

(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2010-9236  
(P2010-9236A)

(43) 公開日 平成22年1月14日(2010.1.14)

(51) Int.Cl.		F I				テーマコード (参考)
<b>G06T</b>	<b>1/00</b>	<b>(2006.01)</b>	G06T	1/00	330A	5B057
<b>G06T</b>	<b>7/60</b>	<b>(2006.01)</b>	G06T	1/00	315	5H180
<b>G08G</b>	<b>1/16</b>	<b>(2006.01)</b>	G06T	7/60	300Z	5L096
			G08G	1/16	C	

審査請求 未請求 請求項の数 9 O L (全 27 頁)

(21) 出願番号 特願2008-166325 (P2008-166325)  
(22) 出願日 平成20年6月25日 (2008. 6. 25)

(71) 出願人 000003609  
株式会社豊田中央研究所  
愛知県愛知郡長久手町大字長湫字横道4 1  
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4 1  
番地の1 株式会社豊田中央研究所内  
Fターム(参考) 5B057 AA16 BA02 CA08 CA12 CA16  
CD11 DA07 DA16 DC16 DC17  
DC36  
5H180 AA01 CC04 LL01

最終頁に続く

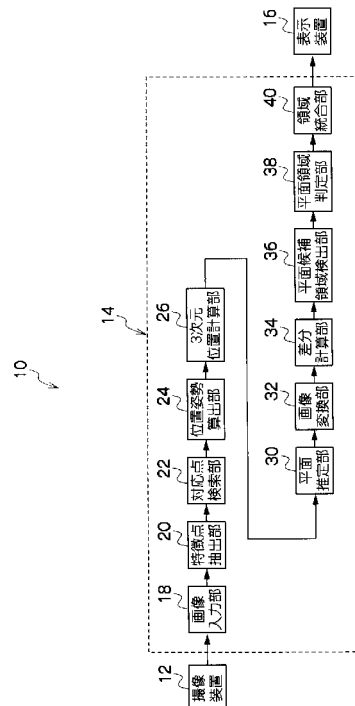
(54) 【発明の名称】 平面領域推定装置及びプログラム

(57) 【要約】

【課題】 パターンのない領域があっても、推定対象平面を表わす領域を精度よく推定する。

【解決手段】 撮像装置12によって、異なる位置姿勢で第1の画像及び第2の画像を撮像し、画像変換部32によって、射影変換行列によって第1の画像を変換する。差分計算部34によって、変換画像と第2の画像との各画素の差分を算出し、平面候補領域検出部36によって、複数の閾値の各々を用いて、階層構造で表わされる複数の道路平面候補領域を検出する。そして、平面領域判定部38によって、最も大きい閾値から降順に、閾値を用いて検出された道路平面候補領域のうち、道路平面のみを表していないと前回判定された道路平面候補領域内の道路平面候補領域の各々について、道路平面のみを表わしているか否かの判定を順次行う。領域統合部40によって、道路平面のみを表わしていると判定された道路平面候補領域を統合して、道路平面領域を推定する。

【選択図】 図1



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

推定対象平面を含む範囲を撮像した複数の画像を出力する移動体に搭載された撮像手段と、

前記撮像手段が第 1 の位置及び第 1 の姿勢となっているときに前記撮像手段によって撮像された第 1 画像における推定対象平面を表わす領域を、前記第 1 の位置及び第 1 の姿勢と異なる第 2 の位置及び第 2 の姿勢で前記撮像手段によって撮像された第 2 画像において推定対象平面が表されるべき領域に変換するための変換によって、前記第 1 画像を変換する画像変換手段と、

前記画像変換手段によって変換された前記第 1 画像と前記第 2 画像とに基づいて、各画素について画素値の差分を算出する差分算出手段と、

大きさが異なる複数の閾値の各々を用いて、前記算出された画素値の差分が前記閾値未満となる領域を平面候補領域として検出する領域検出手段と、

最も大きい閾値を用いて検出された前記平面候補領域の各々が推定対象平面のみを表わしているか否かを判定し、次に大きい閾値から降順に、前記閾値を用いて検出された前記平面候補領域のうち、前記推定対象平面のみを表していないと前回判定された前記平面候補領域内から検出された前記平面候補領域の各々について、前記推定対象平面のみを表わしているか否かを判定する判定を順次行う判定手段と、

前記判定手段によって前記推定対象平面のみを表わしていると判定された平面候補領域を統合して、前記推定対象平面を表わす領域を推定する領域推定手段と、

を含む平面領域推定装置。

## 【請求項 2】

推定対象平面を含む範囲を撮像した複数の画像を出力する移動体に搭載された撮像手段と、

前記撮像手段が第 1 の位置及び第 1 の姿勢となっているときに前記撮像手段によって撮像された第 1 画像における推定対象平面を表わす領域を、前記第 1 の位置及び第 1 の姿勢と異なる第 2 の位置及び第 2 の姿勢で前記撮像手段によって撮像された第 2 画像において推定対象平面が表されるべき領域に変換するための変換によって、前記第 1 画像を変換する画像変換手段と、

前記画像変換手段によって変換された前記第 1 画像と前記第 2 画像とに基づいて、各画素について画素値の差分を算出する差分算出手段と、

大きさが異なる複数の閾値のうち最も大きい閾値を用いて、前記算出された画素値の差分が前記閾値未満となる領域を平面候補領域として検出すると共に、前記平面候補領域が推定対象平面のみを表わしているか否かを判定し、次に大きい閾値から降順に、前記推定対象平面のみを表していないと前回判定された前記平面候補領域内から、前記閾値を用いて、前記算出された画素値の差分が前記閾値未満となる領域を平面候補領域として検出すると共に、前記平面候補領域が推定対象平面のみを表わしているか否かを判定する判定を順次行う判定手段と、

前記判定手段によって前記推定対象平面のみを表わしていると判定された平面候補領域を統合して、前記推定対象平面を表わす領域を推定する領域推定手段と、

を含む平面領域推定装置。

## 【請求項 3】

前記判定手段は、最も大きい閾値を用いて検出された前記平面候補領域の各々が、前記推定対象平面のみを表わす領域、及び前記推定対象平面を表わす領域を含む領域の何れであるかを判定し、次に大きい閾値から降順に、前記閾値を用いて検出された前記平面候補領域のうち、前記推定対象平面を表わす領域を含む領域であると前回判定された前記平面候補領域内から検出された前記平面候補領域の各々について、前記推定対象平面のみを表わす領域及び前記推定対象平面を表わす領域を含む領域の何れであるかを判定する判定を順次行う請求項 1 記載の平面領域推定装置。

## 【請求項 4】

10

20

30

40

50

前記判定手段は、最も大きい閾値を用いて、前記算出された画素値の差分が前記閾値未満となる領域を平面候補領域として検出すると共に、前記平面候補領域が、前記推定対象平面のみを表わす領域、及び前記推定対象平面を表わす領域を含む領域の何れであるかを判定し、次に大きい閾値から降順に、前記推定対象平面を表わす領域を含む領域であると前回判定された前記平面候補領域内から、前記閾値を用いて、前記算出された画素値の差分が前記閾値未満となる領域を平面候補領域として検出すると共に、前記平面候補領域が、前記推定対象平面のみを表わす領域、及び前記推定対象平面を表わす領域を含む領域の何れであるかを判定する判定を順次行う請求項 2 記載の平面領域推定装置。

【請求項 5】

前記撮像手段によって撮像された第 1 画像及び第 2 画像の各々から、特徴点であって、かつ、第 1 画像及び第 2 画像の間で対応した点を検索する検索手段と、

前記検索手段によって検索された前記対応した点に基づいて、前記第 1 の位置及び第 1 の姿勢と前記第 2 の位置及び第 2 の姿勢との相対関係を算出する位置姿勢算出手段と、

前記検索手段によって検索された前記対応した点と前記位置姿勢算出手段によって算出された相対関係とに基づいて、前記第 1 画像における推定対象平面上の特徴点の 3 次元位置を算出する位置算出手段と、

前記位置算出手段によって算出された前記推定対象平面上の特徴点の 3 次元位置に基づいて、前記推定対象平面を表わすパラメータを算出する平面パラメータ算出手段とを更に含み、

前記画像変換手段は、前記位置姿勢算出手段によって算出された相対関係、及び前記平面パラメータ算出手段によって算出された前記推定対象平面を表わすパラメータに基づいて、前記変換の変換行列を算出し、前記変換行列に基づいて、前記第 1 画像を変換する請求項 1 ~ 請求項 4 の何れか 1 項記載の平面領域推定装置。

【請求項 6】

前記撮像手段によって撮像された第 1 画像及び第 2 画像の各々から、特徴点であって、かつ、第 1 画像及び第 2 画像の間で対応した点を検索する検索手段と、

前記検索手段によって検索された前記対応した点に基づいて、前記第 1 の位置及び第 1 の姿勢と前記第 2 の位置及び第 2 の姿勢との相対関係を算出する位置姿勢算出手段と、

前記検索手段によって検索された前記対応した点と前記位置姿勢算出手段によって算出された相対関係とに基づいて、前記検索手段によって検索された前記対応した点の 3 次元位置を算出する位置算出手段とを更に含み、

前記判定手段は、前記平面候補領域内の前記対応した点の 3 次元位置に基づいて、前記平面候補領域が前記推定対象平面のみを表わしているか否かを判定する請求項 1 ~ 請求項 5 の何れか 1 項記載の平面領域推定装置。

【請求項 7】

前記差分算出手段は、各画素について、画素を含む所定領域の画素値の差分を算出する請求項 1 ~ 請求項 6 の何れか 1 項記載の平面領域推定装置。

【請求項 8】

コンピュータを、

推定対象平面を含む範囲を撮像した複数の画像を出力する移動体に搭載された撮像手段が第 1 の位置及び第 1 の姿勢となっておりときに前記撮像手段によって撮像された第 1 画像における推定対象平面を表わす領域を、前記第 1 の位置及び第 1 の姿勢と異なる第 2 の位置及び第 2 の姿勢で前記撮像手段によって撮像された第 2 画像において推定対象平面が表されるべき領域に変換するための変換によって、前記第 1 画像を変換する画像変換手段

前記画像変換手段によって変換された前記第 1 画像と前記第 2 画像とに基づいて、各画素について画素値の差分を算出する差分算出手段、

大きさが異なる複数の閾値の各々を用いて、前記算出された画素値の差分が前記閾値未満となる領域を平面候補領域として検出する領域検出手段、

最も大きい閾値を用いて検出された前記平面候補領域の各々が推定対象平面のみを表わ

しているか否かを判定し、次に大きい閾値から降順に、前記閾値を用いて検出された前記平面候補領域のうち、前記推定対象平面のみを表していないと前回判定された前記平面候補領域内から検出された前記平面候補領域の各々について、前記推定対象平面のみを表わしているか否かを判定する判定を順次行う判定手段、及び

前記判定手段によって前記推定対象平面のみを表わしていると判定された平面候補領域を統合して、前記推定対象平面を表わす領域を推定する領域推定手段

として機能させるためのプログラム。

【請求項 9】

コンピュータを、

推定対象平面を含む範囲を撮像した複数の画像を出力する移動体に搭載された撮像手段が第 1 の位置及び第 1 の姿勢となっているときに前記撮像手段によって撮像された第 1 画像における推定対象平面を表わす領域を、前記第 1 の位置及び第 1 の姿勢と異なる第 2 の位置及び第 2 の姿勢で前記撮像手段によって撮像された第 2 画像において推定対象平面が表されるべき領域に変換するための変換によって、前記第 1 画像を変換する画像変換手段

10

、前記画像変換手段によって変換された前記第 1 画像と前記第 2 画像とに基づいて、各画素について画素値の差分を算出する差分算出手段、

大きさが異なる複数の閾値のうち最も大きい閾値を用いて、前記算出された画素値の差分が前記閾値未満となる領域を平面候補領域として検出すると共に、前記平面候補領域が推定対象平面のみを表わしているか否かを判定し、次に大きい閾値から降順に、前記推定対象平面のみを表していないと前回判定された前記平面候補領域内から、前記閾値を用いて、前記算出された画素値の差分が前記閾値未満となる領域を平面候補領域として検出すると共に、前記平面候補領域が推定対象平面のみを表わしているか否かを判定する判定を順次行う判定手段、及び

20

前記判定手段によって前記推定対象平面のみを表わしていると判定された平面候補領域を統合して、前記推定対象平面を表わす領域を推定する領域推定手段

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】

30

本発明は、平面領域推定装置及びプログラムに係り、特に、推定対象平面を表わす領域を推定する平面領域推定装置及びプログラムに関する。

【背景技術】

【0002】

従来より、複数の線を有する路面と路面上に存在する障害物を区別するため、路面上の特徴点から射影変換行列を求め、射影変換画像との差分を計算したときの各点の値の大きさにより路面か障害物かを判定する障害物検出装置が知られている（特許文献 1）。

【0003】

また、2台のカメラから平面の射影変換行列を推定し、推定した射影変換行列により一方のカメラの画像を変換し、もう一方のカメラの画像との差分をとることにより、平面領域を検出する平面検出装置が知られている（特許文献 2）。

40

【0004】

上記の特許文献 1、2 に記載の技術では、平面の射影変換行列を求め、射影変換行列により変換した画像を用いて差分計算により平面領域を検出している。

【特許文献 1】特開 2000 - 293693 号公報

【特許文献 2】特開 2006 - 53754 号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

しかしながら、上記の特許文献 1、2 に記載の技術では、パターンのない領域について

50

、変換によりずれが生じて、差分値に変化が出ないため、平面領域であるか否かを精度よく判定することができない、という問題がある。

【0006】

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、パターンのない領域があっても、推定対象平面を表わす領域を精度よく推定することができる平面領域推定装置及びプログラムを提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0007】

上記の目的を達成するために第1の発明に係る平面領域推定装置は、推定対象平面を含む範囲を撮像した複数の画像を出力する移動体に搭載された撮像手段と、前記撮像手段が第1の位置及び第1の姿勢となっているときに前記撮像手段によって撮像された第1画像における推定対象平面を表わす領域を、前記第1の位置及び第1の姿勢と異なる第2の位置及び第2の姿勢で前記撮像手段によって撮像された第2画像において推定対象平面が表されるべき領域に変換するための変換によって、前記第1画像を変換する画像変換手段と、前記画像変換手段によって変換された前記第1画像と前記第2画像とに基づいて、各画素について画素値の差分を算出する差分算出手段と、大きさが異なる複数の閾値の各々を用いて、前記算出された画素値の差分が前記閾値未満となる領域を平面候補領域として検出する領域検出手段と、最も大きい閾値を用いて検出された前記平面候補領域の各々が推定対象平面のみを表わしているか否かを判定し、次に大きい閾値から降順に、前記閾値を用いて検出された前記平面候補領域のうち、前記推定対象平面のみを表していないと前回判定された前記平面候補領域内から検出された前記平面候補領域の各々について、前記推定対象平面のみを表わしているか否かを判定する判定を順次行う判定手段と、前記判定手段によって前記推定対象平面のみを表わしていると判定された平面候補領域を統合して、前記推定対象平面を表わす領域を推定する領域推定手段とを含んで構成されている。

10

20

【0008】

また、第2の発明に係るプログラムは、コンピュータを、推定対象平面を含む範囲を撮像した複数の画像を出力する移動体に搭載された撮像手段が第1の位置及び第1の姿勢となっているときに前記撮像手段によって撮像された第1画像における推定対象平面を表わす領域を、前記第1の位置及び第1の姿勢と異なる第2の位置及び第2の姿勢で前記撮像手段によって撮像された第2画像において推定対象平面が表されるべき領域に変換するための変換によって、前記第1画像を変換する画像変換手段、前記画像変換手段によって変換された前記第1画像と前記第2画像とに基づいて、各画素について画素値の差分を算出する差分算出手段、大きさが異なる複数の閾値の各々を用いて、前記算出された画素値の差分が前記閾値未満となる領域を平面候補領域として検出する領域検出手段、最も大きい閾値を用いて検出された前記平面候補領域の各々が推定対象平面のみを表わしているか否かを判定し、次に大きい閾値から降順に、前記閾値を用いて検出された前記平面候補領域のうち、前記推定対象平面のみを表していないと前回判定された前記平面候補領域内から検出された前記平面候補領域の各々について、前記推定対象平面のみを表わしているか否かを判定する判定を順次行う判定手段、及び前記判定手段によって前記推定対象平面のみを表わしていると判定された平面候補領域を統合して、前記推定対象平面を表わす領域を推定する領域推定手段として機能させるためのプログラムである。

30

40

【0009】

第1の発明及び第2の発明によれば、移動体に搭載された撮像手段によって、推定対象平面を含む範囲を撮像した複数の画像を出力する。そして、画像変換手段によって、撮像手段が第1の位置及び第1の姿勢となっているときに撮像手段によって撮像された第1画像における推定対象平面を表わす領域を、第1の位置及び第1の姿勢と異なる第2の位置及び第2の姿勢で撮像手段によって撮像された第2画像において推定対象平面が表されるべき領域に変換するための変換によって、第1画像を変換する。

【0010】

差分算出手段によって、画像変換手段によって変換された第1画像と第2画像とに基づ

50

いて、各画素について画素値の差分を算出する。領域検出手段によって、大きさが異なる複数の閾値の各々を用いて、算出された画素値の差分が閾値未満となる領域を平面候補領域として検出する。

【0011】

そして、判定手段によって、最も大きい閾値を用いて検出された平面候補領域の各々が推定対象平面のみを表わしているか否かを判定する。また、判定手段によって、次に大きい閾値から降順に、閾値を用いて検出された平面候補領域のうち、推定対象平面のみを表わしていないと前回判定された平面候補領域内から検出された平面候補領域の各々について、推定対象平面のみを表わしているか否かを判定する判定を順次行う。領域推定手段によって、判定手段によって推定対象平面のみを表わしていると判定された平面候補領域を統合して、推定対象平面を表わす領域を推定する。

10

【0012】

このように、変換された第1画像と第2画像との各画素の差分から、大きさが異なる複数の閾値の各々を用いて検出された平面候補領域について、検出に用いられた閾値の大きさの降順に、推定対象平面のみを表わしているか否かを順次判定して、推定対象平面を表わす領域を推定することにより、パターンのない領域があっても、推定対象平面を表わす領域を精度よく推定することができる。

【0013】

第3の発明に係る平面領域推定装置は、推定対象平面を含む範囲を撮像した複数の画像を出力する移動体に搭載された撮像手段と、前記撮像手段が第1の位置及び第1の姿勢となつているときに前記撮像手段によって撮像された第1画像における推定対象平面を表わす領域を、前記第1の位置及び第1の姿勢と異なる第2の位置及び第2の姿勢で前記撮像手段によって撮像された第2画像において推定対象平面が表されるべき領域に変換するための変換によって、前記第1画像を変換する画像変換手段と、前記画像変換手段によって変換された前記第1画像と前記第2画像とに基づいて、各画素について画素値の差分を算出する差分算出手段と、大きさが異なる複数の閾値のうち最も大きい閾値を用いて、前記算出された画素値の差分が前記閾値未満となる領域を平面候補領域として検出すると共に、前記平面候補領域が推定対象平面のみを表わしているか否かを判定し、次に大きい閾値から降順に、前記推定対象平面のみを表わしていないと前回判定された前記平面候補領域内から、前記閾値を用いて、前記算出された画素値の差分が前記閾値未満となる領域を平面候補領域として検出すると共に、前記平面候補領域が推定対象平面のみを表わしているか否かを判定する判定を順次行う判定手段と、前記判定手段によって前記推定対象平面のみを表わしていると判定された平面候補領域を統合して、前記推定対象平面を表わす領域を推定する領域推定手段とを含んで構成されている。

20

30

【0014】

第4の発明に係るプログラムは、コンピュータを、推定対象平面を含む範囲を撮像した複数の画像を出力する移動体に搭載された撮像手段が第1の位置及び第1の姿勢となつているときに前記撮像手段によって撮像された第1画像における推定対象平面を表わす領域を、前記第1の位置及び第1の姿勢と異なる第2の位置及び第2の姿勢で前記撮像手段によって撮像された第2画像において推定対象平面が表されるべき領域に変換するための変換によって、前記第1画像を変換する画像変換手段、前記画像変換手段によって変換された前記第1画像と前記第2画像とに基づいて、各画素について画素値の差分を算出する差分算出手段、大きさが異なる複数の閾値のうち最も大きい閾値を用いて、前記算出された画素値の差分が前記閾値未満となる領域を平面候補領域として検出すると共に、前記平面候補領域が推定対象平面のみを表わしているか否かを判定し、次に大きい閾値から降順に、前記推定対象平面のみを表わしていないと前回判定された前記平面候補領域内から、前記閾値を用いて、前記算出された画素値の差分が前記閾値未満となる領域を平面候補領域として検出すると共に、前記平面候補領域が推定対象平面のみを表わしているか否かを判定する判定を順次行う判定手段、及び前記判定手段によって前記推定対象平面のみを表わしていると判定された平面候補領域を統合して、前記推定対象平面を表わす領域を推定する

40

50

領域推定手段として機能させるためのプログラムである。

【0015】

第3の発明及び第4の発明によれば、移動体に搭載された撮像手段によって、推定対象平面を含む範囲を撮像した複数の画像を出力する。そして、画像変換手段によって、撮像手段が第1の位置及び第1の姿勢となっているときに撮像手段によって撮像された第1画像における推定対象平面を表わす領域を、第1の位置及び第1の姿勢と異なる第2の位置及び第2の姿勢で撮像手段によって撮像された第2画像において推定対象平面が表されるべき領域に変換するための変換によって、第1画像を変換する。

【0016】

差分算出手段によって、画像変換手段によって変換された第1画像と第2画像とに基づいて、各画素について画素値の差分を算出する。領域検出手段によって、大きさが異なる複数の閾値の各々を用いて、算出された画素値の差分が閾値未満となる領域を平面候補領域として検出する。

10

【0017】

そして、判定手段によって、大きさが異なる複数の閾値のうち最も大きい閾値を用いて、算出された画素値の差分が閾値未満となる領域を平面候補領域として検出すると共に、平面候補領域が推定対象平面のみを表わしているか否かを判定する。また、判定手段によって、次に大きい閾値から降順に、推定対象平面のみを表していないと前回判定された平面候補領域内から、閾値を用いて、算出された画素値の差分が閾値未満となる領域を平面候補領域として検出すると共に、平面候補領域が推定対象平面のみを表わしているか否かを判定する判定を順次行う。領域推定手段によって、判定手段によって推定対象平面のみを表わしていると判定された平面候補領域を統合して、推定対象平面を表わす領域を推定する。

20

【0018】

このように、変換された第1画像と第2画像との各画素の差分から、大きさが異なる複数の閾値の降順に、閾値を用いて平面候補領域を検出して、推定対象平面のみを表わしているか否かを順次判定して、推定対象平面を表わす領域を推定することにより、パターンのない領域があっても、推定対象平面を表わす領域を精度よく推定することができる。

【0019】

第1の発明に係る判定手段は、最も大きい閾値を用いて検出された平面候補領域の各々が、推定対象平面のみを表わす領域、及び推定対象平面を表わす領域を含む領域の何れであるかを判定し、次に大きい閾値から降順に、閾値を用いて検出された平面候補領域のうち、推定対象平面を表わす領域を含む領域であると前回判定された平面候補領域内から検出された平面候補領域の各々について、推定対象平面のみを表わす領域及び推定対象平面を表わす領域を含む領域の何れであるかを判定する判定を順次行うことができる。

30

【0020】

第3の発明に係る判定手段は、最も大きい閾値を用いて、算出された画素値の差分が閾値未満となる領域を平面候補領域として検出すると共に、平面候補領域が、推定対象平面のみを表わす領域、及び推定対象平面を表わす領域を含む領域の何れであるかを判定し、次に大きい閾値から降順に、推定対象平面を表わす領域を含む領域であると前回判定された平面候補領域内から、閾値を用いて、算出された画素値の差分が閾値未満となる領域を平面候補領域として検出すると共に、平面候補領域が、推定対象平面のみを表わす領域、及び推定対象平面を表わす領域を含む領域の何れであるかを判定する判定を順次行うことができる。

40

【0021】

第1の発明及び第3の発明に係る平面領域推定装置は、撮像手段によって撮像された第1画像及び第2画像の各々から、特徴点であって、かつ、第1画像及び第2画像の間で対応した点を検索する検索手段と、検索手段によって検索された対応した点に基づいて、第1の位置及び第1の姿勢と第2の位置及び第2の姿勢との相対関係を算出する位置姿勢算出手段と、検索手段によって検索された対応した点と位置姿勢算出手段によって算出され

50

た相対関係とに基づいて、第1画像における推定対象平面上の特徴点の3次元位置を算出する位置算出手段と、位置算出手段によって算出された推定対象平面上の特徴点の3次元位置に基づいて、推定対象平面を表わすパラメータを算出する平面パラメータ算出手段とを更に含み、画像変換手段は、位置姿勢算出手段によって算出された相対関係、及び平面パラメータ算出手段によって算出された推定対象平面を表わすパラメータに基づいて、変換の変換行列を算出し、変換行列に基づいて、第1画像を変換することができる。

【0022】

上記の平面領域推定装置は、撮像手段によって撮像された第1画像及び第2画像の各々から、特徴点であって、かつ、第1画像及び第2画像の間で対応した点を検索する検索手段と、検索手段によって検索された対応した点に基づいて、第1の位置及び第1の姿勢と第2の位置及び第2の姿勢との相対関係を算出する位置姿勢算出手段と、検索手段によって検索された対応した点と位置姿勢算出手段によって算出された相対関係とに基づいて、検索手段によって検索された対応した点の3次元位置を算出する位置算出手段とを更に含み、判定手段は、平面候補領域内の対応した点の3次元位置に基づいて、平面候補領域が推定対象平面のみを表わしているか否かを判定することができる。これによって、平面候補領域が推定対象平面を表わしているか否かを精度よく判定することができる。

10

【0023】

上記の差分算出手段は、各画素について、画素を含む所定領域の画素値の差分を算出することができる。これによって、第1画像の変換のずれを考慮した画素値の差分により、平面候補領域を検出することができる。

20

【発明の効果】

【0024】

以上説明したように、本発明の平面領域推定装置及びプログラムによれば、パターンのない領域があっても、推定対象平面を表わす領域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。

【発明を実施するための最良の形態】

【0025】

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。

【0026】

図1に示すように、本実施の形態に係る平面領域推定装置10は、車両(図示省略)に搭載され、かつ、道路平面を含む自車両前方を撮像して画像を出力する撮像装置12と、撮像装置12から得られる画像に基づいて、道路平面を表わす領域を推定して、推定結果を表示装置16に表示させるコンピュータ14とを備えている。

30

【0027】

撮像装置12は、自車両前方を撮像し、画像の画像信号を生成する単眼のカメラで構成される撮像部(図示省略)と、撮像部で生成された画像信号をA/D変換するA/D変換部(図示省略)と、A/D変換された画像信号を一時的に格納するための画像メモリ(図示省略)とを備えている。

【0028】

コンピュータ14は、CPUと、RAMと、後述する平面領域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14は、撮像装置12により異なる位置姿勢で撮像された複数の画像を取得する画像入力部18と、取得した複数の画像の各々から、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20と、特徴点抽出部20により得られた2つの画像の各々における特徴点から、2つの画像の間で対応する対応点を検索する対応点検索部22と、対応点検索部22で得られた各対応点における各画像の画像座標を入力として、対応点が検索された一方の画像を撮像したときの撮像装置12の位置姿勢を基準とした、対応点が検索された他方の画像を撮像したときの撮像装置12の位置姿勢への変化(位置及び姿勢の相対関係)を、撮像装置12の運動のXYZ軸方向の移動量及びXYZ軸を基準とする回転量として算出する位置姿勢算出部24と、対応点検索部22で得られた各対応点

40

50

における各画像の画像座標と位置姿勢算出部 2 4 によって算出された移動量及び回転量とに基づいて、各対応点の 3 次元座標を計算する 3 次元位置計算部 2 6 とを備えている。

【 0 0 2 9 】

画像入力部 1 8 は、異なる位置及び姿勢で撮像された 2 つの画像を撮像装置 1 2 から取得する。なお、以下では、異なる位置及び姿勢で撮像された 2 つの画像のうち、第 1 の位置及び第 1 の姿勢で撮像された画像を第 1 の画像とし、第 2 の位置及び第 2 の姿勢で撮像された画像を第 2 の画像として説明する。

【 0 0 3 0 】

特徴点抽出部 2 0 は、撮像装置 1 2 から取得した第 1 の画像から特徴点を抽出すると共に、撮像装置 1 2 から取得した第 2 の画像から特徴点を抽出する。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 Harris オペレータなど）を用いて、自動的に抽出される。Harris 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  $I(u, v)$  として、以下の (1) 式によって、行列  $M$  を計算する。

10

【 0 0 3 1 】

【数 1】

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

20

【 0 0 3 2 】

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  $\sigma$  のガウス分布による平滑化を表す。

【 0 0 3 3 】

そして、上記 (1) 式で計算された行列  $M$  の固有値  $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$  を用いて、以下の (2) 式によりコーナー強度を計算する。

【 0 0 3 4 】

【数 2】

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

30

【 0 0 3 5 】

ただし、 $k$  は予め設定される定数であって、0.04 ~ 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。

【 0 0 3 6 】

対応点検索部 2 2 は、特徴点抽出部 2 0 において抽出された第 1 の画像の特徴点に対応する点を、第 2 の画像において抽出された特徴点から検索して、特徴点の対応付けを行う。

40

【 0 0 3 7 】

2 つの画像間での特徴点の対応付けでは、特徴点周辺に設定した小領域での輝度分布が似ている点の組を選択し、選択された点の組を対応している点とする。2 つの特徴点がかどうかの判定には SSD (Sum of Squared Differences) などの値を用いればよい。

【 0 0 3 8 】

例えば、第 1 の画像  $I_1$  の特徴点  $p = (x, y)$  について、第 2 の画像  $I_2$  の特徴点  $p' = (x', y')$  の各々との組み合わせをペアとして、以下の (3) 式を各々計算する

50

。

【 0 0 3 9 】

【 数 3 】

$$\sum_{v=r}^r \sum_{u=r}^r (I_1(x+u, y+v) - I_2(x'+u, y'+v))^2 \quad \dots (3)$$

ただし、 $r$  は、小領域の大きさを決定する変数であり、予め定められている。

【 0 0 4 0 】

10

そして、上記 (3) 式によって計算される値が最小となったときの第 2 の画像の特徴点を検索し、第 1 の画像の特徴点に対応する点とする。

【 0 0 4 1 】

上記の計算を、第 1 の画像の特徴点の各々について行って、第 1 の画像の特徴点の各々に対応する点を、第 2 の画像の特徴点から検索する。また、対応点検索部 2 2 は、特徴点抽出部 2 0 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 つの画像間で対応する点を少なくとも 8 組検索する。

【 0 0 4 2 】

位置姿勢算出部 2 4 は、対応点検索部 2 2 より得られる 2 つの画像における少なくとも 8 組の対応点の画像座標から、2 つの画像の各々が撮像されたときの撮像装置 1 2 の位置及び姿勢の変化 (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) を計算する。位置及び姿勢の変化は、図 2 に示すように、第 1 の画像から第 2 の画像への回転行列  $R$  (X 軸を基準とする回転量、Y 軸を基準とする回転量、Z 軸を基準とする回転量) と、並進ベクトル  $t$  (X 軸方向の移動量  $t_x$ 、Y 軸方向の移動量  $t_y$ 、Z 軸方向の移動量  $t_z$ ) との 6 要素から構成される運動である。なお、回転行列  $R$  及び並進ベクトル  $t$  の要素は、2 つの画像間の画像座標の変換を表す物理量である。

20

【 0 0 4 3 】

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  $I_i'$  について ( $n = 8$ )、対応点が正しくて誤差がなければ、以下の (4) 式を満たす  $3 \times 3$  行列  $F$  が存在する。

30

【 0 0 4 4 】

【 数 4 】

$$I_i'^T F I_i = 0 \quad \dots (4)$$

【 0 0 4 5 】

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

【 0 0 4 6 】

ここで、上記 (4) 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、 $F_s$  が上記 (4) 式を満たす場合には、 $a F_s$  も上記 (4) 式を満たす (ただし、 $a$  は実数)。よって、行列  $F$  を以下の (5) 式のように表すことができる。

【 0 0 4 7 】

【数 5】

$$F = \begin{bmatrix} f_{11} & f_{21} & f_{13} \\ f_{21} & f_{22} & f_{23} \\ f_{31} & f_{32} & 1 \end{bmatrix} \quad \dots (5)$$

【0048】

10

また、上記(4)式、(5)式より、以下の(6)式が成り立つ。

【0049】

【数 6】

$$\begin{aligned} u_i u'_i f_{11} + u_i v'_i f_{21} + u_i f_{31} + v_i u'_i f_{12} \\ + v_i v'_i f_{22} + v_i f_{32} + u'_i f_{13} + v'_i f_{23} + 1 = 0 \end{aligned} \quad \dots (6)$$

【0050】

20

ここで、8組以上の対応点  $I_i$ 、 $I'_i$  があれば、上記(6)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。なお、得られる8つの式が互いに独立である必要があり、また、誤差が含まれる場合であっても安定して計算するために、他の対応点の組となるべく異なる動きをしている特徴点の組を対応点として検索することが好ましい。

【0051】

上述したように行列  $F$  が計算でき、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、以下の(7)式、(8)式より、回転行列  $R$  と並進ベクトル  $t$  とを計算することができる。

【0052】

30

【数 7】

$$F = K^{-T} [t]_x R K^{-1} \quad \dots (7)$$

$$[t]_x = \begin{bmatrix} 0 & -t_z & t_y \\ t_z & 0 & -t_x \\ -t_y & t_x & 0 \end{bmatrix}, \quad t = (t_x, t_y, t_z) \quad \dots (8)$$

40

【0053】

撮像装置12のキャリブレーション行列  $K$  は、以下の(9)式で表される。

【0054】

【数 8】

$$K = \begin{bmatrix} f_x & 0 & c_u \\ 0 & f_y & c_v \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \dots (9)$$

【0055】

ただし、 $f_x$  は、撮像装置 1 2 の X 方向の焦点距離、 $f_y$  は、撮像装置 1 2 の Y 方向の焦点距離、 $(c_u, c_v)$  は画像中心である。なお、画像上の画像座標は、X 方向に対応する U 方向の座標  $u$  と Y 方向に対応する V 方向の座標  $v$  とで表されるものとする。 10

【0056】

3次元位置計算部 26 は、対応点検索部 22 から得られる 2 つの画像間での  $n$  点の対応点の画像座標の組  $I_i, I_i'$ 、及び位置姿勢算出部 24 から得られる 2 つの画像間の回転行列及び並進ベクトルを用いて、 $n$  点の対応点の 3次元座標を計算する。対応点の 3次元座標は以下の方法により計算できる。

【0057】

まず、2枚の画像の各々の対応点の画像座標を  $(u, v)$ 、 $(u', v')$  とし、画像間の回転行列を  $R$  とし、並進ベクトルを  $t$  とし、撮像装置 1 2 のキャリブレーション行列を  $K$  としたとき、以下の (10) 式、(11) 式のような行列  $P, P'$  を定義する。 20

【0058】

【数 9】

$$P = K \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{pmatrix} \dots (10)$$

$$P' = K \begin{pmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} & t_x \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} & t_y \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} & t_z \end{pmatrix} \dots (11)$$

ただし、

$$R = \begin{pmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} \end{pmatrix}, \quad t = (t_x, t_y, t_z)^T$$

【0059】

そして、 $p^i, p'^i$  をそれぞれ行列  $P, P'$  の第  $i$  行のベクトルとすると、対応点の 3次元座標  $X = (x, y, z, 1)^T$  は以下の (12) 式の解として求めることができる。

【0060】

30

40

【数 1 0】

$$AX = 0 \quad \dots (12)$$

ただし、

$$A = \begin{bmatrix} u \cdot p^{3T} - p^{1T} \\ v \cdot p^{3T} - p^{2T} \\ u' \cdot p'^{3T} - p'^{1T} \\ v' \cdot p'^{3T} - p'^{2T} \end{bmatrix} \quad \dots (13)$$

10

【0061】

また、コンピュータ14は、道路平面上の各対応点の3次元座標に基づいて、道路平面を表わすパラメータを推定する平面推定部30と、一方の画像の道路平面領域を他方の画像の道路平面領域に重ねるように変換するための変換を示す射影変換行列に基づいて、一方の画像を変換する画像変換部32と、一方の画像を変換した変換画像と他方の画像との各画素の差分値を計算する差分計算部34と、各画素の差分値に基づいて、道路平面候補領域を検出する平面候補領域検出部36と、検出された道路平面候補領域が道路平面を表わす領域であるか否かを判定する平面領域判定部38と、道路平面を表わす領域を統合して、推定結果として表示装置16に表示させる領域統合部40とを備えている。

20

【0062】

平面推定部30は、3次元位置計算部26により得られる対応点の3次元位置のうち、第1の画像の道路平面を表わす領域内の対応点の3次元位置を用いて、道路平面を表わすパラメータを推定する。推定する道路平面は3次元空間で以下の(14)式で表すことができる。

【0063】

【数 1 1】

$$ax + by + cz = 1 \quad \dots (14)$$

30

上記(14)式において、(a, b, c)が、推定する道路平面のパラメータである。

【0064】

平面推定部30は、第1の画像の道路平面を表わす領域内から対応点を抽出し、抽出された対応点の3次元座標から、上記のパラメータ(a, b, c)を求める。3点以上の3次元座標が得られると、上記パラメータの計算が可能であるが、3点より多くの3次元座標から得られた場合には、最小二乗法やLMedS(Least Median Squares)法などにより、パラメータ(a, b, c)を推定する。なお、第1の画像の道路平面を表わす領域は、撮像装置12の道路平面に対する位置及び姿勢に基づいて、予め求めておけばよい。または、1ステップ前の処理で推定された道路平面領域を用いて、第1の画像の道路平面を表わす領域を求めてもよい。また、上記の推定する道路平面のパラメータは、撮像装置12の第1の位置及び第1の姿勢に対する道路平面の相対的な位置及び姿勢を表わしている。

40

【0065】

画像変換部32は、位置姿勢算出部24により算出された第1の画像と第2の画像との間の位置及び姿勢の変化と、平面推定部30により得られた道路平面のパラメータとに基づいて、第1の画像における道路平面を表わす領域を、第2の画像において道路平面が表されるべき領域に重ねるように変換するための変換を示す射影変換行列を計算し、計算さ

50

れた射影変換行列により、第1の画像を変換する。

【0066】

第1の画像と第2の画像との間の位置及び姿勢の変化が、回転行列Rと並進ベクトルtによって表され、道路平面のパラメータ(a, b, c)で表される道路平面が $ax + by + cz = 1$ であるとき、射影変換行列Hは、以下の(15)式によって計算される。

【0067】

【数12】

$$H = K \left( R + t \cdot (a, b, c)^T \right) K^{-1} \quad \dots (15)$$

10

【0068】

ただし、行列Kは撮像装置12のキャリブレーション行列である。

【0069】

上記(15)式によって計算された射影変換行列Hを用いて、第1の画像を射影変換した変換画像を生成する。第1の画像の画素を $I_i$ とすると、対応する変換画像の画素 $J_i$ は以下の(16)式により計算される。

$$J_i = H \cdot I_i \quad \dots (16)$$

例えば、図3(A)に示すような第1の画像を射影変換して、図3(C)に示すような変換画像を生成する。

20

【0070】

差分計算部34は、画像変換部32により生成された、射影変換行列により第1の画像を変換した変換画像と第2の画像とについて、各画素の差分値を計算する。例えば、上記図3(C)に示すような変換画像と、図3(B)に示すような第2の画像との各画素の差分値を計算する。

【0071】

平面候補領域検出部36は、差分計算部34により得られた各画素に対する差分値から、複数の平面候補領域を検出する。

【0072】

ここで、本実施の形態の原理について説明する。従来、2枚の画像を用いて平面候補領域を抽出する場合、画像間の位置及び姿勢の相対的な関係、及び推定対象の平面の位置及び姿勢の相対的な関係を求め、2つの画像間での平面領域に対する射影変換行列を計算し、一方の画像を射影変換行列により変換した変換画像と、もう一方の画像との差分をとり、各画素の差分値を閾値で2値化することにより、平面領域を求めている。射影変換した変換画像ともう一方の画像との差分をとると、平面領域上にある画素であれば、変換画像と第2の画像とで同じ位置を表わしており、差分値が小さくなるため、平面領域を抽出することができる。しかし、テクスチャパターンのない領域では、変換画像と第2の画像でずれが生じて差分が大きくなり、平面領域に属していなくても差分値が小さくなるため、誤って平面領域として抽出してしまう。

30

【0073】

これに対し、複数の閾値の各々を用いて、各画素の差分値の2値化を行い、差分値が閾値より小さくなる領域を、階層構造で表される分割された領域として検出し、それぞれ分割された領域毎に、画像から計算された内部に存在する特徴点の3次元位置を用いて、平面領域であるか否かを判定することにより、テクスチャのない領域を誤って平面領域として抽出することが防ぐことができる。

40

【0074】

そこで、本実施の形態では、平面候補領域検出部36によって、大きさが異なる複数の閾値を用いて、以下に説明するように、階層構造で表わされる複数の平面候補領域を検出する。

【0075】

50

まず、平面候補領域の検出では、各注目画素に対して、その注目画素を中心とする所定領域を設定して、所定領域の画素の差分値として、SAD (Sum of Absolute Differences) 又はSSD (Sum of Squared Differences) を計算し、その計算値が、閾値未満であれば、注目画素が平面候補領域上の画素であると判断し、計算値が閾値以上であれば、注目画素が平面候補領域上の画素でないと判断する。

【0076】

閾値を変更して、各々の閾値を用いて、各注目画素が平面候補領域上の画素であるか否かを判断して、複数の平面候補領域を検出する。例えば、 $Th1 > Th2 > Th3$  の関係にある3つの閾値を用いて、道路平面候補領域を検出すると、図4(A)に示すように、最も大きい閾値 $Th1$ を用いて検出した場合には、道路平面上にない領域も含んだ広い道路平面候補領域が検出される。また、図4(B)、(C)に示すように、検出に用いる閾値を $Th2$ 、 $Th3$ と小さくするに従い、道路平面候補領域が多くの領域に分割されて検出される。

10

【0077】

上記図4(C)に示すように、閾値を $Th3$ と小さくした場合には、道路平面の一部が候補領域として検出されなくなるが、これは推定された位置及び姿勢の変化、及び平面パラメータに含まれる誤差の影響で、輝度変化が大きい部分などで、道路平面であっても差分値が閾値 $Th3$ より大きくなることによるものである。また、閾値を $Th3$ にまで小さくした場合でもテクスチャのない道路平面以外の領域が候補領域として検出される。

20

【0078】

なお、各閾値で道路平面候補領域を検出するとき、各画素のSAD又はSSDの計算値のみに基づいて検出を行うと、誤差やノイズなどにより、孤立した平面候補領域が検出されたり、検出された平面候補領域内に抜けが発生したりするため、検出された道路平面候補領域に対して、収縮、膨張処理を行うようにしても良い。

【0079】

上述したように、複数の閾値の各々を用いて、複数の道路平面候補領域が検出されると、道路平面候補領域の包含関係から、候補領域間の関係が求められ、階層構造で表わされる道路平面候補領域が取得される。

【0080】

検出に用いる閾値を大きい閾値から小さい閾値に変更すると、小さい閾値で検出された候補領域は、大きい閾値で検出された候補領域内の部分領域となる。そこで、大きい閾値で検出された候補領域と小さい閾値で検出された候補領域との包含関係から、図5に示すような階層構造で表わされる複数の道路平面候補領域を求める。最も大きい閾値を用いて検出された候補領域A1を一番上の階層とし、候補領域A1は、次に大きい閾値で検出された候補領域B1～B5に分割され、例えば、候補領域B2は、次に大きい閾値で検出された候補領域C2、C3に分割される。これらの候補領域の包含関係から階層構造で表わされる複数の道路平面候補領域が求められる。

30

【0081】

平面領域判定部38は、平面候補領域検出部36により得られる階層構造で表わされる複数の道路平面候補領域、対応点検索部22で検索された対応点の画像上の位置、及び3次元位置計算部26により計算された対応点の3次元位置に基づいて、以下に説明するように、道路平面候補領域の各々が、道路平面のみを表わす領域であるか否かを判定する。

40

【0082】

得られた平面候補領域の階層構造を用いて、階層構造の上位にある道路平面候補領域から、順に、道路平面のみを表わしているか否かを判定する。まず、最も上位の階層に対応する道路平面候補領域A1が、道路平面のみを表わしているか、道路平面領域を含まないか、又は何れでもないかを判定する。この判定は、判定対象の道路平面候補領域内の特徴点が、道路平面上の点であるか否かにより行い、図6に示すように、各特徴点について、3次元位置に基づいて、道路平面上の点であるか否かが判定される。道路平面候補領域内

50

の特徴点の全てについて、特徴点の3次元位置と道路平面との距離が閾値以下であれば、全ての特徴点が道路平面上の点のみから構成され、道路平面候補領域が道路平面のみを表わしていると判定される。また、道路平面候補領域内の特徴点の全てについて、特徴点の3次元位置と道路平面との距離が閾値より大きければ、全ての特徴点が道路平面上にない点であり、道路平面候補領域が道路平面領域を含まないと判定される。

【0083】

例えば、最上位の階層に対応する道路平面候補領域A1では、道路平面上の点と道路平面上にない点との両方を含むため、道路平面候補領域が、道路平面のみを表わす領域、及び道路平面領域を含む領域の何れでもない。このような場合には、不明であると判定し、階層構造において、道路平面候補領域A1の下位の階層に対応する道路平面候補領域の各々について、同様に上記の判定処理を行う。

10

【0084】

例えば、最上位より1つ下位の階層に対応する道路平面候補領域B1には、道路平面上でない特徴点のみが含まれるので、道路平面領域を含まないと判定し、更に下位の階層に対応する道路平面候補領域C1については、上記の判定処理を行わない。また、最上位より1つ下位の階層に対応する他の道路平面候補領域B2には、道路平面上の特徴点と道路平面上でない特徴点との両方が含まれるので、不明であると判定し、更に一つ下位の階層に対応する道路平面候補領域C2、C3の各々について、上記の判定処理を行う。

【0085】

このように、上記の判定処理で、道路平面候補領域について不明であると判定されれば、1つ下位の階層に対応する道路平面候補領域について判定処理を行い、道路平面候補領域が道路平面のみを表わす、又は道路平面領域を含まないと判定された場合には、更に下位の階層に対応する道路平面候補領域については、判定処理を行わない。これによって、図7に示すような、各道路平面候補領域に対する判定結果が得られる。

20

【0086】

領域統合部40は、図8(A)に示すような、平面領域判定部38によって道路平面のみを表わしていると判定された道路平面候補領域を統合して、図8(B)に示すような、統合された候補領域を、道路平面領域として推定する。

【0087】

候補領域の統合処理は、以下に説明するように行う。平面領域のみを表わしていると判定された $n$ 個の候補領域 $R_1 \sim R_n$ が得られたとき、異なる2つの候補領域ペア $R_i, R_j$ について、まず隣り合っているか否かを判定する。

30

【0088】

隣り合っているか否かの判定は、 $R_i$ の領域中心と $R_j$ の領域中心とを結ぶ直線が、 $R_i, R_j$ 以外の候補領域を通るか否かで行う。中心を結ぶ直線が他の候補領域を通ることがなければ隣り合っていると判定し、他の候補領域を通れば隣り合っていないと判定する。 $R_i, R_j$ が隣り合っていないければ、他の候補領域ペアを選択して、上記の隣り合っているか否かの判定を行う。2つの候補領域 $R_i, R_j$ が隣り合っていれば、2つの候補領域の統合を行い、1つの領域とする。

【0089】

領域統合部40は、上記の統合処理を、統合できる候補領域がなくなるまで繰り返し、統合された候補領域を、道路平面領域として推定し、表示装置16に出力する。

40

【0090】

また、2つの候補領域の統合は、以下に説明するように行われる。2つの候補領域ペア $R_i, R_j$ を統合するとき、まず、一方の候補領域の境界上の点から、もう一方の候補領域の境界上の点のうち、最も近くなる点を求め、その2点を直線で結ぶ。得られた直線が2つの候補領域内を通らないなら、統合領域の境界候補となる直線の集合に、得られた直線を追加する。例えば、図9(A)に示すように、候補領域 $R_i$ の境界上の点 $P_m$ から候補領域 $R_j$ の境界上の最も近い点を結ぶ直線は、候補領域 $R_i, R_j$ の内部を通らないので、統合領域の境界候補となる直線の集合に追加される。また、図9(B)に示すよう

50

に、候補領域  $R_i$  の境界上の点  $P_n$  から候補領域  $R_j$  の境界上の最も近い点を結んだ直線は、候補領域  $R_i$  の内部を通るので、境界候補としない。

【0091】

以上のような処理を、候補領域  $R_i$  及び  $R_j$  の境界上のすべての点について行って、統合領域の境界候補となる直線の集合を求める。

【0092】

統合領域の境界候補となる直線の集合が得られると、境界候補となる直線の集合のうち  
の2本の直線を選択し、選択された2本の直線により囲まれる領域を統合領域としたとき  
に、統合領域の面積が最大となるような2本の直線を特定する。例えば、図10(A)に  
示すような、境界候補の直線の集合が得られた場合には、直線  $L_3$  と  $L_5$  を選択すると、  
図10(B)に示すような統合領域が得られ、直線  $L_1$  と  $L_7$  を選択すると、図10(C)  
)に示すような統合領域が得られる。この場合には、上記図10(C)のような統合領域  
の面積が最大となるので、統合領域の面積が最大となるような2本の直線として、直線  $L_1$   
と  $L_7$  が特定される。

10

【0093】

最後に、得られた統合領域から、道路平面領域でないと判定された道路平面候補領域と  
重なる領域を削除して、2つの候補領域ペア  $R_i, R_j$  を統合した領域とする。

【0094】

次に、本実施の形態に係る平面領域推定装置10の作用について説明する。なお、平面  
領域推定装置10を搭載した車両の走行中に、道路平面領域を推定する場合を例に説明す  
る。

20

【0095】

まず、撮像装置12によって、自車両前方の連続撮像が開始されると、コンピュータ1  
4において、図11に示す平面領域推定処理ルーチンが実行される。

【0096】

まず、ステップ100において、撮像装置12から、第1の位置及び第1の姿勢で撮像  
された第1の画像と、第2の位置及び第2の姿勢で撮像された第2の画像とを順に取得す  
る。

【0097】

そして、ステップ102において、上記ステップ100で取得した第1の画像と第2の  
画像との各々から特徴点を複数抽出し、ステップ104で、上記ステップ102で抽出さ  
れた複数の特徴点から、第1の画像と第2の画像との間に対応する対応点を少なくとも8  
組検索する。そして、ステップ106において、上記ステップ104で検索された少なく  
とも8組の対応点の画像座標に基づいて、第1の画像を撮像したときの撮像装置12の位  
置姿勢を基準とした第2の画像を撮像したときの撮像装置12の位置姿勢の変化を表わす  
並進ベクトル及び回転行列を算出する。

30

【0098】

そして、ステップ108において、上記ステップ106で算出された第1の画像と第2  
の画像との間における並進ベクトル及び回転行列、及び上記ステップ104で検索された  
第1の画像と第2の画像との各々における対応点の画像座標に基づいて、この対応点が示  
す特徴点の3次元座標を計算する。次のステップ110では、上記ステップ108で計算  
された、第1の画像の道路平面を表わす領域内の対応点が示す特徴点の3次元座標に基づ  
いて、道路平面を表わすパラメータを推定する。

40

【0099】

そして、ステップ112において、上記ステップ106で算出された第1の画像と第2  
の画像との間における並進ベクトル及び回転行列と、上記ステップ108で推定された道  
路平面を表わすパラメータとに基づいて、射影変換行列を算出する。ステップ114にお  
いて、上記ステップ112で算出された射影変換行列に従って、第1の画像を変換する。

【0100】

次のステップ116では、上記ステップ114で第1の画像を変換した変換画像と、上

50

記ステップ100で取得した第2の画像との各画素の差分値を算出する。そして、ステップ118において、大きさが異なる複数の閾値の各々を用いて、上記ステップ116で算出された各画素の差分値から、階層構造で表わされる複数の道路平面候補領域を検出する。

#### 【0101】

ステップ120において、階層構造の階層を示す変数 $n$ を初期値である1に設定すると共に、判定対象領域として、最も大きい閾値を用いて検出された少なくとも1つの道路平面候補領域を設定する。次に、ステップ122で、上記ステップ108で算出された対応点の3次元座標のうち、第 $n$ 階層の判定対象領域である道路平面候補領域内の対応点の3次元座標に基づいて、第 $n$ 階層の判定対象領域である道路平面候補領域が、道路平面のみを表わしているか、道路平面領域を含まないか、又は不明であるか（何れでもないか）を判定する。

10

#### 【0102】

そして、ステップ124において、上記ステップ122の第 $n$ 階層の判定対象領域に対する判定において、不明であると判定された道路平面候補領域が存在するか否かを判定する。不明であると判定された道路平面候補領域が存在する場合には、ステップ126において、階層構造の階層を示す変数 $n$ をインクリメントし、ステップ128において、上記ステップ122において不明であると前回判定された道路平面候補領域内に存在する第 $n$ 階層の道路平面候補領域を、第 $n$ 階層の判定対象領域として設定して、ステップ122へ戻る。

20

#### 【0103】

上記ステップ124において、不明であると判定された道路平面候補領域が存在せず、第 $n$ 階層の判定対象領域の全てについて、道路平面のみを表わしている、又は道路平面領域を含まないと判定された場合には、ステップ130へ移行する。また、上記ステップ124において、不明であると判定された道路平面候補領域が存在する場合であっても、一番小さい閾値を用いて検出された道路平面候補領域について、上記ステップ122の判定が行われた場合には、ステップ130へ移行する。

#### 【0104】

ステップ130では、上記ステップ122で道路平面のみを表わしていると判定された道路平面候補領域を統合して、道路平面領域として推定する。そして、ステップ132において、推定された道路平面領域を表示装置16に表示させて、平面領域推定処理ルーチンを終了する。

30

#### 【0105】

また、上記ステップ130は、図12に示す平面候補統合処理ルーチンによって実現される。まず、ステップ150において、上記ステップ122で道路平面のみを表わしていると判定された道路平面候補領域のうち、2つの道路平面候補領域のペア $R_i$ 、 $R_j$  ( $1 \leq i, j \leq n$ ,  $i \neq j$ )を選択する。そして、ステップ152において、上記ステップ150で選択された2つの道路平面候補領域のペア $R_i$ 、 $R_j$ が隣り合っているか否かを判定する。2つの道路平面候補領域のペア $R_i$ 、 $R_j$ が隣り合っていないと判定された場合には、上記ステップ150へ戻って、道路平面候補領域の別のペアを選択する。

40

#### 【0106】

一方、上記ステップ152で、2つの道路平面候補領域のペア $R_i$ 、 $R_j$ が隣り合っていると判定された場合には、ステップ154において、2つの道路平面候補領域のペア $R_i$ 、 $R_j$ を統合する。

#### 【0107】

そして、ステップ156では、上記ステップ122で道路平面のみを表わしていると判定された道路平面候補領域のうち、全ての道路平面候補領域のペアについて、上記ステップ152の判定処理が行われたか否かを判定し、上記ステップ152の判定処理が行われていない道路平面候補領域のペアが存在する場合には、上記ステップ150へ戻り、道路平面候補領域の別のペアを選択する。一方、上記ステップ156において、全ての道路平

50

面候補領域のペアについて、上記ステップ152の判定処理が行われた場合には、平面候補統合処理ルーチンを終了する。

【0108】

上記ステップ154の処理は、図13に示す処理ルーチンによって実現される。まず、ステップ158において、一方の道路平面候補領域の境界上の点から、もう一方の道路平面候補領域の境界上の最も近い点までの直線を求める。ステップ160では、上記ステップ158で得られた直線が、どちらの道路平面候補領域内にも通らないか否かを判定し、どちらの道路平面候補領域内にも通らない場合には、統合領域の境界候補となる直線の集合に、上記ステップ158で得られた直線を追加する。

【0109】

そして、ステップ162において、一方の道路平面候補領域の全ての境界上の点について、上記ステップ158、160の処理を実行したか否かを判定する。全ての境界上の点について実行していない場合には、上記ステップ158へ戻り、一方の道路平面候補領域の境界上の他の点について、上記ステップ158、160の処理を実行する。

【0110】

上記ステップ162で、全ての境界上の点について実行したと判定された場合には、ステップ164において、境界候補となる直線の集合から、2本の直線により囲まれる領域を統合領域としたときに統合領域の面積が最大となるような2本の直線を特定して、特定した2本の直線を統合領域の境界として、2つの道路平面候補領域を統合する。

【0111】

そして、ステップ166において、上記ステップ164で得られた統合領域から、上記ステップ122で道路平面領域を含まないと判定された道路平面候補領域と重なる領域を削除して、処理ルーチンを終了する。

【0112】

以上説明したように、第1の実施の形態に係る平面領域推定装置によれば、第1の画像を変換した変換画像と第2の画像との各画素の差分から、大きさが異なる複数の閾値の各々を用いて検出された、階層構造で表わされる複数の平面候補領域について、検出に用いられた閾値の大きさの降順に、道路平面のみを表わしているか否かを順次判定して、なるべく大きい範囲の領域として、道路平面を表わす領域を検出することができる。また、パターンのない領域があっても、誤って道路平面を表わす領域として検出することを防止することができる。また、道路平面のみを表わす領域を統合して、道路平面を表わす領域を精度よく推定することができる。

【0113】

また、道路平面候補領域内の対応点の3次元位置に基づいて、道路平面候補領域が道路平面のみを表わしているか否かを精度よく判定することができる。

【0114】

次に、第2の実施の形態に係る平面領域推定装置について説明する。なお、第2の実施の形態に係る平面領域推定装置は、第1の実施の形態と同様の構成となっているため、同一符号を付して説明を省略する。

【0115】

第2の実施の形態では、オプティカルフローの近似式を利用して、第1の画像を変換している点が、第1の実施の形態と異なっている。

【0116】

第2の実施の形態では、画像変換部32によって、第1の画像における道路平面を表わす領域を、第2の画像において道路平面が表されるべき領域に重ねるように変換するための変換を示すオプティカルフローの近似式を計算し、計算された近似式により、第1の画像を変換する。

【0117】

位置姿勢算出部24により算出された第1の画像と第2の画像との間の位置及び姿勢の変化が、回転行列  $w = (w_x, w_y, w_z)^T$  と並進ベクトル  $t = (t_x, t_y, t_z)^T$  で表さ

10

20

30

40

50

れるとき、道路平面  $A X + B Y + C Z = 1$  上にある点を投影した点  $p = (x, y)^T$  の画像間のオプティカルフローの近似式  $(u, v)^T$  は、以下の (17) 式、(18) 式により計算される。

【0118】

【数13】

$$u = \left( \frac{A}{f} x + \frac{B}{f} y + C \right) (f \quad 0 \quad -x) t + \left( \begin{pmatrix} \frac{x}{f} \\ \frac{y}{f} \\ -x \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} f \\ 0 \\ -x \end{pmatrix} \right)^T w$$

10

$$v = \left( \frac{A}{f} x + \frac{B}{f} y + C \right) (f \quad 0 \quad -y) t + \left( \begin{pmatrix} \frac{x}{f} \\ \frac{y}{f} \\ -y \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} 0 \\ f \\ -y \end{pmatrix} \right)^T w$$

... (18)

20

【0119】

上記 (17) 式、(18) 式により、第1の画像における点  $p = (x, y)^T$  に対応する第2の画像上の点は  $p' = (x + u, y + v)^T$  となる。上記 (17) 式、(18) 式により、第1の画像の各画素について、変換画像において対応する画素を求め、第1の画像を変換して変換画像を生成する。

【0120】

なお、第2の実施の形態に係る平面領域推定装置の他の構成及び作用は、第1の実施の形態と同様であるため、説明を省略する。

【0121】

次に、第3の実施の形態に係る平面領域推定装置について説明する。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。

30

【0122】

第3の実施の形態では、道路平面のみを表わしているか道路平面領域を含まないか不明であると前回判定された道路平面候補領域内から、閾値を用いて、道路平面候補領域を検出するようになっている点が、第1の実施の形態と異なっている。

【0123】

図14に示すように、第3の実施の形態に係る平面領域推定装置310のコンピュータ314は、画像入力部18と、特徴点抽出部20と、対応点検索部22と、位置姿勢算出部24と、3次元位置計算部26と、平面推定部30と、画像変換部32と、差分計算部34と、各画素の差分値に基づいて、後述する平面領域判定部38で不明であると前回判定された道路平面候補領域内から、道路平面候補領域を検出する平面候補領域検出部336と、平面候補領域検出部336によって検出された道路平面候補領域が道路平面のみを表わしている否かを判定する平面領域判定部338と、領域統合部40とを備えている。

40

【0124】

平面候補領域検出部336は、大きさが異なる複数の閾値について、大きい閾値から降順に、以下に説明するように、複数の道路平面候補領域を順次検出する。

【0125】

まず、各画素の差分値に基づいて、最も大きい閾値を用いて、差分値が閾値未満となる領域を、道路平面候補領域として検出する。

50

## 【0126】

次に、前回の検出により得られた道路平面候補領域のうち、平面領域判定部338によって不明であると判定された道路平面候補領域内から、次に大きい閾値を用いて、差分値が閾値未満となる領域を、道路平面候補領域として検出する。

## 【0127】

そして、平面領域判定部338によって不明であると判定された道路平面候補領域がなくなるまで、前回の検出により得られた道路平面候補領域のうち、平面領域判定部338によって不明であると判定された道路平面候補領域内から、次の大きい閾値を用いて、差分値が閾値未満となる領域を、道路平面候補領域として検出する検出処理を繰り返し行う。

10

## 【0128】

平面領域判定部338は、平面候補領域検出部336によって道路平面候補領域が検出される毎に、対応点検索部22で検索された対応点の画像上の位置、及び3次元位置計算部26により計算された対応点の3次元位置に基づいて、検出された道路平面候補領域が、道路平面のみを表わしているか、道路平面領域を含まないか、又は不明であるか（何れでもないか）を判定する。

## 【0129】

道路平面候補領域が不明であると判定されれば、上記の平面候補領域検出部336によって、不明であると判定された道路平面候補領域内から、閾値を用いて、再び道路平面候補領域が検出される。一方、道路平面候補領域が道路平面のみを表わしている、又は道路平面領域を含まないと判定された場合には、その道路平面候補領域内から、平面候補領域検出部336によって道路平面候補領域が検出されない。

20

## 【0130】

次に、第3の実施の形態に係る平面領域推定処理ルーチンについて、図15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。

## 【0131】

まず、ステップ100において、撮像装置12から、第1の画像と第2の画像とを順に取得し、ステップ102において、取得した第1の画像と第2の画像との各々から特徴点を複数抽出し、ステップ104で、抽出された複数の特徴点から、第1の画像と第2の画像との間で対応する対応点を少なくとも8組検索する。そして、ステップ106において、第1の画像を撮像したときの撮像装置12の位置姿勢を基準とした第2の画像を撮像したときの撮像装置12の位置姿勢の変化を表わす並進ベクトル及び回転行列を算出する。

30

## 【0132】

そして、ステップ108において、対応点が示す特徴点の3次元座標を計算する。次のステップ110では、道路平面を表わすパラメータを推定する。ステップ112において、射影変換行列を算出し、ステップ114において、算出された射影変換行列に従って、第1の画像を変換する。

## 【0133】

次のステップ116では、第1の画像を変換した変換画像と第2の画像との各画素の差分値を算出する。そして、ステップ350において、閾値を識別するための変数 $n$ を初期値である1に設定し、ステップ352において、最も大きい閾値（ $n$ 番目に大きい閾値）を用いて、上記ステップ116で算出された各画素の差分値から、道路平面候補領域を検出する。

40

## 【0134】

次のステップ354では、上記ステップ108で算出された対応点の3次元座標のうち、上記ステップ352又は後述するステップ356で $n$ 番目に大きい閾値を用いて検出された道路平面候補領域内の対応点の3次元座標に基づいて、 $n$ 番目に大きい閾値を用いて検出された道路平面候補領域の各々が、道路平面のみを表わしているか、道路平面領域を含まないか、又は不明であるか（何れでもないか）を判定する。

50

## 【0135】

そして、ステップ124において、上記ステップ354の判定において、不明であると判定された道路平面候補領域が存在するか否かを判定する。不明であると判定された道路平面候補領域が存在する場合には、ステップ356において、閾値を識別する変数 $n$ をインクリメントする。そして、ステップ358において、上記ステップ354において不明であると前回判定された各道路平面候補領域内の各画素の差分値から、 $n$ 番目に大きい閾値を用いて、道路平面候補領域を各々検出して、ステップ354へ戻る。

## 【0136】

上記ステップ124において、不明であると判定された道路平面候補領域が存在せず、 $n$ 番目に大きい閾値を用いて検出された道路平面候補領域の全てについて、道路平面のみを表わしている、又は道路平面領域を含まないと判定された場合には、ステップ130へ移行する。また、上記ステップ124において、不明であると判定された道路平面候補領域が存在する場合であっても、一番小さい閾値を用いて検出された道路平面候補領域について、上記ステップ354の判定が行われた場合には、ステップ130へ移行する。

## 【0137】

ステップ130では、上記ステップ122で道路平面のみを表わしていると判定された道路平面候補領域を統合して、道路平面領域として推定する。そして、ステップ132において、推定された道路平面領域を表示装置16に表示させて、平面領域推定処理ルーチンを終了する。

## 【0138】

以上説明したように、第3の実施の形態に係る平面領域推定装置によれば、第1の画像を変換した変換画像と第2の画像との各画素の差分から、大きさが異なる複数の閾値の降順に、閾値を用いて道路平面候補領域を検出して、道路平面のみを表わしているか否かを順次判定して、なるべく大きい範囲の領域として、道路平面を表わす領域を検出することができる。また、パターンのない領域があっても、誤って道路平面を表わす領域として検出することを防止することができる。また、道路平面のみを表わす領域を統合して、道路平面を表わす領域を精度よく推定することができる。

## 【0139】

なお、上記の第1の実施の形態～第3の実施の形態では、2つの画像から抽出された複数の特徴点から、2つの画像の間で対応する点を検索する場合を例に説明したが、2つの画像の一方の画像から特徴点を抽出し、他方の画像から、抽出された特徴点に対応する対応点を検索するようにしてもよい。

## 【0140】

また、上記の実施の形態では、撮像装置の位置姿勢の変化を表わすものとして、並進ベクトル及び回転行列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、撮像装置の位置姿勢の変化を表わすものとして他の指標を算出するようにしてもよい。

## 【0141】

また、平面領域推定処理ルーチンにおいて、一番小さい閾値を用いて検出された道路平面候補領域についても、不明であると判定された場合には、道路平面候補領域の検出及び道路平面を表わす領域であるかの判定の繰り返しを終了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、更に小さい閾値を新たに用意して、道路平面候補領域を検出し、道路平面を表わす領域であるかの判定を行うようにしてもよい。

## 【図面の簡単な説明】

## 【0142】

【図1】本発明の第1の実施の形態に係る平面領域推定装置を示すブロック図である。

【図2】位置姿勢の変化を表わす並進ベクトル及び回転行列を説明するための図である。

【図3】(A)第1の画像を示すイメージ図、(B)第2の画像を示すイメージ図、及び(C)第1の画像を射影変換により変換した変換画像を示すイメージ図である。

【図4】(A)最も大きい閾値 $T_{h1}$ を用いて検出された道路平面候補領域を示すイメージ図、(B)次に大きい閾値 $T_{h2}$ を用いて検出された道路平面候補領域を示すイメージ

10

20

30

40

50

図、及び ( C ) 最も小さい閾値  $T_h 3$  を用いて検出された道路平面候補領域を示すイメージ図である。

【図 5】検出された道路平面候補領域の階層構造を示すイメージ図である。

【図 6】道路平面上にある特徴点と、道路平面上にない特徴点とを示すイメージ図である。

【図 7】各道路平面候補領域に対する判定結果を示すイメージ図である。

【図 8】( A ) 道路平面のみを表わすと判定された道路平面候補領域を示すイメージ図、及び ( B ) 道路平面候補領域統合して推定された道路平面を表わす領域を示すイメージ図である。

【図 9】( A ) 一方の候補領域の境界上の点から他方の候補領域の境界上の最も近い点を結ぶ直線であって、何れの候補領域の内部も通らない直線を示す図、及び ( B ) 一方の候補領域の境界上の点から他方の候補領域の境界上の最も近い点を結ぶ直線であって、一方の候補領域の内部を通る直線を示す図である。

10

【図 10】( A ) 統合領域の境界候補となる直線の集合を示す図、( B ) 境界候補となる直線の集合から選択された 2 本の直線により囲まれる統合領域を示す図、及び ( C ) 境界候補となる直線の集合から特定された 2 本の直線により囲まれる面積が最大となる統合領域を示す図である。

【図 11】本発明の第 1 の実施の形態に係る平面領域推定装置のコンピュータにおける平面領域推定処理ルーチンを示すフローチャートである。

【図 12】本発明の第 1 の実施の形態に係る平面領域推定装置のコンピュータにおける平面候補統合処理ルーチンを示すフローチャートである。

20

【図 13】2 つの候補領域を統合する処理の処理ルーチンを示すフローチャートである。

【図 14】本発明の第 3 の実施の形態に係る平面領域推定装置を示すブロック図である。

【図 15】本発明の第 3 の実施の形態に係る平面領域推定装置のコンピュータにおける平面領域推定処理ルーチンを示すフローチャートである。

【符号の説明】

【 0 1 4 3 】

1 0、3 1 0 平面領域推定装置

1 2 撮像装置

1 4、3 1 4 コンピュータ

30

2 0 特徴点抽出部

2 2 対応点検索部

2 4 位置姿勢算出部

2 6 3 次元位置計算部

3 0 平面推定部

3 2 画像変換部

3 4 差分計算部

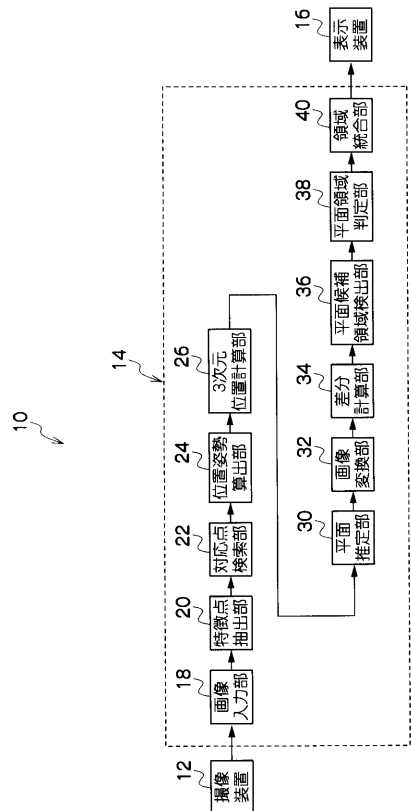
3 6、3 3 6 平面候補領域検出部

3 8、3 3 8 平面領域判定部

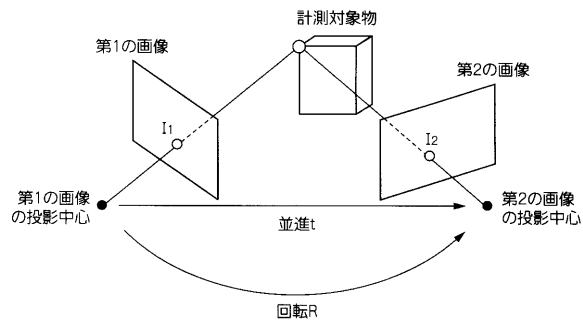
4 0 領域統合部

40

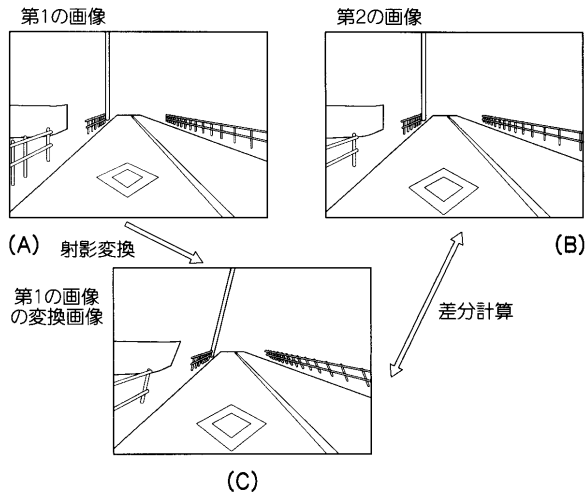
【 図 1 】



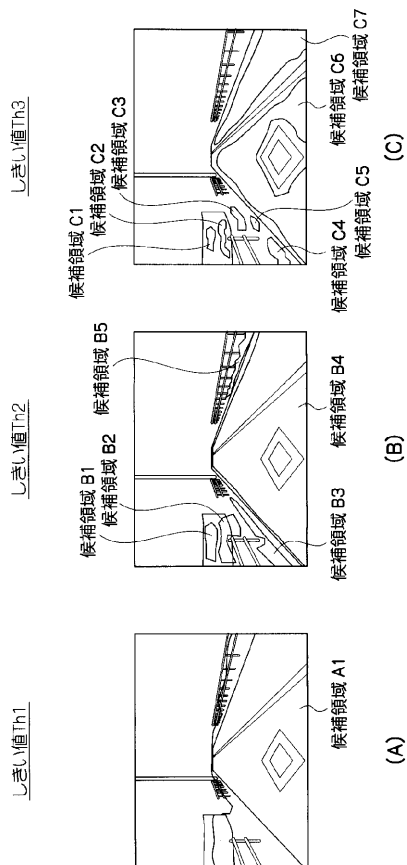
【 図 2 】



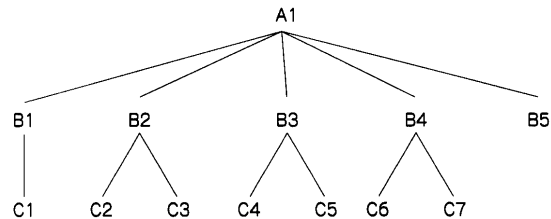
【 図 3 】



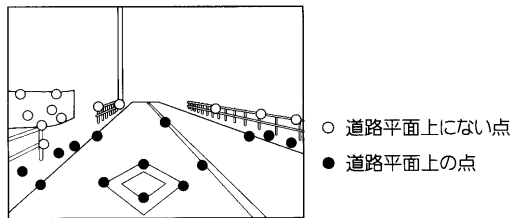
【 図 4 】



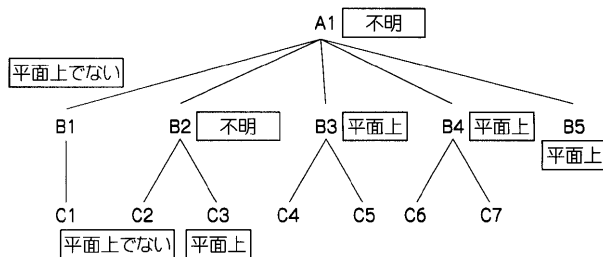
【 図 5 】



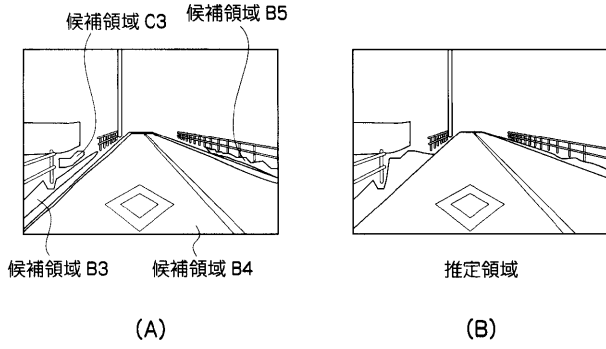
【 図 6 】



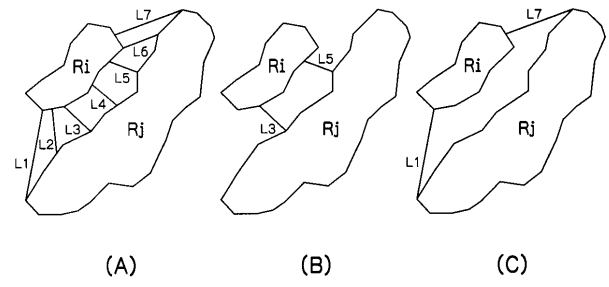
【 図 7 】



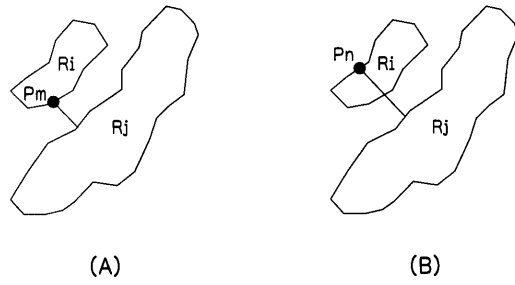
【図 8】



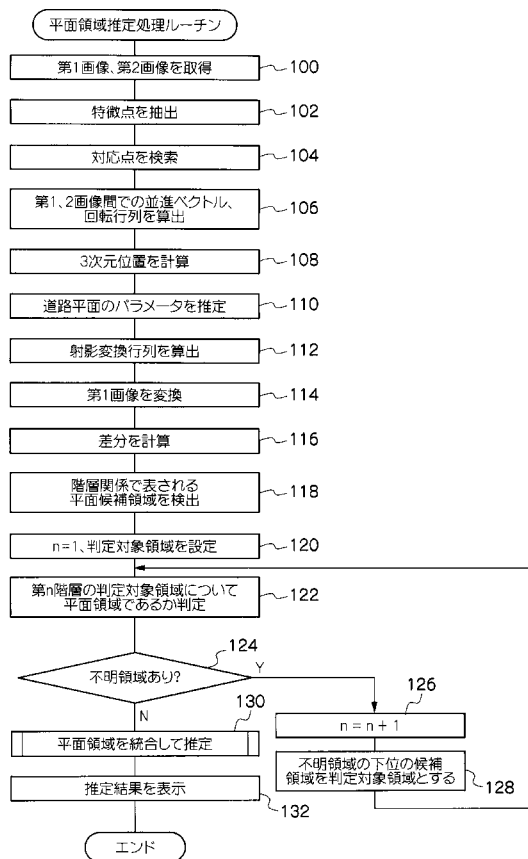
【図 10】



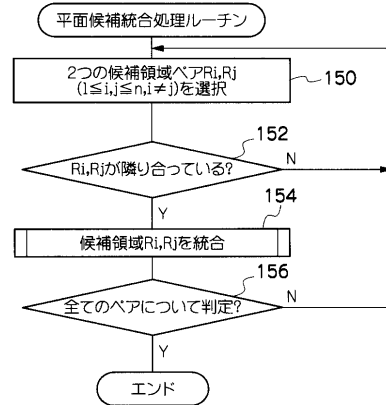
【図 9】



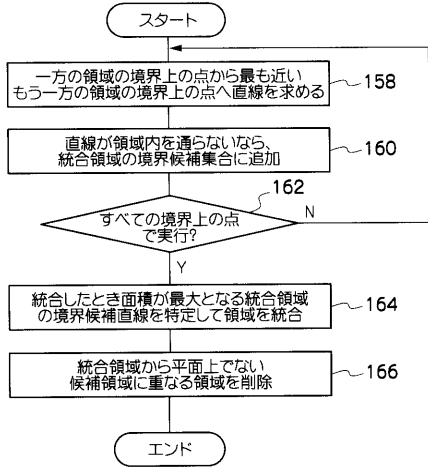
【図 11】



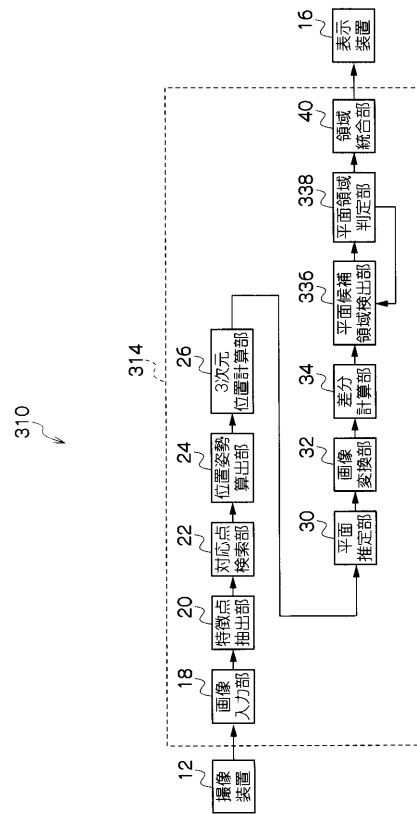
【図 12】



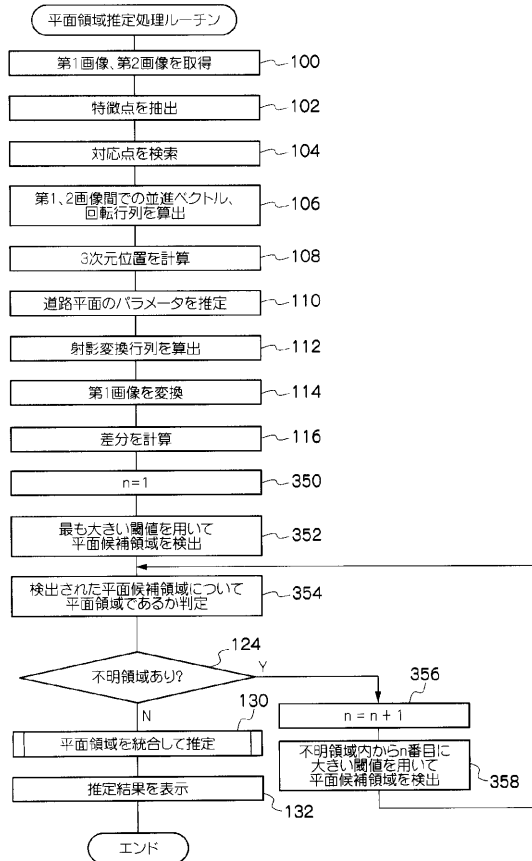
【 図 1 3 】



【 図 1 4 】



【 図 1 5 】



フロントページの続き

Fターム(参考) 5L096 BA02 BA04 CA04 EA07 FA09 GA08