'_i - x_i, \hat{y}'_i - y_i)$ である。このように、差分フローは、検索された対応点に基づくフローと、予測された特徴点に基づくフローとの差分の動きベクトルを示している。

30

【0050】

差分フロー d_i は、上記図 3 に示すように、対応点検索部 24 で検出された対応点から得られるオプティカルフローと、対応点予測部 30 で予測された第 2 の画像上の特徴点の位置から得られるオプティカルフローとの差分を表しており、運動情報取得部 26 から出力された運動情報と実際の運動のずれを表している。画像間で大きなピッチ角変動があり、それが運動情報取得部 26 からの運動情報に含まれない場合には、この差分フローは主にピッチ角変動により発生したフローと考えることができる。

【0051】

そこで、本実施の形態では、ピッチ角変動推定部 32 によって、各特徴点の差分フローに基づいて、運動情報取得部 26 からの運動情報に含まれていないピッチ角変動成分を推定する。

40

【0052】

信頼度算出部 34 は、対応点検索部 24 から出力される i 番目の対応点 ($i = 1, \dots, n$) について、以下の (6) 式に従って、静止物を表わす領域上の特徴点の対応であって、かつ、特徴点の対応の正しさを示す信頼度 c_i を算出する。

【0053】

【数7】

$$c_i = \exp\left(-k \cdot \left\{ (x'_i - \hat{x}_i - v_{ix})^2 + (y'_i - \hat{y}_i - v_{iy})^2 \right\}\right) \dots (6)$$

$$v_{ix} = \left(\frac{(x_i - c_x)}{f_x} \times \frac{(y_i - c_y)}{f_y} \right) \times w \times f_x, v_{iy} = \left(1 + \frac{(y_i - c_y)^2}{f_y^2} \right) \times w \times f_y$$

10

【0054】

ただし、i番目の対応点の第1の画像での画像座標が (x_i, y_i) 、i番目の対応点の第2の画像での画像座標が (x'_i, y'_i) 、対応点予測部30から得られたi番目の特徴点の第2の画像での画像座標が (\hat{x}_i, \hat{y}_i) である。また、wは、ピッチ角変動推定部32で推定されたピッチ角変動量であり、kは予め設定される定数である。

【0055】

運動推定部36は、信頼度算出部34によって算出された各対応点の信頼度を用いて、第1の画像と第2の画像の間の位置及び姿勢の変化を、第1の画像と第2の画像を撮像したときの自車両の運動として推定する。

20

【0056】

2枚の画像で対応する特徴点の座標から、2つの画像が撮像されたときの位置及び姿勢の変化を計算するとき、計算する位置及び姿勢の変化は、図4に示すような第1の画像から第2の画像への回転行列Rと並進ベクトルtから構成される6自由度の運動である。

【0057】

ここで、第1の画像から第2の画像への回転行列Rと並進ベクトルtとの計算方法について説明する。第1の画像におけるn点の対応点の画像座標 I_i と第2の画像におけるn点の対応点の画像座標 I'_i とについて(n-8)、対応点の対応関係が正しくて誤差がなければ、位置及び姿勢の変化を示す行列として、以下の(7)式を満たす 3×3 行列Fが存在する。

30

【0058】

【数8】

$$I'_i{}^T F I_i = 0 \dots (7)$$

【0059】

ただし、 $I_i = (u_i, v_i, 1)^T$ 、 $I'_i = (u'_i, v'_i, 1)^T$ であり、第1の画像での画像座標 (u_i, v_i) の点に対応する第2の画像での点の画像座標が (u'_i, v'_i) である。

40

【0060】

ここで、上記(7)式を満たす行列Fは、定数倍の不定性を持っている。すなわち、Fが上記(7)式を満たす場合には、 F_s も上記(7)式を満たす(ただし、 F_s は実数)。よって、行列Fを以下の(8)式のように表すことができる。

【0061】

【数 9】

$$F = \begin{bmatrix} f_{11} & f_{21} & f_{13} \\ f_{21} & f_{22} & f_{23} \\ f_{31} & f_{32} & 1 \end{bmatrix} \dots (8)$$

【0062】

また、上記(7)式、(8)式より、以下の(9)式が得られる。

10

【0063】

【数10】

$$\begin{aligned} u_i u'_i f_{11} + u_i v'_i f_{21} + u_i f_{31} + v_i u'_i f_{12} \\ + v_i v'_i f_{22} + v_i f_{32} + u'_i f_{13} + v'_i f_{23} + 1 = 0 \end{aligned} \dots (9)$$

【0064】

ここで、8組以上の対応点 I_i 、 I'_i があれば、上記(9)式が少なくとも8つ得られるため、8つの変数 $f_{11} \sim f_{32}$ を求めることができる。

20

【0065】

また、実画像で特徴点の対応を求めた場合には、対応する画像座標には誤差が含まれ、特徴点の中には誤った対応関係を持つ点も存在することがあるため、以下の(10)式で計算される評価値 Z_r が最大となるような行列 F を求める。

【0066】

【数11】

$$Z_r = \sum_{i=1}^n c_i \cdot \delta(d(I'_i, F_r I_i) \setminus \theta \text{ and } d(I_i, F_r^T I'_i) \setminus \theta) \dots (10)$$

30

$$I_i = (x_i, y_i, 1)^T$$

$$I'_i = (x'_i, y'_i, 1)^T$$

40

【0067】

ただし、 I_i は、 i 番目の対応点の第1の画像での画像座標を表わす同次座標ベクトルであり、 I'_i は、 i 番目の対応点の第2の画像での画像座標を表わす同次座標ベクトルである。また、 c_i は i 番目の対応点の信頼度、 $\delta(x)$ は x が真なら1、そうでないなら0をとる関数、 $d(a, b)$ は a と b との距離を表し、 θ はあらかじめ設定するしきい値である。 n は、対応点検索部24で検索された対応点の数である。

【0068】

また、撮像装置12のキャリブレーション行列 K が既知である場合には、上述したように特定された行列 F に基づいて、以下の(11)式、(12)式に従って、回転行列 R と並進ベクトル t とを計算し、第1の画像及び第2の画像の各々が撮像されたときの撮像装

50

置 1 2 の運動（位置及び姿勢の変化）として出力する。

【 0 0 6 9 】

【 数 1 2 】

$$F = K^{-T} [t]_x R K^{-1} \quad \dots (11)$$

$$[t]_x = \begin{bmatrix} 0 & -t_z & t_y \\ t_z & 0 & -t_x \\ -t_y & t_x & 0 \end{bmatrix}, \quad t = (t_x, t_y, t_z)$$

10

... (12)

【 0 0 7 0 】

上記の方法により、運動推定部 3 6 は、第 1 の画像及び第 2 の画像における複数組の対応する特徴点の画像座標と、各対応点の信頼度とに基づいて、第 1 の画像及び第 2 の画像の間における自車両の運動を計算する。

【 0 0 7 1 】

次に、第 1 の実施の形態に係る運動推定装置 1 0 の作用について説明する。なお、運動推定装置 1 0 を搭載した自車両が走行しているときに、自車両の運動を推定する場合を例に説明する。

20

【 0 0 7 2 】

撮像装置 1 2 によって所定時間間隔で自車両前方を撮像し、撮像装置 1 2 によって撮像される度に、運動推定装置 1 0 において、図 5 に示す運動推定処理ルーチンが繰り返し実行される。ステップ 1 0 0 において、異なるタイミングで撮像装置 1 2 によって自車両前方を撮像した第 1 の画像（例えば最新の画像より 1 つ前に撮像された画像）及び第 2 の画像（例えば最新の画像）を取得すると共に、ステップ 1 0 2 において、第 1 の画像及び第 2 の画像を撮像する間に車速センサ 1 4 によって計測された車速及びヨー角速度センサ 1 6 によって計測されたヨー角速度を取得し、第 1 の画像及び第 2 の画像を撮像する間の自

30

【 0 0 7 3 】

そして、ステップ 1 0 4 において、第 1 の画像及び第 2 の画像から、それぞれ所定の数だけ特徴点を抽出する。そして、ステップ 1 0 6 において、上記ステップ 1 0 4 で抽出された第 1 の画像における特徴点の各々を、第 2 の画像において追跡し、第 2 の画像から、対応する各特徴点をそれぞれ検索する。

【 0 0 7 4 】

次のステップ 1 0 8 では、前回実行された運動推定処理ルーチンにおいて推定された自車両の運動と、検索された 2 つの画像（今回の第 1 の画像とその 1 つ前に撮像された画像）で対応する特徴点とを取得する。そして、ステップ 1 1 0 において、上記ステップ 1 0 8 で取得した自車両の運動と特徴点の対応とに基づいて、第 1 の画像における各特徴点の 3 次元位置を算出する。

40

【 0 0 7 5 】

ステップ 1 1 2 では、上記ステップ 1 0 2 で算出された自車両の運動と、上記ステップ 1 1 0 で算出された第 1 の画像における各特徴点の 3 次元位置とに基づいて、当該第 1 の画像の各特徴点に対応する第 2 の画像上の特徴点の位置を予測する。

【 0 0 7 6 】

そして、ステップ 1 1 4 において、上記ステップ 1 0 6 で検索された各対応点と、上記ステップ 1 1 2 で予測された第 2 の画像上の各特徴点の位置とに基づいて、第 1 の画像及び第 2 の画像を撮像する間の自車両のピッチ角変動量を推定する。

50

【 0 0 7 7 】

次のステップ 1 1 6 では、上記ステップ 1 0 6 で検索された各対応点と、上記ステップ 1 1 2 で予測された第 2 の画像上の各特徴点の位置と、上記ステップ 1 1 4 で推定された自車両のピッチ角変動量とに基づいて、各対応点の信頼度を算出する。

【 0 0 7 8 】

そして、ステップ 1 1 8 において、上記ステップ 1 0 6 で検索された各対応点と、上記ステップ 1 1 6 で算出された各対応点の信頼度とに基づいて、2 つの撮像時刻間における撮像装置 1 2 の位置姿勢の変化、即ち、撮像装置 1 2 を搭載した自車両のその 2 時刻間における運動（X Y Z 軸方向の移動量及び X Y Z 軸を基準とする回転量）を推定し、外部装置に出力して、運動推定処理ルーチンを終了する。

10

【 0 0 7 9 】

上記の運動推定処理ルーチンが繰り返し実行され、撮像装置 1 2 によって繰り返し撮像された画像間の各々の自車両の運動が推定される。

【 0 0 8 0 】

上記ステップ 1 1 4 は、図 6 に示すピッチ角変動推定処理ルーチンによって実現される。

【 0 0 8 1 】

まず、ステップ 1 2 0 において、各対応点の差分フロー d_i として、上記ステップ 1 0 6 で検索された対応点の第 2 の画像上の特徴点の位置と、上記ステップ 1 1 2 で予測された、第 2 の画像上の対応する特徴点の位置との差分を算出する。

20

【 0 0 8 2 】

そして、ステップ 1 2 2 において、推定ピッチ角変動 p に初期値 0 を設定すると共に、最小ずれ量 e_{min} に初期値 を設定する。ステップ 1 2 4 では、繰り返し回数を示す変数 r に初期値 1 を設定し、ステップ 1 2 6 では、選択回数を示す変数 s に初期値 1 を設定する。

【 0 0 8 3 】

そして、ステップ 1 2 8 において、上記ステップ 1 0 6 で検索された各対応点から、ランダムに 1 つの対応点を選択する。ステップ 1 3 0 では、選択した対応点について上記ステップ 1 2 0 で算出した差分フロー d_i に基づいて、ピッチ角変動量を算出する。ここでは、差分フロー d_i の x 軸成分 d_{ix} と y 軸成分 d_{iy} から、それぞれピッチ角変動量 w_x , w_y を、以下の (1 3) 式を解くことにより求める。

30

【 0 0 8 4 】

【 数 1 3 】

$$d_{ix} = \left(\frac{(x_i - c_x)}{f_x} \times \frac{(y_i - c_y)}{f_y} \right) \times w_x \times f_x, d_{iy} = \left(1 + \frac{(y_i - c_y)^2}{f_y^2} \right) \times w_y \times f_y$$

・・・ (1 3)

40

【 0 0 8 5 】

ただし、 (x_i, y_i) は選択された対応点の第 1 の画像での画像座標、 f_x , f_y は x 方向、 y 方向の焦点距離を表す。

【 0 0 8 6 】

そして、ステップ 1 3 2 において、上記ステップ 1 3 0 で算出した w_x 、 w_y に基づく w_x / w_y が、許容範囲内かどうか判定する。なお、許容範囲は、1 を中心とする、例えば 0 . 9 ~ 1 . 1 などのあらかじめ設定された範囲である。差分フローがピッチ角変動によるフローであれば、計算された w_x , w_y は同じになることから、 w_x / w_y が、許容範囲内であれば、ステップ 1 3 8 へ進む。

【 0 0 8 7 】

50

一方、 w_x / w_y が許容範囲外であれば、対応点の選択をやり直すために、ステップ134へ移行し、選択回数 s を1増やす。ステップ136では、選択回数 s が最大選択回数 S 以下であるか否かを判定する。選択回数 s が S 以下であれば、上記ステップ128へ戻る。一方、選択回数 s が S より大きければ、大きなピッチ角変動が起こっており、差分フローは、ピッチ角の変動の影響が小さいと判断し、ステップ154へ移行する。

【0088】

ステップ138では、ピッチ角変動量 w を w_x, w_y の平均に設定し、ステップ140において、全対応点に対して、ピッチ角変動量から計算されるフローを算出する。ここでは、ピッチ角が w であるとき、第1の画像での画像座標が (x_i, y_i) の i 番目の対応点のピッチ角の変動から計算されるフロー $V_i = (v_{ix}, v_{iy})$ は、以下の(14)式により算出される。

10

【0089】

【数14】

$$v_{ix} = \left(\frac{(x_i - c_x)}{f_x} \times \frac{(y_i - c_y)}{f_y} \right) \times w \times f_x, v_{iy} = \left(1 + \frac{(y_i - c_y)^2}{f_y^2} \right) \times w \times f_y$$

... (14)

20

【0090】

そして、ステップ142において、各対応点について、上記ステップ140で算出したフローと、上記ステップ120で算出した差分フローとのずれを以下の(15)式に従って算出する。

【0091】

【数15】

$$\sqrt{(d_{ix} - v_{ix})^2 + (d_{iy} - v_{iy})^2}$$

... (15)

30

【0092】

次のステップ144では、上記ステップ142で算出された各対応点に対するずれの降順又は昇順に、対応点を並べて、ちょうど真ん中に並べられた対応点のずれを、ずれの中央値 e として求める。そして、ステップ146において、ずれの中央値 e が、最小ずれ量 e_{min} より小さいか否かを判定する。ずれの中央値 e が、最小ずれ量 e_{min} 以上であれば、ステップ150へ移行する。一方、ずれの中央値 e が、最小ずれ量 e_{min} 未満であれば、ステップ148において、推定ピッチ角変動 p を w に更新すると共に、最小ずれ量 e_{min} を e に更新する。

【0093】

ステップ150では、繰り返し回数 r を1増やして、ステップ152において、繰り返し回数 r が、最大繰り返し数 R 以下であるか否かを判定する。繰り返し回数 r が R 以下であれば、上記ステップ126へ戻るが、繰り返し回数 r が R より大きければ、ステップ154において、推定ピッチ角変動 p を、ピッチ角変動量の推定値として出力する。

40

【0094】

また、上記ステップ118は、図7に示す推定処理ルーチンによって実現される。

【0095】

まず、ステップ160において、繰り返し回数を示す変数 r を初期値1に設定し、ステップ162で、上記ステップ106で検索された各対応点から、ランダムに8点の対応点を選択する。

【0096】

50

そして、ステップ164において、上記ステップ162で選択された8つの対応点の組み合わせに基づいて、行列Fの要素 $f_{11} \sim f_{32}$ を算出して、行列 F_r を生成する。次のステップ166では、上記ステップ106で検索された各対応点と、上記ステップ164で生成された行列 F_r とに基づいて、上記(10)式に従って評価値 Z_r を算出する。ステップ168では、繰り返し回数 r を1増やし、ステップ170において、繰り返し回数 r が、最大繰り返し回数 T 以下であるか否かを判定する。繰り返し回数 r が T 以下である場合には、上記ステップ162へ戻るが、一方、繰り返し回数 r が T より大きい場合には、ステップ172へ進む。

【0097】

ステップ172では、上記ステップ166で算出された評価値 Z_r が最大となる行列 F_r を特定する。そして、ステップ174において、上記ステップ172で特定された行列 F_r に基づいて、上記(11)式及び(12)式に従って、第1の画像及び第2の画像を撮像した時刻間における自車両の運動の推定値を算出して、推定処理ルーチンを終了する。

10

【0098】

以上説明したように、第1の実施の形態に係る運動推定装置によれば、カルマンフィルタを用いて推定された自車両の運動と特徴点の3次元位置とに基づいて予測された第2の画像上の特徴点の位置と、検索された対応点の第2画像上の位置との差分に基づいて、自車両のピッチ角変動を推定して、対応点の信頼度を算出し、対応点の信頼度を用いて自車両の運動を推定することにより、全ての運動成分を計測するセンサを用いずに、自車両の運動を精度よく推定することができる。

20

【0099】

また、走行中に急激なピッチ変動が発生した場合においても、他の車両など周囲の移動物体の影響を受けずに、正しい静止物上の特徴点の対応に基づいて、高精度に自車両の運動を推定することができる。

【0100】

複数枚の画像を用いて画像の撮影時刻間に発生した運動を推定するとき、画像からコーナーなどの特徴的な点を抽出し、それらの点を画像間で対応付け、その点の対応関係から画像間の位置及び姿勢の変化を求める。このとき、実画像で対応点を検索する場合には誤対応した対応点が含まれていることが避けられない上、他の車両などの移動物体上の対応点も存在するため、それらの誤対応した対応点や移動物体上の対応点を用いて運動(位置・姿勢の変化)を推定すると推定誤差が大きくなる可能性がある。

30

【0101】

車載したカメラにより異なる時刻に撮影した画像間に発生する画像上の各点の動きは、各点の3次元位置および車両の運動により決定されるため、各点のおおよその3次元位置およびおおよその車両運動が既知であれば、画像間で対応する点の位置を予測することができる。各点の3次元位置、つまり周囲の環境の3次元構造情報については、前の時刻の自車両の運動と特徴点の対応とから算出可能である。また、自車両の運動情報は、車速センサやヨー角速度センサなどの車載センサから取得できる。従って、これらの情報が得られると、静止物体に関して画像間で発生する点の動きを予測できるため、その予測した動きと異なる動きを示す対応点は、誤対応または移動物体上の対応点である可能性が高いと判定することが可能であり、運動推定の精度劣化を防ぐことができる。

40

【0102】

しかし、車両の走行中には、道路上の微小な凹凸などにより急激な上下方向の回転運動、すなわち、ピッチ角変動が発生することがあり、このピッチ角変動は通常の車載センサで計測することができない。また、急激に発生する変動であるため、前の時刻までに推定した運動から推定することも困難である。このピッチ角変動は画像上の点の動きに与える影響が大きいため、ピッチ角変動の回転成分が得られていない運動情報から画像間での点の動きを予測すると、実際の点の動きとは大きく異なる。従って、対応点の誤対応や移動物体上の対応点を正しく判定することができない。

50

【0103】

そこで、本実施の形態では、ピッチ角変動なしで予測した点の動きと、検索された対応点の動きとの差分から、ピッチ角変動の回転成分のみを推定した上で、対応点の信頼度を算出する。これにより、急激なピッチ変動が発生した場合においても、誤対応した対応点であるか、及び移動物体上の対応点であるかを正しく判定して、自車両の運動を高精度に推定することができる。

【0104】

次に、第2の実施の形態について説明する。なお、第1の実施の形態と同様の構成となっている部分については、同一符号を付して説明を省略する。

【0105】

第2の実施の形態では、前の時刻までに推定された車両運動に基づいて、現時点の運動情報を取得している点と、撮像装置と道路との位置関係に基づいて、特徴点の3次元位置を算出している点とが、第1の実施の形態と異なっている。

【0106】

図8に示すように、第2の実施の形態に係る運動推定装置210は、撮像装置12と、自車両の位置を計測するGPSセンサ214と、撮像装置12によって撮像された画像、及びGPSセンサ214によって計測された自車両の位置に基づいて、自車両の運動を推定して外部装置(図示省略)に出力するコンピュータ218とを備えている。

【0107】

コンピュータ218は、画像取得部20と、特徴点抽出部22と、対応点検索部24と、地図情報記憶部222と、道路領域特定部224と、運動情報取得部226と、3次元位置算出部228と、対応点予測部30と、ピッチ角変動推定部32と、信頼度算出部34と、運動推定部36とを備えている。

【0108】

地図情報記憶部222は、道路の各地点における車線数や道路幅などの道路情報が格納された地図情報を記憶している。道路領域特定部224は、GPSセンサ214によって計測された自車両の位置に応じて、自車両の現在地点における道路情報を取得し、取得した道路情報に基づいて、撮像装置12によって撮像された画像上の道路領域を特定する。

【0109】

3次元位置算出部228は、予め求められた撮像装置12と自車両が走行する道路との3次元の位置関係に基づいて、道路領域特定部224によって特定された道路領域内の各特徴点の3次元位置を算出する。

【0110】

運動情報取得部226は、運動推定部36によって前の時刻までに推定された自車両の運動を取得し、例えばカルマンフィルタを用いて、現時点における自車両の運動(第1の画像及び第2の画像間の自車両の運動)を推定する。

【0111】

対応点予測部30は、特徴点抽出部22によって抽出された特徴点、運動情報取得部226によって算出された自車両の運動、及び3次元位置算出部228によって算出された道路領域内の特徴点の3次元位置に基づいて、3次元位置が算出された第1の画像の特徴点に対応する、第2の画像における特徴点の位置を予測する。

【0112】

第2の実施の形態に係る運動推定処理ルーチンについて、図9を用いて説明する。なお、第1の実施の形態と同様の処理については、同一符号を付して詳細な説明を省略する。

【0113】

まず、ステップ100において、撮像装置12によって撮像された第1の画像及び第2の画像を取得すると共に、ステップ250において、前回までの運動推定処理ルーチンによって推定された自車両の運動を取得し、第1の画像及び第2の画像を撮像する間の自車両の運動を推定する。

【0114】

10

20

30

40

50

そして、ステップ104において、第1の画像及び第2の画像から、それぞれ所定の数だけ特徴点を抽出し、ステップ106において、第1の画像における特徴点の各々について、第2の画像から、対応する各特徴点をそれぞれ検索する。

【0115】

次のステップ252では、GPSセンサ214によって計測された自車両の位置を取得し、自車両の位置における道路情報を取得する。そして、ステップ254では、上記ステップ252で取得した道路情報に基づいて、第1の画像上の道路領域を特定する。ステップ256では、予め求められた撮像装置12と道路との位置関係に基づいて、上記ステップ254で特定された道路領域内の特徴点の3次元位置を算出する。

【0116】

ステップ112では、上記ステップ250で推定された自車両の運動と、上記ステップ256で算出された第1の画像における各特徴点の3次元位置とに基づいて、当該第1の画像の各特徴点に対応する第2の画像上の特徴点の位置を予測する。

【0117】

そして、ステップ114において、第1の画像及び第2の画像を撮像する間の自車両のピッチ角変動量を推定し、次のステップ116では、各対応点の信頼度を算出する。そして、ステップ118において、自車両の運動を推定し、外部装置に出力して、運動推定処理ルーチンを終了する。

【0118】

このように、各点の3次元位置、つまり周囲の環境の3次元構造情報については、車載したカメラに対する道路面の位置など、およそその構造を予測可能である。また、自車両の運動情報は、前の時刻までの自車両の運動から推定することができる。

【0119】

次に、第3の実施の形態について説明する。なお、第1の実施の形態と同様の構成となっている部分については、同一符号を付して説明を省略する。

【0120】

第3の実施の形態では、各対応点に対する信頼度を算出せずに、車両運動を推定している点が、第1の実施の形態と主に異なっている。

【0121】

図10に示すように、第3の実施の形態に係る運動推定装置310のコンピュータ318は、画像取得部20と、特徴点抽出部22と、対応点検索部24と、運動情報取得部26と、3次元位置算出部28と、対応点予測部30と、ピッチ角変動推定部32と、運動推定部336とを備えている。なお、運動推定部336が、選択手段及び運動推定手段の一例である。

【0122】

運動推定部336は、対応点検索部24によって検索された対応点、ピッチ角変動推定部32によって推定されたピッチ角変動量、及び対応点予測部30によって予測された第2の画像上の特徴点の位置に基づいて、以下に説明するように、自車両の運動を推定する。

【0123】

まず、対応点検索部24によって検索された対応点のうち、検索された対応点の第2の画像上での画像座標と、対応点予測部30から得られた第2の画像上での予測画像座標にピッチ角変動推定部32で得られたピッチ角変動分を加えた画像座標と、の距離がしきい値以下である対応点を選択する。

【0124】

ここで、検索された対応点の第2の画像上での画像座標と、予測画像座標にピッチ変動分を加えた画像座標との距離は、以下の(16)式で計算される。

【0125】

10

20

30

40

【数 16】

$$\left(x'_i - \hat{x}'_i - v_{ix}\right)^2 + \left(y'_i - \hat{y}'_i - v_{iy}\right)^2 \quad \dots (16)$$

【0126】

そして、選択された対応点を用いて、第1の画像と第2の画像を撮像したときの自車両の運動を推定する。

【0127】

このとき、評価値を最大にする行列 F_r の特定に、対応点の信頼度は用いず、以下の (17) 式で計算される評価値 Z_r を用いる。 10

【0128】

【数 17】

$$Z_r = \sum_{i=1}^n \delta\left(d(I'_i, F_r I_i) \chi \theta \text{ and } d(I_i, F_r^T I'_i) \chi \theta\right) \quad \dots (17)$$

【0129】

ただし、 n は、選択された対応点の数である。 20

【0130】

なお、第3の実施の形態に係る運動推定装置の他の構成及び処理については、第1の実施の形態と同様であるため、説明を省略する。

【0131】

このように、推定されたピッチ角変動を用いて、正しい静止物上の対応点を選択することにより、走行中に急激なピッチ変動が発生した場合においても、他の車両など周囲の移動物体の影響を受けずに、高精度に自車両の運動を推定することができる。

【0132】

なお、上記の第1の実施の形態～第2の実施の形態では、上記(6)式に従って、対応点に対する信頼度を算出する場合を例に説明したが、これに限定されるものではなく、上記(16)式で算出される距離が大きいほど信頼度が低くなるような他の関数を用いて、対応点に対する信頼度を算出するようにしてもよい。 30

【0133】

また、上記の第1の実施の形態及び第3の実施の形態では、車速センサ及びヨー角速度センサを用いた場合を例に説明したが、これに限定されるものではなく、他のセンサを用いて、ピッチ角成分以外の運動情報を計測するようにしてもよい。

【0134】

本発明のプログラムは、記憶媒体に格納して提供するようにしてもよい。

【符号の説明】

【0135】

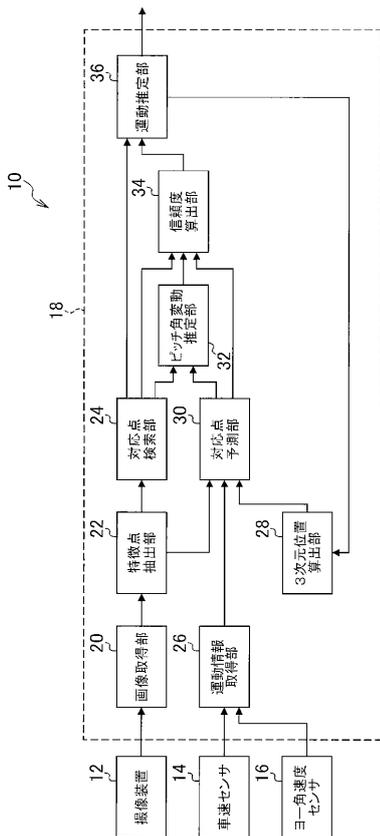
- 10、210、310 運動推定装置
- 12 撮像装置
- 14 車速センサ
- 16 ヨー角速度センサ
- 18、218、318 コンピュータ
- 22 特徴点抽出部
- 24 対応点検索部
- 26、226 運動情報取得部
- 28、228 3次元位置算出部
- 30 対応点予測部

40

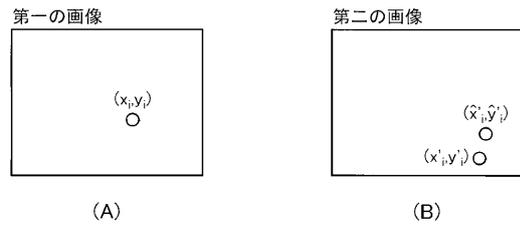
50

- 3 2 ピッチ角変動推定部
- 3 4 信頼度算出部
- 3 6、3 3 6 運動推定部
- 2 1 4 G P S センサ
- 2 2 2 地図情報記憶部
- 2 2 4 道路領域特定部

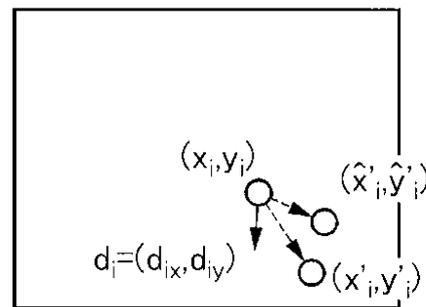
【 図 1 】



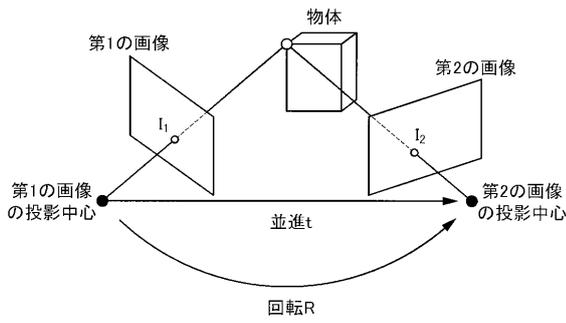
【 図 2 】



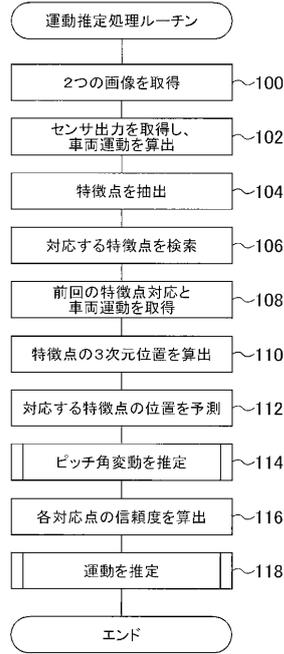
【 図 3 】



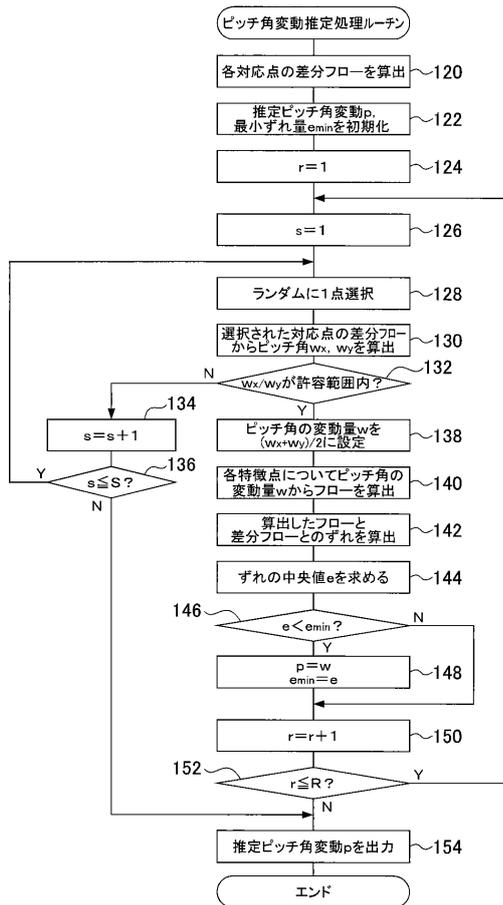
【 図 4 】



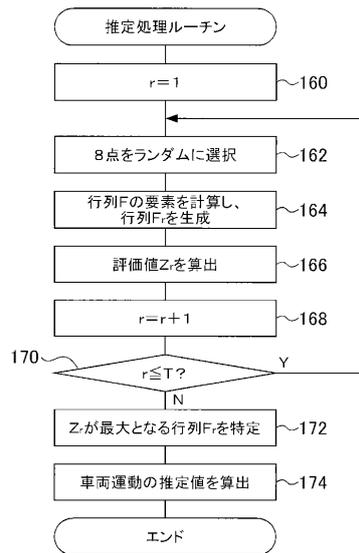
【 図 5 】



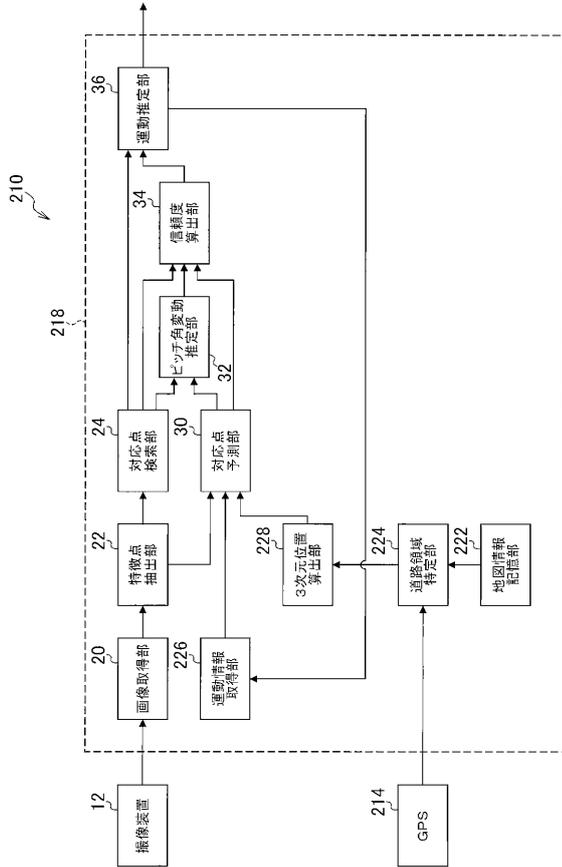
【 図 6 】



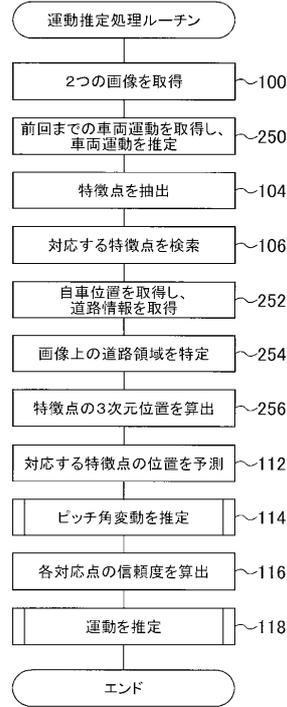
【 図 7 】



【 図 8 】



【 図 9 】



【 図 10 】

