

(19)日本国特許庁(JP)

## (12)特許公報(B2)

(11)特許番号

特許第7002007号  
(P7002007)

(45)発行日 令和4年1月20日(2022.1.20)

(24)登録日 令和4年1月4日(2022.1.4)

(51)国際特許分類

F I

G 0 6 T 7/80 (2017.01)

G 0 6 T 7/80

H 0 4 N 5/232(2006.01)

H 0 4 N 5/232 2 9 0

H 0 4 N 7/18 (2006.01)

H 0 4 N 7/18 J

請求項の数 21 (全42頁)

(21)出願番号	特願2018-79354(P2018-79354)	(73)特許権者	314012076
(22)出願日	平成30年4月17日(2018.4.17)		パナソニックIPマネジメント株式会社
(65)公開番号	特開2018-190402(P2018-190402 A)		大阪府大阪市中央区城見2丁目1番61号
(43)公開日	平成30年11月29日(2018.11.29)	(74)代理人	100109210
審査請求日	令和2年11月17日(2020.11.17)		弁理士 新居 広守
(31)優先権主張番号	特願2017-91207(P2017-91207)	(74)代理人	100137235
(32)優先日	平成29年5月1日(2017.5.1)		弁理士 寺谷 英作
(33)優先権主張国・地域又は機関	日本国(JP)	(74)代理人	100131417
			弁理士 道坂 伸一
		(72)発明者	登 一生
			大阪府門真市大字門真1006番地 パ
			ナソニック株式会社内
		(72)発明者	若井 信彦
			大阪府門真市大字門真1006番地 パ
			最終頁に続く

(54)【発明の名称】 カメラパラメタセット算出装置、カメラパラメタセット算出方法及びプログラム

## (57)【特許請求の範囲】

## 【請求項1】

複数のカメラで撮影された画像と前記複数のカメラのカメラパラメタセットとを用いて、カメラパラメタセットを算出する少なくとも1つの制御回路を備え、

前記少なくとも1つの制御回路は、

(a1) 前記複数のカメラの第1カメラで撮影された第1画像と、前記複数のカメラの第2カメラで撮影された第2画像とを取得し、

(a2) 前記第1カメラの1つ以上のカメラパラメタを含む第1カメラパラメタセットと、前記第2カメラの1つ以上のカメラパラメタを含む第2カメラパラメタセットとを取得し、

(a3) 前記第1画像、前記第2画像、前記第1カメラパラメタセット及び前記第2カメラパラメタセットに基づいて、前記第1画像及び前記第2画像における被写体が部分的に重複して映し出される重複領域上の3次元座標を複数算出し、

(a4) 前記第1カメラパラメタセットに基づいて前記複数の3次元座標を前記第1画像に投影した複数の第1画素座標を決定し、前記第2カメラパラメタセットに基づいて前記複数の3次元座標を前記第2画像に投影した複数の第2画素座標を決定し、

(a5) 前記第1画像における前記複数の第1画素座標での複数の画素値と前記第2画像における前記複数の第2画素座標での複数の画素値とに基づいて評価値を算出し、

(a6) 前記評価値に基づいて、前記第1カメラパラメタセット及び前記第2カメラパラメタセットを更新し、

( a 7 ) 更新された前記第 1 カメラパラメタセット及び前記第 2 カメラパラメタセットを出力する

カメラパラメタセット算出装置。

【請求項 2】

前記第 1 画像及び前記第 2 画像は、

( i ) 車両の前部に配置されたカメラで前記車両の前方を撮影した画像、及び前記車両の左部に配置されたカメラで前記車両の左方を撮影した画像の組み合わせ、

( i i ) 車両の前部に配置されたカメラで前記車両の前方を撮影した画像、及び前記車両の右部に配置されたカメラで前記車両の右方を撮影した画像の組み合わせ、

( i i i ) 車両の後部に配置されたカメラで前記車両の後方を撮影した画像、及び前記車両の左部に配置されたカメラで前記車両の左方を撮影した画像の組み合わせ、

( i v ) 車両の後部に配置されたカメラで前記車両の後方を撮影した画像、及び前記車両の右部に配置されたカメラで前記車両の右方を撮影した画像の組み合わせ、

のうちのいずれかの組み合わせである

請求項 1 に記載のカメラパラメタセット算出装置。

【請求項 3】

前記少なくとも 1 つの制御回路は、

処理 ( a 5 ) では、前記第 1 画素座標における前記第 1 画像の画素値と前記第 2 画素座標における前記第 2 画像の画素値との差異に基づいて前記評価値を算出する

請求項 1 または 2 に記載のカメラパラメタセット算出装置。

【請求項 4】

前記少なくとも 1 つの制御回路は、

前記複数のカメラの第 3 カメラで撮影された第 3 画像と、前記第 3 カメラの第 3 カメラパラメタセットとをさらに取得し、

前記第 1 画像、前記第 2 画像及び前記第 3 画像から、2 つの画像により構成される複数の組を決定し、

前記複数の組それぞれに含まれる 2 つの画像に対して、処理 ( a 3 ) ~ 処理 ( a 5 ) を順次行う

請求項 1 ~ 3 のいずれか一項に記載のカメラパラメタセット算出装置。

【請求項 5】

前記少なくとも 1 つの制御回路は、

前記複数のカメラの第 3 カメラで撮影された第 3 画像と、前記第 3 カメラの第 3 カメラパラメタセットとをさらに取得し、

前記第 1 画像、前記第 2 画像及び前記第 3 画像から、2 つの画像により構成される複数の組を決定し、

前記複数の組それぞれに含まれる 2 つの画像に対して、処理 ( a 3 ) ~ 処理 ( a 5 ) を行って得られる画素値を用いて、前記評価値を算出する

請求項 1 ~ 3 のいずれか一項に記載のカメラパラメタセット算出装置。

【請求項 6】

前記第 1 画像及び前記第 2 画像は、被写体の一部が重複して映る第 1 重複領域を含み、

前記第 2 画像及び前記第 3 画像は、被写体の一部が重複して映る第 2 重複領域を含み、

前記第 1 重複領域と前記第 2 重複領域とは、重複しない

請求項 4 または 5 に記載のカメラパラメタセット算出装置。

【請求項 7】

前記第 1 画像及び前記第 2 画像はそれぞれ、光軸中心での光軸の方向が互いに交差する方向であるように配置された前記第 1 カメラ及び前記第 2 カメラで撮影された画像である

請求項 1 ~ 6 のいずれか一項に記載のカメラパラメタセット算出装置。

【請求項 8】

( a 1 ) 複数のカメラの第 1 カメラで撮影された第 1 画像と、前記複数のカメラの第 2 カメラで撮影された第 2 画像とを取得し、

( a 2 ) 前記第 1 カメラの 1 つ以上のカメラパラメタを含む第 1 カメラパラメタセットと、前記第 2 カメラの 1 つ以上のカメラパラメタを含む第 2 カメラパラメタセットとを取得し、

( a 3 ) 前記第 1 画像、前記第 2 画像、前記第 1 カメラパラメタセット及び前記第 2 カメラパラメタセットに基づいて、前記第 1 画像及び前記第 2 画像における被写体が部分的に重複して映し出される重複領域上の 3 次元座標を複数算出し、

( a 4 ) 前記第 1 カメラパラメタセットに基づいて前記複数の 3 次元座標を前記第 1 画像に投影した複数の第 1 画素座標を決定し、前記第 2 カメラパラメタセットに基づいて前記複数の 3 次元座標を前記第 2 画像に投影した複数の第 2 画素座標を決定し、

( a 5 ) 前記第 1 画像における前記複数の第 1 画素座標での複数の画素値と前記第 2 画像における前記複数の第 2 画素座標での複数の画素値とに基づいて評価値を算出し、

( a 6 ) 前記評価値に基づいて、前記第 1 カメラパラメタセット及び前記第 2 カメラパラメタセットを更新し、

( a 7 ) 更新された前記第 1 カメラパラメタセット及び前記第 2 カメラパラメタセットを出力し、

処理 ( a 1 ) ~ 処理 ( a 7 ) の少なくとも 1 つがプロセッサによって実行されるカメラパラメタセット算出方法。

【請求項 9】

前記第 1 画像及び前記第 2 画像は、

( i ) 車両の前部に配置されたカメラで前記車両の前方を撮影した画像、及び前記車両の左部に配置されたカメラで前記車両の左方を撮影した画像の組み合わせ、

( i i ) 車両の前部に配置されたカメラで前記車両の前方を撮影した画像、及び前記車両の右部に配置されたカメラで前記車両の右方を撮影した画像の組み合わせ、

( i i i ) 車両の後部に配置されたカメラで前記車両の後方を撮影した画像、及び前記車両の左部に配置されたカメラで前記車両の左方を撮影した画像の組み合わせ、

( i v ) 車両の後部に配置されたカメラで前記車両の後方を撮影した画像、及び前記車両の右部に配置されたカメラで前記車両の右方を撮影した画像の組み合わせ、

のうちのいずれかの組み合わせである

請求項 8 に記載のカメラパラメタセット算出方法。

【請求項 10】

処理 ( a 5 ) では、前記第 1 画素座標における前記第 1 画像の画素値と前記第 2 画素座標における前記第 2 画像の画素値との差異に基づいて前記評価値を算出する

請求項 8 または 9 に記載のカメラパラメタセット算出方法。

【請求項 11】

前記複数のカメラの第 3 カメラで撮影された第 3 画像と、前記第 3 カメラの第 3 カメラパラメタセットとをさらに取得し、

前記第 1 画像、前記第 2 画像及び前記第 3 画像から、2 つの画像により構成される複数の組を決定し、

前記複数の組それぞれに含まれる 2 つの画像に対して、処理 ( a 3 ) ~ 処理 ( a 5 ) を順次行う

請求項 8 ~ 10 のいずれか一項に記載のカメラパラメタセット算出方法。

【請求項 12】

前記複数のカメラの第 3 カメラで撮影された第 3 画像と、前記第 3 カメラの第 3 カメラパラメタセットとをさらに取得し、

前記第 1 画像、前記第 2 画像及び前記第 3 画像から、2 つの画像により構成される複数の組を決定し、

前記複数の組それぞれに含まれる 2 つの画像に対して、処理 ( a 3 ) ~ 処理 ( a 5 ) を行って得られる画素値を用いて、前記評価値を算出する

請求項 8 ~ 10 のいずれか一項に記載のカメラパラメタセット算出方法。

【請求項 13】

10

20

30

40

50

前記第 1 画像及び前記第 2 画像は、被写体の一部が重複して映る第 1 重複領域を含み、  
前記第 2 画像及び前記第 3 画像は、被写体の一部が重複して映る第 2 重複領域を含み、  
前記第 1 重複領域と前記第 2 重複領域とは、重複しない  
請求項 1 1 または 1 2 に記載のカメラパラメタセット算出方法。

【請求項 1 4】

前記第 1 画像及び前記第 2 画像はそれぞれ、光軸中心での光軸の方向が互いに交差する方向であるように配置された前記第 1 カメラ及び前記第 2 カメラで撮影された画像である  
請求項 8 ~ 1 3 のいずれか一項に記載のカメラパラメタセット算出方法。

【請求項 1 5】

コンピュータに実行させるプログラムであって、

10

( a 1 ) 複数のカメラの第 1 カメラで撮影された第 1 画像と、前記複数のカメラの第 2 カメラで撮影された第 2 画像とを取得し、

( a 2 ) 前記第 1 カメラの 1 つ以上のカメラパラメタを含む第 1 カメラパラメタセットと、前記第 2 カメラの 1 つ以上のカメラパラメタを含む第 2 カメラパラメタセットとを取得し、

( a 3 ) 前記第 1 画像、前記第 2 画像、前記第 1 カメラパラメタセット及び前記第 2 カメラパラメタセットに基づいて、前記第 1 画像及び前記第 2 画像における被写体が部分的に重複して映し出される重複領域上の 3 次元座標を複数算出し、

( a 4 ) 前記第 1 カメラパラメタセットに基づいて前記複数の 3 次元座標を前記第 1 画像に投影した複数の第 1 画素座標を決定し、前記第 2 カメラパラメタセットに基づいて前記  
20 複数の 3 次元座標を前記第 2 画像に投影した複数の第 2 画素座標を決定し、

( a 5 ) 前記第 1 画像における前記複数の第 1 画素座標での複数の画素値と前記第 2 画像における前記複数の第 2 画素座標での複数の画素値とに基づいて評価値を算出し、

( a 6 ) 前記評価値に基づいて、前記第 1 カメラパラメタセット及び前記第 2 カメラパラメタセットを更新し、

( a 7 ) 更新された前記第 1 カメラパラメタセット及び前記第 2 カメラパラメタセットを出力する

ことを前記コンピュータに実行させるプログラム。

【請求項 1 6】

前記第 1 画像及び前記第 2 画像は、

30

( i ) 車両の前部に配置されたカメラで前記車両の前方を撮影した画像、及び前記車両の左部に配置されたカメラで前記車両の左方を撮影した画像の組み合わせ、

( i i ) 車両の前部に配置されたカメラで前記車両の前方を撮影した画像、及び前記車両の右部に配置されたカメラで前記車両の右方を撮影した画像の組み合わせ、

( i i i ) 車両の後部に配置されたカメラで前記車両の後方を撮影した画像、及び前記車両の左部に配置されたカメラで前記車両の左方を撮影した画像の組み合わせ、

( i v ) 車両の後部に配置されたカメラで前記車両の後方を撮影した画像、及び前記車両の右部に配置されたカメラで前記車両の右方を撮影した画像の組み合わせ、

のうちのいずれかの組み合わせである

請求項 1 5 に記載のプログラム。

40

【請求項 1 7】

処理 ( a 5 ) では、前記第 1 画素座標における前記第 1 画像の画素値と前記第 2 画素座標における前記第 2 画像の画素値との差異に基づいて前記評価値を算出する

請求項 1 5 または 1 6 に記載のプログラム。

【請求項 1 8】

前記複数のカメラの第 3 カメラで撮影された第 3 画像と、前記第 3 カメラの第 3 カメラパラメタセットとをさらに取得し、

前記第 1 画像、前記第 2 画像及び前記第 3 画像から、2 つの画像により構成される複数の組を決定し、

前記複数の組それぞれに含まれる 2 つの画像に対して、処理 ( a 3 ) ~ 処理 ( a 5 ) を順

50

次行う

請求項 15 ~ 17 のいずれか一項に記載のプログラム。

【請求項 19】

前記複数のカメラの第 3 カメラで撮影された第 3 画像と、前記第 3 カメラの第 3 カメラパラメタセットとをさらに取得し、

前記第 1 画像、前記第 2 画像及び前記第 3 画像から、2 つの画像により構成される複数の組を決定し、

前記複数の組それぞれに含まれる 2 つの画像に対して、処理 (a3) ~ 処理 (a5) を行って得られる画素値を用いて、前記評価値を算出する

請求項 15 ~ 17 のいずれか一項に記載のプログラム。

10

【請求項 20】

前記第 1 画像及び前記第 2 画像は、被写体の一部が重複して映る第 1 重複領域を含み、

前記第 2 画像及び前記第 3 画像は、被写体の一部が重複して映る第 2 重複領域を含み、

前記第 1 重複領域と前記第 2 重複領域とは、重複しない

請求項 18 または 19 に記載のプログラム。

【請求項 21】

前記第 1 画像及び前記第 2 画像はそれぞれ、光軸中心での光軸の方向が互いに交差する方向であるように配置された前記第 1 カメラ及び前記第 2 カメラで撮影された画像である

請求項 15 ~ 20 のいずれか一項に記載のプログラム。

【発明の詳細な説明】

20

【技術分野】

【0001】

本開示は、カメラパラメタセット算出装置、カメラパラメタセット算出方法及びプログラムに関する。

【背景技術】

【0002】

自動車の安全運転支援システム又は不審者等を検出する監視カメラシステムなどにおいて、複数台のカメラで撮影した画像を用いて新たな画像を生成し、利用者に呈示する技術が数多く提案されている。例えば、特許文献 1 に開示される画像生成装置は、車両の前後左右に設置された計 4 台のカメラを用いて車両の周辺を撮影する。そして、画像生成装置は、4 台のカメラの撮影画像を、予め定めた空間モデルにマッピングすることで、車両全周囲を上方から俯瞰した画像を生成する。この手法は、自車を俯瞰したような視点での画像が生成できるため、ドライバが容易に自車周辺の状況を認識できるという利点がある。

30

【0003】

複数台のカメラで撮影した画像から、1 つの画像を生成するためには、各カメラのカメラパラメタセットが必要である。このカメラパラメタセットを算出することをカメラ校正と呼ぶ。特許文献 2 及び非特許文献 1 には、カメラ校正について詳細な説明が記載されている。例えば、非特許文献 1 に開示されるカメラ校正技術では、校正の基準となる基準点の 3 次元座標と、カメラで基準点を撮影した像を含む画像における当該像の画素座標との組が複数組用意されて、これらが入力され、さらに、カメラパラメタを用いて 3 次元座標の基準点を画像上に投影した点と、当該基準点に対応する画素座標との距離 (再投影誤差とも呼ばれる) が算出される。さらに、各基準点の再投影誤差の総和を最小化するカメラパラメタセットが算出される。

40

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【文献】特許第 3286306 号公報

特表 2003 - 528304 号公報

【非特許文献】

【0005】

50

【文献】Roger Y. Tsai、「A Versatile Camera Calibration Technique for High-Accuracy 3D Machine Vision Metrology Using Off-the-Shelf TV Cameras and Lenses」、Journal of Robotics and Automation、IEEE、1987年8月、Vol. RA-3、No.4、p.323-344

S. J. Maybank and O. D. Faugeras、「A Theory of Self-calibration of a Moving Camera」、International Journal of Computer Vision、1992年、8(2):123-151

C. Zach、T. Pock及びH. Bischof、「A duality based approach for realtime TV-L1 optical flow」、In Proceedings of the 29th DAGM conference on Pattern recognition、2007年、p214-223

松山隆司、ほか編、「コンピュータビジョン」、株式会社新技術コミュニケーションズ、p123-137

10

#### 【発明の概要】

#### 【発明が解決しようとする課題】

#### 【0006】

従来の校正技術では、基準点、すなわち、基準点の3次元座標及び画素座標の組を入力としているため、基準点を得るための校正指標が必要という課題がある。さらに、基準点の3次元位置が、経年変化、外力又は温度変化等の影響で変化し、変化後の3次元座標が未知である場合に、正しく校正できないという課題がある。

#### 【0007】

本開示は、基準点の3次元座標が事前に与えられることなく、カメラの自己校正を可能にするカメラパラメタセット算出装置、カメラパラメタセット算出方法及びプログラムを提供する。

20

#### 【課題を解決するための手段】

#### 【0008】

本開示の一態様に係るカメラパラメタセット算出装置は、複数のカメラで撮影された画像と前記複数のカメラのカメラパラメタセットとを用いて、カメラパラメタセットを算出する少なくとも1つの制御回路を備え、前記少なくとも1つの制御回路は、(a1)前記複数のカメラの第1カメラで撮影された第1画像と、前記複数のカメラの第2カメラで撮影された第2画像とを取得し、(a2)前記第1カメラの1つ以上のカメラパラメタを含む第1カメラパラメタセットと、前記第2カメラの1つ以上のカメラパラメタを含む第2カメラパラメタセットとを取得し、(a3)前記第1画像、前記第2画像、前記第1カメラパラメタセット及び前記第2カメラパラメタセットに基づいて、前記第1画像及び前記第2画像における被写体が部分的に重複して映し出される重複領域上の3次元座標を複数算出し、(a4)前記第1カメラパラメタセットに基づいて前記複数の3次元座標を前記第1画像に投影した複数の第1画素座標を決定し、前記第2カメラパラメタセットに基づいて前記複数の3次元座標を前記第2画像に投影した複数の第2画素座標を決定し、(a5)前記第1画像における前記複数の第1画素座標での複数の画素値と前記第2画像における前記複数の第2画素座標での複数の画素値とに基づいて評価値を算出し、(a6)前記評価値に基づいて、前記第1カメラパラメタセット及び前記第2カメラパラメタセットを更新し、(a7)更新された前記第1カメラパラメタセット及び前記第2カメラパラメタ

30

40

#### 【0009】

本開示の一態様に係るカメラパラメタセット算出方法は、(a1)複数のカメラの第1カメラで撮影された第1画像と、前記複数のカメラの第2カメラで撮影された第2画像とを取得し、(a2)前記第1カメラの1つ以上のカメラパラメタを含む第1カメラパラメタセットと、前記第2カメラの1つ以上のカメラパラメタを含む第2カメラパラメタセットとを取得し、(a3)前記第1画像、前記第2画像、前記第1カメラパラメタセット及び前記第2カメラパラメタセットに基づいて、前記第1画像及び前記第2画像における被写体が部分的に重複して映し出される重複領域上の3次元座標を複数算出し、(a4)前記第1カメラパラメタセットに基づいて前記複数の3次元座標を前記第1画像に投影した複

50

数の第 1 画素座標を決定し、前記第 2 カメラパラメタセットに基づいて前記複数の 3 次元座標を前記第 2 画像に投影した複数の第 2 画素座標を決定し、( a 5 ) 前記第 1 画像における前記複数の第 1 画素座標での複数の画素値と前記第 2 画像における前記複数の第 2 画素座標での複数の画素値とに基づいて評価値を算出し、( a 6 ) 前記評価値に基づいて、前記第 1 カメラパラメタセット及び前記第 2 カメラパラメタセットを更新し、( a 7 ) 更新された前記第 1 カメラパラメタセット及び前記第 2 カメラパラメタセットを出力し、処理( a 1 ) ~ 処理( a 7 ) の少なくとも 1 つがプロセッサによって実行される。

#### 【 0 0 1 0 】

本開示の一態様に係るプログラムは、コンピュータに実行させるプログラムであって、( a 1 ) 複数のカメラの第 1 カメラで撮影された第 1 画像と、前記複数のカメラの第 2 カメラで撮影された第 2 画像とを取得し、( a 2 ) 前記第 1 カメラの 1 つ以上のカメラパラメタを含む第 1 カメラパラメタセットと、前記第 2 カメラの 1 つ以上のカメラパラメタを含む第 2 カメラパラメタセットとを取得し、( a 3 ) 前記第 1 画像、前記第 2 画像、前記第 1 カメラパラメタセット及び前記第 2 カメラパラメタセットに基づいて、前記第 1 画像及び前記第 2 画像における被写体が部分的に重複して映し出される重複領域上の 3 次元座標を複数算出し、( a 4 ) 前記第 1 カメラパラメタセットに基づいて前記複数の 3 次元座標を前記第 1 画像に投影した複数の第 1 画素座標を決定し、前記第 2 カメラパラメタセットに基づいて前記複数の 3 次元座標を前記第 2 画像に投影した複数の第 2 画素座標を決定し、( a 5 ) 前記第 1 画像における前記複数の第 1 画素座標での複数の画素値と前記第 2 画像における前記複数の第 2 画素座標での複数の画素値とに基づいて評価値を算出し、( a 6 ) 前記評価値に基づいて、前記第 1 カメラパラメタセット及び前記第 2 カメラパラメタセットを更新し、( a 7 ) 更新された前記第 1 カメラパラメタセット及び前記第 2 カメラパラメタセットを出力することを前記コンピュータに実行させる。

#### 【 0 0 1 1 】

なお、上記の包括的又は具体的な態様は、システム、装置、方法、集積回路、コンピュータプログラム又はコンピュータ読み取り可能な記録ディスク等の記録媒体で実現されてもよく、システム、装置、方法、集積回路、コンピュータプログラム及び記録媒体の任意な組み合わせで実現されてもよい。コンピュータ読み取り可能な記録媒体は、例えば C D - R O M ( C o m p a c t D i s c - R e a d O n l y M e m o r y ) 等の不揮発性の記録媒体を含む。

#### 【 発明の効果 】

#### 【 0 0 1 2 】

本開示のカメラパラメタセット算出技術によると、基準点の 3 次元座標が事前に与えられることなく、カメラの自己校正が可能になる。

#### 【 0 0 1 3 】

本開示の一態様の付加的な恩恵及び有利な点は本明細書及び図面から明らかとなる。この恩恵及び / 又は有利な点は、本明細書及び図面に開示した様々な態様及び特徴により個別に提供され得るものであり、その 1 つ以上を得るために全てが必要ではない。

#### 【 図面の簡単な説明 】

#### 【 0 0 1 4 】

【 図 1 】 図 1 は、従来の校正指標の例を示す模式図である。

【 図 2 】 図 2 は、実施の形態に係る車載カメラシステムの機能的な構成を示すブロック図である。

【 図 3 】 図 3 は、実施の形態に係る車載カメラシステムの設置例を示す図である。

【 図 4 】 図 4 は、実施の形態に係る車載カメラシステムの画像処理部をコンピュータによって構成したブロック図である。

【 図 5 】 図 5 は、実施の形態に係る画像処理部の画像生成時の動作の流れの一例を示すフローチャートである。

【 図 6 】 図 6 は、実施の形態における撮影画像の例を示す模式図である。

【 図 7 】 図 7 は、実施の形態における仮想カメラの配置例を示す模式的な図である。

【図 8】図 8 は、実施の形態における生成画像の例を示す模式図である。

【図 9】図 9 は、実施の形態に係るカメラパラメタセット算出装置の機能的な構成を示す模式図である。

【図 10】図 10 は、実施の形態に係る画像処理部の自己校正時の動作の流れの一例を示すフローチャートである。

【図 11】図 11 は、実施の形態における撮影画像の重複撮影領域の例を示す模式図である。

【図 12 A】図 12 A は、自己校正の実験条件 1 の実験例におけるカメラパラメタと評価値との関係の例である。

【図 12 B】図 12 B は、自己校正の実験条件 1 の実験例におけるカメラパラメタと評価値との関係の例である。

【図 12 C】図 12 C は、自己校正の実験条件 1 の実験例におけるカメラパラメタと評価値との関係の例である。

【図 12 D】図 12 D は、自己校正の実験条件 1 の実験例におけるカメラパラメタと評価値との関係の例である。

【図 13 A】図 13 A は、自己校正の実験条件 1 の実験例におけるカメラパラメタと評価値との関係の例である。

【図 13 B】図 13 B は、自己校正の実験条件 1 の実験例におけるカメラパラメタと評価値との関係の例である。

【図 13 C】図 13 C は、自己校正の実験条件 1 の実験例におけるカメラパラメタと評価値との関係の例である。

【図 14 A】図 14 A は、自己校正の実験条件 1 の実験例におけるカメラパラメタと評価値との関係の例である。

【図 14 B】図 14 B は、自己校正の実験条件 1 の実験例におけるカメラパラメタと評価値との関係の例である。

【図 15 A】図 15 A は、自己校正の実験条件 2 の実験例における試行回数と評価値との関係の例である。

【図 15 B】図 15 B は、自己校正の実験条件 2 の実験例における試行回数と再投影誤差との関係の例である。

【図 16】図 16 は、互いに重複撮影領域を含む 4 つのカメラの撮影画像の一例である。

【図 17】図 17 は、変形例 2 に係る車載カメラシステムの構成を示すブロック図である。

【発明を実施するための形態】

【0015】

[ 本開示の基礎となった知見 ]

本発明者らは、「背景技術」の欄において記載したカメラ校正に関し、以下の問題が生じることを見出した。具体的には、自動車の安全運転支援システム又は不審者等を検出する監視カメラシステムなどにおいて、車両の周り又は監視対象エリアを利用者にわかりやすく見せるために、複数台のカメラで撮影した画像から 1 つの画像を生成する手法、及びカメラで撮影した画像に位置の基準となるような補助線を重畳する手法が、数多く提案されている。複数台のカメラがそれぞれ異なる位置に設定されている場合に、これらのカメラで撮影した画像から 1 つの画像を生成するためには、各カメラの位置及び向き、並びに、焦点距離及び光軸中心位置などの各カメラのカメラパラメタセットが必要である。カメラパラメタセットとは、カメラで被写体のある点を撮影して画像を得た場合、当該ある点の 3 次元座標と、画像における当該点の像の 2 次元座標（画素座標とも呼ばれる）との関係を表す、カメラのモデルと当該モデルに応じた複数のパラメタである。このカメラパラメタセットを算出することをカメラ校正と呼ぶ。より詳細には、カメラパラメタセットは、外部パラメタセット及び内部パラメタセットの 2 つのカメラパラメタセットで構成される。外部パラメタセットは、カメラの撮影空間を基準として定められた 3 次元の世界座標系と、カメラを基準として定められた 3 次元のカメラ座標系との間での位置関係を表す。内部パラメタセットは、カメラ座標系における被写体の 3 次元座標と当該カメラで撮影した

10

20

30

40

50



画像上での当該被写体の位置との関係を表す。

【 0 0 1 6 】

[ 校正技術の従来例 ]

非特許文献 1 が開示するカメラ校正技術では、基準点の 3 次元座標及び当該基準点の画素座標の組が複数組用意されて、これらを入力要素とし、カメラパラメタを用いて 3 次元座標の基準点を画像上に投影した点と、当該基準点に対応する画素座標との距離（再投影誤差）の総和を最小化するカメラパラメタセットが算出される。

【 0 0 1 7 】

基準点の 3 次元座標及び当該基準点の画素座標の組を得るために、特定模様の校正指標が一般的に用いられる。校正指標の例を、図 1 に示す。図 1 の例では、格子状の模様が箱状の被写体の内側に一定間隔で配置されている。格子点、つまり、模様の角を基準点とし、基準点である格子点の 3 次元座標の設計値、又は、基準点の設置後に計測された基準点の 3 次元座標が保持される。さらに、基準点をカメラで撮影し、基準点である格子点の画素座標を画像処理で推定することで、基準点の 3 次元座標及び画素座標の組の情報が得られる。このような校正指標を用いる校正技術は、校正指標の利用が容易な、カメラ製造後の工場での校正などで有効である。また、3 次元座標の精度の高い校正指標の利用、又は、画素座標の推定精度の高い画像処理と特定模様の校正指標とを導入することで、高精度な校正ができる。しかしながら、校正指標を備える設備等が必要になる課題がある。特に、カメラの撮影範囲が広いほど、撮影範囲を覆うためにより大きな校正指標が必要になる。

【 0 0 1 8 】

また、カメラ校正は、製造時の校正のほかに、カメラを搭載する装置が稼動している状態で、経年変化、外力による変形又は温度変化等の影響によって、カメラパラメタセットが変わってしまった場合にも必要になる。自動車の安全運転支援システム及び監視カメラシステムなどにおいては、校正方法は、校正指標を備える設備等が不要であり、且つ、人手による操作が不要であることが望ましい。つまり、自己校正による校正方法が望ましい。ここで、カメラを備えるシステムがカメラパラメタセットを自動で更新することを自己校正と呼ぶ。

【 0 0 1 9 】

特許文献 2 には、車両に設置されたステレオカメラをシステムが自動で校正する自己校正技術が開示されている。特許文献 2 の技術では、格子等の特定模様の校正指標を用いる代わりに、カメラの視野内にある静止物が校正目標として記憶され、カメラ視野内での校正目標の位置が変わった場合に、校正目標の 3 次元座標の情報をを用いて、カメラの自己校正が行われる。

【 0 0 2 0 】

しかしながら、従来の校正技術では、校正目標の 3 次元座標は事前に得られており変化しないと仮定しているため、校正目標の 3 次元座標が経年変化、外力又は温度変化等の影響で変化した場合に、正しく校正できないという課題がある。そこで、本発明者らは、校正指標及び校正基準点の 3 次元座標が事前に与えられることなく、カメラの校正を可能にする技術を、下記のように創案した。

【 0 0 2 1 】

本開示の一態様に係るカメラパラメタセット算出装置は、複数のカメラで撮影された画像と前記複数のカメラのカメラパラメタセットとを用いて、カメラパラメタセットを算出する少なくとも 1 つの制御回路を備え、前記少なくとも 1 つの制御回路は、( a 1 ) 前記複数のカメラの第 1 カメラで撮影された第 1 画像と、前記複数のカメラの第 2 カメラで撮影された第 2 画像とを取得し、( a 2 ) 前記第 1 カメラの 1 つ以上のカメラパラメタを含む第 1 カメラパラメタセットと、前記第 2 カメラの 1 つ以上のカメラパラメタを含む第 2 カメラパラメタセットとを取得し、( a 3 ) 前記第 1 画像、前記第 2 画像、前記第 1 カメラパラメタセット及び前記第 2 カメラパラメタセットに基づいて、前記第 1 画像及び前記第 2 画像における被写体が部分的に重複して映し出される重複領域上の 3 次元座標を複数算出し、( a 4 ) 前記第 1 カメラパラメタセットに基づいて前記複数の 3 次元座標を前記第

10

20

30

40

50

1 画像に投影した複数の第 1 画素座標を決定し、前記第 2 カメラパラメタセットに基づいて前記複数の 3 次元座標を前記第 2 画像に投影した複数の第 2 画素座標を決定し、( a 5 ) 前記第 1 画像における前記複数の第 1 画素座標での複数の画素値と前記第 2 画像における前記複数の第 2 画素座標での複数の画素値とに基づいて評価値を算出し、( a 6 ) 前記評価値に基づいて、前記第 1 カメラパラメタセット及び前記第 2 カメラパラメタセットを更新し、( a 7 ) 更新された前記第 1 カメラパラメタセット及び前記第 2 カメラパラメタセットを出力する。

【 0 0 2 2 】

上記態様によれば、撮影画像に部分的な重複領域がある第 1 カメラ及び第 2 カメラについて、評価値に基づいたカメラパラメタセットの算出が可能である。よって、第 1 カメラ及び第 2 カメラが互いに離れていても、それぞれの向きが互いに異なっている、カメラパラメタセットの算出が可能である。なお、評価値の算出に用いられる画素座標に対応する重複領域は、第 1 画像及び第 2 画像から抽出され、座標等が既知である予め設定された基準ではない。このため、カメラパラメタセットの算出過程における 3 次元座標と画素座標との対応付けに、既知の基準点を含む校正指標を備える設備が不要である。言い換えると、本態様は、事前に得た基準点の 3 次元座標を用いないため、経年変化、外力、温度変化等の影響による基準点の変化とは無関係に、カメラを正しく自己校正できる。

【 0 0 2 3 】

なお、第 1 カメラパラメタセット及び第 2 カメラパラメタセットが正しい場合に、ある点の 3 次元座標に対応する第 1 画素座標での第 1 画像の画素値及び第 2 画素座標での第 2 画像の画素値は、互いに等しく、第 1 カメラパラメタセット又は第 2 カメラパラメタセットが正解値から離れるほど、つまり誤差を多く含むほど、第 1 画像の画素値と第 2 画像の画素値との間に差異が生じる。このため、第 1 カメラパラメタセット又は第 2 カメラパラメタセットが誤差を含む場合に、第 1 画像の画素値と第 2 画像の画素値との差異に基づいて、例えば、差異を最小にするように、第 1 カメラパラメタセット及び第 2 カメラパラメタセットを変更することで、正しいカメラパラメタセットを得ることができる。すなわち、第 1 及び第 2 カメラを校正することができる。

【 0 0 2 4 】

また、本開示の一態様に係るカメラパラメタセット算出装置において、前記第 1 画像及び前記第 2 画像は、( i ) 車両の前部に配置されたカメラで前記車両の前方を撮影した画像、及び前記車両の左部に配置されたカメラで前記車両の左方を撮影した画像の組み合わせ、( i i ) 車両の前部に配置されたカメラで前記車両の前方を撮影した画像、及び前記車両の右部に配置されたカメラで前記車両の右方を撮影した画像の組み合わせ、( i i i ) 車両の後部に配置されたカメラで前記車両の後方を撮影した画像、及び前記車両の左部に配置されたカメラで前記車両の左方を撮影した画像の組み合わせ、( i v ) 車両の後部に配置されたカメラで前記車両の後方を撮影した画像、及び前記車両の右部に配置されたカメラで前記車両の右方を撮影した画像の組み合わせ、のうちのいずれかの組み合わせであってもよい。

【 0 0 2 5 】

上記態様において、第 1 カメラ及び第 2 カメラは、異なる向きに指向されているが、撮影画像に部分的な重複領域があるように構成又は配置されることによって、カメラパラメタセットの算出を可能にする。

【 0 0 2 6 】

また、本開示の一態様に係るカメラパラメタセット算出装置において、前記少なくとも 1 つの制御回路は、処理( a 5 )では、前記第 1 画素座標における前記第 1 画像の画素値と前記第 2 画素座標における前記第 2 画像の画素値との差異に基づいて前記評価値を算出してもよい。

【 0 0 2 7 】

上記態様によれば、第 1 画素座標での第 1 画像の画素値と第 2 画素座標での第 2 画像の画素値との間に差異がある場合、第 1 カメラパラメタセット及び第 2 カメラパラメタセット

10

20

30

40

50

に、真値に対する誤差があると判定することが可能である。よって、第1カメラパラメタセット及び第2カメラパラメタセットの良否の判定が容易である。さらに、例えば、上記差異を小さくするように、第1カメラパラメタセット及び第2カメラパラメタセットを変更つまり更新することによって、第1カメラパラメタセット及び第2カメラパラメタセットを適切にすることが可能である。

【0028】

また、本開示の一態様に係るカメラパラメタセット算出装置において、前記少なくとも1つの制御回路は、前記複数のカメラの第3カメラで撮影された第3画像と、前記第3カメラの第3カメラパラメタセットとをさらに取得し、前記第1画像、前記第2画像及び前記第3画像から、2つの画像により構成される複数の組を決定し、前記複数の組それぞれに 10  
含まれる2つの画像に対して、処理(a3)～処理(a5)を順次行ってもよい。

【0029】

上記態様によれば、複数のカメラの画像を用いることによって、重複領域の面積の増大が見込める。よって、校正精度の向上が見込める。2つの画像を用いて評価値の算出まで完了することによって、他の画像の干渉を受けない評価値が算出される。これによって、2つの画像から得られる結果が、適正か否かを判別することができる。例えば、判別結果に基づき、カメラパラメタセットの変更方法を検討することができる。つまり、カメラの視野の部分的な領域での校正が可能になる。

【0030】

また、本開示の一態様に係るカメラパラメタセット算出装置において、前記少なくとも1つの制御回路は、前記複数のカメラの第3カメラで撮影された第3画像と、前記第3カメラの第3カメラパラメタセットとをさらに取得し、前記第1画像、前記第2画像及び前記第3画像から、2つの画像により構成される複数の組を決定し、前記複数の組それぞれに 20  
含まれる2つの画像に対して、処理(a3)～処理(a5)を行って得られる画素値を用いて、前記評価値を算出してもよい。

【0031】

上記態様によれば、複数のカメラの画像を用いることによって、重複領域の面積の増大が見込める。よって、校正精度の向上が見込める。複数の組それぞれで算出される画素値を、評価値の算出に適用することによって、1つのカメラについて複数の重複領域を用いた校正が可能になる。これにより、校正に利用できる画像の面積が増え、カメラの視野の広い 30  
領域にわたる全体的な校正が可能になる。また、複数の組それぞれで算出される画素値を、評価値の算出に適用することによって、第1カメラ、第2カメラ及び第3カメラの全体的な校正が可能になる。

【0032】

また、本開示の一態様に係るカメラパラメタセット算出装置において、前記第1画像及び前記第2画像は、被写体の一部が重複して映る第1重複領域を含み、前記第2画像及び前記第3画像は、被写体の一部が重複して映る第2重複領域を含み、前記第1重複領域と前記第2重複領域とは、重複しなくてもよい。

【0033】

上記態様によれば、重複領域において、3つ以上の画像が重複しない。これにより、重複領域の面積の増大が可能である。よって、画像における校正対象の領域の増大が可能になり、画像の広い領域に対する校正が可能になる。従って、校正精度が向上する。 40

【0034】

また、本開示の一態様に係るカメラパラメタセット算出装置において、前記第1画像及び前記第2画像はそれぞれ、光軸中心での光軸の方向が互いに交差する方向であるように配置された前記第1カメラ及び前記第2カメラで撮影された画像であってもよい。

【0035】

本開示の一態様に係るカメラパラメタセット算出方法は、(a1)複数のカメラの第1カメラで撮影された第1画像と、前記複数のカメラの第2カメラで撮影された第2画像とを取得し、(a2)前記第1カメラの1つ以上のカメラパラメタを含む第1カメラパラメタ 50

セットと、前記第 2 カメラの 1 つ以上のカメラパラメタを含む第 2 カメラパラメタセットとを取得し、( a 3 ) 前記第 1 画像、前記第 2 画像、前記第 1 カメラパラメタセット及び前記第 2 カメラパラメタセットに基づいて、前記第 1 画像及び前記第 2 画像における被写体が部分的に重複して映し出される重複領域上の 3 次元座標を複数算出し、( a 4 ) 前記第 1 カメラパラメタセットに基づいて前記複数の 3 次元座標を前記第 1 画像に投影した複数の第 1 画素座標を決定し、前記第 2 カメラパラメタセットに基づいて前記複数の 3 次元座標を前記第 2 画像に投影した複数の第 2 画素座標を決定し、( a 5 ) 前記第 1 画像における前記複数の第 1 画素座標での複数の画素値と前記第 2 画像における前記複数の第 2 画素座標での複数の画素値とに基づいて評価値を算出し、( a 6 ) 前記評価値に基づいて、前記第 1 カメラパラメタセット及び前記第 2 カメラパラメタセットを更新し、( a 7 ) 更新された前記第 1 カメラパラメタセット及び前記第 2 カメラパラメタセットを出力し、処理 ( a 1 ) ~ 処理 ( a 7 ) の少なくとも 1 つがプロセッサによって実行される。上記態様によれば、本開示の一態様に係るカメラパラメタセット算出装置と同様の効果が得られる。

10

#### 【 0 0 3 6 】

また、本開示の一態様に係るカメラパラメタセット算出方法において、前記第 1 画像及び前記第 2 画像は、( i ) 車両の前部に配置されたカメラで前記車両の前方を撮影した画像、及び前記車両の左部に配置されたカメラで前記車両の左方を撮影した画像の組み合わせ、( i i ) 車両の前部に配置されたカメラで前記車両の前方を撮影した画像、及び前記車両の右部に配置されたカメラで前記車両の右方を撮影した画像の組み合わせ、( i i i ) 車両の後部に配置されたカメラで前記車両の後方を撮影した画像、及び前記車両の左部に配置されたカメラで前記車両の左方を撮影した画像の組み合わせ、( i v ) 車両の後部に配置されたカメラで前記車両の後方を撮影した画像、及び前記車両の右部に配置されたカメラで前記車両の右方を撮影した画像の組み合わせ、のうちのいずれかの組み合わせであってもよい。

20

#### 【 0 0 3 7 】

また、本開示の一態様に係るカメラパラメタセット算出方法において、処理 ( a 5 ) では、前記第 1 画素座標における前記第 1 画像の画素値と前記第 2 画素座標における前記第 2 画像の画素値との差異に基づいて前記評価値を算出してもよい。

#### 【 0 0 3 8 】

また、本開示の一態様に係るカメラパラメタセット算出方法において、前記複数のカメラの第 3 カメラで撮影された第 3 画像と、前記第 3 カメラの第 3 カメラパラメタセットとをさらに取得し、前記第 1 画像、前記第 2 画像及び前記第 3 画像から、2 つの画像により構成される複数の組を決定し、前記複数の組それぞれに含まれる 2 つの画像に対して、処理 ( a 3 ) ~ 処理 ( a 5 ) を順次行ってもよい。

30

#### 【 0 0 3 9 】

また、本開示の一態様に係るカメラパラメタセット算出方法において、前記複数のカメラの第 3 カメラで撮影された第 3 画像と、前記第 3 カメラの第 3 カメラパラメタセットとをさらに取得し、前記第 1 画像、前記第 2 画像及び前記第 3 画像から、2 つの画像により構成される複数の組を決定し、前記複数の組それぞれに含まれる 2 つの画像に対して、処理 ( a 3 ) ~ 処理 ( a 5 ) を行って得られる画素値を用いて、前記評価値を算出してもよい。

40

#### 【 0 0 4 0 】

また、本開示の一態様に係るカメラパラメタセット算出方法において、前記第 1 画像及び前記第 2 画像は、被写体の一部が重複して映る第 1 重複領域を含み、前記第 2 画像及び前記第 3 画像は、被写体の一部が重複して映る第 2 重複領域を含み、前記第 1 重複領域と前記第 2 重複領域とは、重複しなくてもよい。

#### 【 0 0 4 1 】

また、本開示の一態様に係るカメラパラメタセット算出方法において、前記第 1 画像及び前記第 2 画像はそれぞれ、光軸中心での光軸の方向が互いに交差する方向であるように配置された前記第 1 カメラ及び前記第 2 カメラで撮影された画像であってもよい。

#### 【 0 0 4 2 】

50

本開示の一態様に係るプログラムは、コンピュータに実行させるプログラムであって、（ a 1 ）複数のカメラの第 1 カメラで撮影された第 1 画像と、前記複数のカメラの第 2 カメラで撮影された第 2 画像とを取得し、（ a 2 ）前記第 1 カメラの 1 つ以上のカメラパラメータを含む第 1 カメラパラメータセットと、前記第 2 カメラの 1 つ以上のカメラパラメータを含む第 2 カメラパラメータセットとを取得し、（ a 3 ）前記第 1 画像、前記第 2 画像、前記第 1 カメラパラメータセット及び前記第 2 カメラパラメータセットに基づいて、前記第 1 画像及び前記第 2 画像における被写体が部分的に重複して映し出される重複領域上の 3 次元座標を複数算出し、（ a 4 ）前記第 1 カメラパラメータセットに基づいて前記複数の 3 次元座標を前記第 1 画像に投影した複数の第 1 画素座標を決定し、前記第 2 カメラパラメータセットに基づいて前記複数の 3 次元座標を前記第 2 画像に投影した複数の第 2 画素座標を決定し、（ a 5 ）前記第 1 画像における前記複数の第 1 画素座標での複数の画素値と前記第 2 画像における前記複数の第 2 画素座標での複数の画素値とに基づいて評価値を算出し、（ a 6 ）前記評価値に基づいて、前記第 1 カメラパラメータセット及び前記第 2 カメラパラメータセットを更新し、（ a 7 ）更新された前記第 1 カメラパラメータセット及び前記第 2 カメラパラメータセットを出力することを前記コンピュータに実行させる。上記態様によれば、本開示の一態様に係るカメラパラメータセット算出装置と同様の効果が得られる。

10

#### 【 0 0 4 3 】

また、本開示の一態様に係るプログラムにおいて、前記第 1 画像及び前記第 2 画像は、（ i ）車両の前部に配置されたカメラで前記車両の前方を撮影した画像、及び前記車両の左部に配置されたカメラで前記車両の左方を撮影した画像の組み合わせ、（ i i ）車両の前部に配置されたカメラで前記車両の前方を撮影した画像、及び前記車両の右部に配置されたカメラで前記車両の右方を撮影した画像の組み合わせ、（ i i i ）車両の後部に配置されたカメラで前記車両の後方を撮影した画像、及び前記車両の左部に配置されたカメラで前記車両の左方を撮影した画像の組み合わせ、（ i v ）車両の後部に配置されたカメラで前記車両の後方を撮影した画像、及び前記車両の右部に配置されたカメラで前記車両の右方を撮影した画像の組み合わせ、のうちのいずれかの組み合わせであってもよい。

20

#### 【 0 0 4 4 】

また、本開示の一態様に係るプログラムにおいて、処理（ a 5 ）では、前記第 1 画素座標における前記第 1 画像の画素値と前記第 2 画素座標における前記第 2 画像の画素値との差異に基づいて前記評価値を算出してもよい。

30

#### 【 0 0 4 5 】

また、本開示の一態様に係るプログラムにおいて、前記複数のカメラの第 3 カメラで撮影された第 3 画像と、前記第 3 カメラの第 3 カメラパラメータセットとをさらに取得し、前記第 1 画像、前記第 2 画像及び前記第 3 画像から、2 つの画像により構成される複数の組を決定し、前記複数の組それぞれに含まれる 2 つの画像に対して、処理（ a 3 ）～処理（ a 5 ）を順次行ってもよい。

#### 【 0 0 4 6 】

また、本開示の一態様に係るプログラムにおいて、前記複数のカメラの第 3 カメラで撮影された第 3 画像と、前記第 3 カメラの第 3 カメラパラメータセットとをさらに取得し、前記第 1 画像、前記第 2 画像及び前記第 3 画像から、2 つの画像により構成される複数の組を決定し、前記複数の組それぞれに含まれる 2 つの画像に対して、処理（ a 3 ）～処理（ a 5 ）を行って得られる画素値を用いて、前記評価値を算出してもよい。

40

#### 【 0 0 4 7 】

また、本開示の一態様に係るプログラムにおいて、前記第 1 画像及び前記第 2 画像は、被写体の一部が重複して映る第 1 重複領域を含み、前記第 2 画像及び前記第 3 画像は、被写体の一部が重複して映る第 2 重複領域を含み、前記第 1 重複領域と前記第 2 重複領域とは、重複しなくてもよい。

#### 【 0 0 4 8 】

また、本開示の一態様に係るプログラムにおいて、前記第 1 画像及び前記第 2 画像はそれぞれ、光軸中心での光軸の方向が互いに交差する方向であるように配置された前記第 1 カ

50

メラ及前記第２カメラで撮影された画像であってもよい。

【００４９】

なお、上記の全般的又は具体的な態様は、システム、装置、方法、集積回路、コンピュータプログラム又はコンピュータ読み取り可能な記録ディスク等の記録媒体で実現されてもよく、システム、装置、方法、集積回路、コンピュータプログラム及び記録媒体の任意な組み合わせで実現されてもよい。コンピュータ読み取り可能な記録媒体は、例えばＣＤ－ＲＯＭ等の不揮発性の記録媒体を含む。

【００５０】

以下、実施の形態に係るカメラパラメタセット算出装置等を、図面を参照しながら説明する。なお、以下で説明される実施の形態は、包括的又は具体的な例を示すものである。以下の実施の形態で示される数値、形状、材料、構成要素、構成要素の配置位置及び接続形態、ステップ（工程）、並びにステップの順序等は、一例であり、本開示を限定する主旨ではない。また、以下の実施の形態における構成要素のうち、最上位概念を示す独立請求項に記載されていない構成要素については、任意の構成要素として説明される。また、以下の実施の形態の説明において、略平行、略直交のような「略」を伴った表現が、用いられる場合がある。例えば、略平行とは、完全に平行であることを意味するだけでなく、実質的に平行である、すなわち、例えば数％程度の差異を含むことも意味する。他の「略」を伴った表現についても同様である。

【００５１】

[ 実施の形態 ]

[ １．車載カメラシステムの構成 ]

本開示の実施の形態に係るカメラパラメタセット算出装置１１１を備える車載カメラシステム１０を説明する。これに限定するものではないが、本実施の形態では、車載カメラシステム１０は、移動体の一例である車両に搭載されるカメラシステムであるとして、説明する。図２を参照すると、実施の形態に係るカメラパラメタセット算出装置１１１を備える車載カメラシステム１０の機能的な構成を示すブロック図が示されている。図２に示されるように、車載カメラシステム１０は、撮像部１００と、画像処理部１１０と、ディスプレイ１２０とを備える。なお、車載カメラシステム１０が搭載される対象は、車両、つまり乗り物であってもよい。例えば、上記対象は、自動車、及び、自動車以外の車両であってもよく、船舶又は航空機であってもよい。自動車以外の車両は、トラック、バス、二輪車、搬送車、鉄道、建設機械、荷役機械等であってもよい。また、車載カメラシステム１０が搭載される対象は、利用者が遠隔操作する車両またはロボットであってもよい。

【００５２】

撮像部１００は、画像を撮影して取得し、画像処理部１１０に出力する。撮像部１００は、２つ以上のカメラ１０１を備え、本実施の形態では、４つのカメラ１０１ａ、１０１ｂ、１０１ｃ及び１０１ｄを備える。例えば、図３には、実施の形態に係る車載カメラシステム１０の車両ｖへの搭載例が示されている。これに限定するものではないが、本実施の形態では、４つのカメラ１０１ａ～１０１ｄはそれぞれ、１つの車両ｖの前部ｖａ、右側部ｖｂ、後部ｖｃ及び左側部ｖｄに配置され、当該車両ｖの前方、右側方、後方及び左側方を撮影する。なお、車両ｖの右側とは、前方に対する右側である。よって、４つのカメラ１０１ａ～１０１ｄは、車両ｖの周囲を包囲するように配置されている。これに限定されるものではないが、本実施の形態では、４つのカメラ１０１ａ～１０１ｄは、互いに同期して、画像を撮影して出力する。また、画像処理部１１０及びディスプレイ１２０はそれぞれ、例えばドライバから見える車室内に設置される。

【００５３】

４つのカメラ１０１ａ～１０１ｄは、互いに異なる向きに指向されている。本実施の形態では、車両ｖの水平方向の周囲に沿って隣り合うカメラ１０１ａ～１０１ｄは、互いの光軸中心での光軸の方向が交差するような向きに向けられている。具体的には、カメラ１０１ａ～１０１ｄは、外方へ放射状に方向付けられている。広範囲を撮影するために、４つのカメラ１０１ａ～１０１ｄの各々は、視野角が概ね１８０度の魚眼レンズを用いる。カ

10

20

30

40

50

メラ 101a ~ 101d はそれぞれ、図 3 に破線で示されるように、半球に近い円錐状の視野を有している。このため、車両 v の水平方向の周囲に沿って隣り合うカメラの視野は、互いに部分的に重なり合う領域を有している。なお、本実施の形態では、2 つのカメラの視野が重なり合うが、3 つ以上のカメラの視野が重なり合わない。しかしながら、これに限定されず、3 つ以上のカメラの視野が重なり合ってもよい。そして、このような 4 つのカメラ 101a ~ 101d は、車両 v の水平方向の全周囲を同時に視野に含むことができる。

#### 【0054】

本実施の形態では、車載カメラシステム 10 の撮像部 100 は、4 つのカメラで構成されたとしたが、カメラの数量は 4 つに限定されるものではなく、2 つ以上のカメラを有する構成であればよい。撮像部 100 は、例えば、図 3 のように前後左右に配置された 4 つのカメラを備える代わりに、車両 v の後部及び左側部に配置された 2 つのカメラを備えてもよい。

10

#### 【0055】

図 2 及び図 3 を参照すると、画像処理部 110 は、撮像部 100 によって撮影された画像を処理し、その処理結果をディスプレイ 120 等に出力する。画像処理部 110 は、カメラパラメタセット算出装置 111 と、カメラパラメタ記憶部 112 と、画像生成部 113 とを備える。カメラパラメタセット算出装置 111 のことを、自己校正部とも呼ぶ。また、ディスプレイ 120 は、画像処理部 110 から出力された画像等を表示する。ディスプレイ 120 は、液晶パネル、有機又は無機 EL (Electro Luminescence) 等の表示パネルによって構成されてよい。なお、同様の構成要素を区別するために添え字 a ~ d を用いるが、以下では、これらの構成要素を特に区別しない場合には、添え字を除いた符号のみを用いることがある。

20

#### 【0056】

車載カメラシステム 10 は、主に画像生成と、自己校正との 2 種類の動作をする。画像生成時、撮像部 100 は画像を撮影して画像処理部 110 に出力し、画像処理部 110 は、入力された画像から画像を生成して出力し、ディスプレイ 120 に表示する。自己校正時、撮像部 100 は画像を撮影して画像処理部 110 に出力し、画像処理部 110 のカメラパラメタセット算出装置 111 は、カメラパラメタ記憶部 112 に格納されているカメラパラメタセットを更新する。なお、画像生成と自己校正との 2 種類の動作は、同時に行われてもよく、別々に行われてもよい。

30

#### 【0057】

撮像部 100 は、視野角が概ね 180 度の魚眼レンズを有する 4 つのカメラ 101a ~ 101d で構成される。4 つのカメラ 101a ~ 101d は、図 3 に示すように配置され、視野内の被写体をそれぞれ撮影して 4 つの画像を出力する（以降、この画像をカメラ画像とも呼ぶ）。4 つのカメラ 101a ~ 101d は、隣り合うカメラ間で視野が部分的に重なるように配置されている。例えば、4 つのカメラ 101a ~ 101d では、水平方向で隣り合うカメラ間で互いの視野が部分的に重なる。具体的には、カメラ 101a 及び 101b のペア、カメラ 101b 及び 101c のペア、カメラ 101c 及び 101d のペア、並びに、カメラ 101d 及び 101a のペア内で視野が重なる。

40

#### 【0058】

上述したように、画像処理部 110 は、カメラパラメタセット算出装置 111、カメラパラメタ記憶部 112 及び画像生成部 113 を備える。

#### 【0059】

カメラパラメタ記憶部 112 は、カメラ 101a ~ 101d それぞれのカメラパラメタセットと、カメラ 101a ~ 101d それぞれについてカメラ画像における撮像部 100 によって遮蔽された領域の情報である遮蔽情報とを少なくとも予め格納している。カメラ 101a ~ 101d それぞれについての遮蔽情報は、カメラ画像に含まれる領域であって、撮像部 100 の部分が撮影された領域であると定義してもよい。カメラ 101a ~ 101d それぞれのカメラパラメタセットは、各カメラの位置及び向き等の外部パラメタセット

50

と、各カメラのレンズの歪及び焦点距離等の内部パラメタセットとを含み得る。

【 0 0 6 0 】

自己校正部でもあるカメラパラメタセット算出装置 1 1 1 は、4つのカメラ 1 0 1 a ~ 1 0 1 d によって撮影されたカメラ画像と、カメラパラメタ記憶部 1 1 2 に記憶されたカメラ 1 0 1 a ~ 1 0 1 d のカメラパラメタセットとを用いて、カメラパラメタ記憶部 1 1 2 のカメラパラメタセットを更新する。カメラパラメタ記憶部 1 1 2 に記憶されたカメラ 1 0 1 a ~ 1 0 1 d のカメラパラメタセットは、初期カメラパラメタセットとして用いられる。初期カメラパラメタセットは、カメラパラメタ記憶部 1 1 2 に既に記憶されているカメラ 1 0 1 a ~ 1 0 1 d のカメラパラメタセットであってよい。例えば、初期カメラパラメタセットは、カメラ 1 0 1 a ~ 1 0 1 d の設計時のカメラパラメタセットであっててもよく、使用段階においてカメラ 1 0 1 a ~ 1 0 1 d に設定されているカメラパラメタセットであっててもよい。

10

【 0 0 6 1 】

画像生成部 1 1 3 は、4つのカメラ 1 0 1 a ~ 1 0 1 d で撮影されたカメラ画像と、カメラパラメタ記憶部 1 1 2 に格納されたカメラパラメタセットとに基づいて、画像を生成して出力する。画像生成部 1 1 3 は、例えば、4台のカメラで撮影された画像に基づく合成画像を生成する。

【 0 0 6 2 】

図 2 の車載カメラシステム 1 0 のうちの画像処理部 1 1 0 を構成する各構成要素は、電子回路又は集積回路等のハードウェアで実現されてもよく、コンピュータ上で実行されるプログラム等のソフトウェアで実現されてもよい。

20

【 0 0 6 3 】

例えば、図 4 を参照すると、コンピュータによって構成された車載カメラシステム 1 0 のハードウェア構成の一例が示されている。車載カメラシステム 1 0 は、撮像部 1 0 0 と、画像処理部 1 1 0 に対応するコンピュータ 3 0 0 と、ディスプレイ 1 2 0 とを備える。車載カメラシステム 1 0 において、撮像部 1 0 0 は画像を撮影して出力し、コンピュータ 3 0 0 が画像処理部 1 1 0 として動作することにより、画像を生成して出力する。ディスプレイ 1 2 0 はコンピュータ 3 0 0 で生成された画像を表示する。

【 0 0 6 4 】

コンピュータ 3 0 0 は、CPU (Central Processing Unit) 3 0 1、ROM (Read Only Memory) 3 0 2、RAM (Random Access Memory) 3 0 3、HDD (Hard Disk Drive) 3 0 4、ビデオ入力 I / F (インタフェース) 3 0 5 及びビデオカード 3 0 6 を含む。

30

【 0 0 6 5 】

コンピュータ 3 0 0 を動作させるプログラムは、ROM 3 0 2 又は HDD 3 0 4 に予め保持されている。プログラムは、プロセッサである CPU 3 0 1 によって、ROM 3 0 2 又は HDD 3 0 4 から RAM 3 0 3 に読み出されて展開される。

【 0 0 6 6 】

CPU 3 0 1 は、RAM 3 0 3 に展開されたプログラム中のコード化された各命令を実行する。ビデオ入力 I / F 3 0 5 は、プログラムの実行に応じて、撮像部 1 0 0 で撮影された画像を、RAM 3 0 3 へ取り込む。ビデオカード 3 0 6 は、プログラムの実行に応じて生成された画像を処理してディスプレイ 1 2 0 に出力し、ディスプレイ 1 2 0 がその画像を表示する。

40

【 0 0 6 7 】

なお、コンピュータプログラムは、半導体装置である ROM 3 0 2 又は HDD 3 0 4 に限られず、例えば CD ROM 等の記録媒体に格納されていてもよい。また、コンピュータプログラムは、有線ネットワーク、無線ネットワーク又は放送等を介して伝送され、コンピュータ 3 0 0 の RAM 3 0 3 に取り込まれてもよい。

【 0 0 6 8 】

[ 2 . 車載カメラシステムの動作 ]

50



車載カメラシステム 10 の動作を説明する。具体的には、車載カメラシステム 10 における、画像生成時の動作と、自己校正時の動作とを、順に説明する。

【0069】

[ 2 - 1 . 画像生成時の動作 ]

車載カメラシステム 10 における画像生成時の動作を、図 5 を用いて説明する。なお、図 5 は、車載カメラシステム 10 の画像処理部 110 における、画像生成時の動作の一例を表すフローチャートである。図 5 に示されるように、画像生成時の動作は、カメラパラメタセット読み出しのステップ S 401 の処理と、画像生成のステップ S 402 の処理とを含む。図 5 に示される各動作は、図 4 のコンピュータ 300 で実行されてもよい。

【0070】

これに限定するものではないが、本実施の形態では、車載カメラシステム 10 が自動車に設置される例を説明する。具体的には、車載カメラシステム 10 は、自動車の前後左右を撮影して得られたカメラ画像を用いて、自動車の全周囲の画像を生成し、その結果を自動車内に設置されたディスプレイに表示し、それにより、利用者であるドライバに車両周辺の状況を提示する。

【0071】

図 6 を参照すると、図 3 に示すカメラの設置状況において、4 つのカメラ 101 a ~ 101 d で撮影される画像の例が示されている。カメラ 101 a ~ 101 d それぞれの視野角は概ね 180 度である。隣り合う 2 つのカメラのカメラ画像中に、共通の被写体が映っている。

【0072】

コンピュータ 300 は、撮像部 100 の動作と並行して、予め定められたプログラムを実行することで、図 5 のステップ S 401 及び S 402 の処理を行う。以降、コンピュータ 300 で実行されるステップ S 401 及び S 402 の詳細な処理を、図 2 及び図 5 を用いて説明する。

【0073】

ステップ S 401 では、画像生成部 113 は、カメラパラメタ記憶部 112 から、カメラパラメタ記憶部 112 に予め格納されているカメラ 101 a ~ 101 d の内部パラメタセット及び外部パラメタセットを含むカメラパラメタセットを読み出す。カメラの外部パラメタセット M と 3 次元座標との関係、及び、カメラの内部パラメタセット (  $f$  ,  $d p x$  ,  $d p y$  ,  $c u$  ,  $c v$  ) と 3 次元座標と画素座標との関係を下記の式 1 ~ 式 3 に示す。

【0074】

【数 1】

$$\begin{pmatrix} x_e \\ y_e \\ z_e \\ 1 \end{pmatrix} = M \begin{pmatrix} x_w \\ y_w \\ z_w \\ 1 \end{pmatrix}, \quad M = \begin{pmatrix} r_{00} & r_{01} & r_{02} & t_x \\ r_{10} & r_{11} & r_{12} & t_y \\ r_{20} & r_{21} & r_{22} & t_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (\text{式1})$$

【0075】

【数 2】

10

20

30

40

50

$$\begin{pmatrix} r_{00} & r_{01} & r_{02} \\ r_{10} & r_{11} & r_{12} \\ r_{20} & r_{21} & r_{22} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos Rz & -\sin Rz & 0 \\ \sin Rz & \cos Rz & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos Ry & 0 & \sin Ry \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin Ry & 0 & \cos Ry \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos Rx & -\sin Rx \\ 0 & \sin Rx & \cos Rx \end{pmatrix} \\
 = \begin{pmatrix} \cos Ry \cos Rz & -\cos Rx \sin Rz + \sin Rx \sin Ry \cos Rz & \sin Rx \sin Rz + \cos Rx \sin Ry \cos Rz \\ \cos Ry \sin Rz & \cos Rx \cos Rz + \sin Rx \sin Ry \sin Rz & -\sin Rx \cos Rz + \cos Rx \sin Ry \sin Rz \\ -\sin Ry & \sin Rx \cos Ry & \cos Rx \cos Ry \end{pmatrix} \quad (式2)$$

10

【 0 0 7 6 】

【数 3】

$$\left. \begin{aligned} u &= \frac{1}{dpx} f \frac{x_e}{z_e} + cu \\ v &= \frac{1}{dpy} f \frac{y_e}{z_e} + cv \end{aligned} \right\} \quad (式3)$$

【 0 0 7 7 】

20

ここで、上記の式 1 における外部パラメタセット M は、世界座標系とカメラ座標系との位置関係を表す外部パラメタセットであり、世界座標系の 3 次元座標 (  $x_w, y_w, z_w$  ) を、カメラ座標系の 3 次元座標 (  $x_e, y_e, z_e$  ) に変換する  $4 \times 4$  の行列で表す。上記の式 1 及び式 2 に示すように、外部パラメタセット M は、世界座標系の X、Y 及び Z の各軸周りの回転角 (  $R_x, R_y, R_z$  ) と、X、Y 及び Z の各軸方向の平行移動量 (  $t_x, t_y, t_z$  ) とを表す。上記の式 3 は、被写体上のある点のカメラ座標系における 3 次元座標 (  $x_e, y_e, z_e$  ) と、カメラ画像に映った同じ点の画素座標 (  $u, v$  ) との関係を表している。内部パラメタセットの  $f$  はカメラの焦点距離であり、 $dpx$  及び  $dpy$  はそれぞれ、カメラの撮像素子の  $x$  方向及び  $y$  方向の画素サイズであり、(  $cu, cv$  ) はカメラ座標系の  $z_e$  軸とカメラの撮像面との交点の画素座標である。なお、デジタル画像を「2次元の格子点(すなわち、画素座標)における値(すなわち画素値)」の集合と考えた場合に、画像上の画素の位置を2次元の画素座標で表現する。

30

【 0 0 7 8 】

外部パラメタセット M 及び内部パラメタセット (  $f, dpx, dpy, cu, cv$  ) は、前述した従来技術のカメラ校正方法で予め求めておく。なお、 $dpx$ 、 $dpy$  及び  $f$  の算出には、上記の式 1 ~ 式 3 だけでは拘束条件が足りない。そこで、 $dpx$ 、 $dpy$  及び  $f$  のいずれか 1 つは設計値が用いられ、残りの 2 つのパラメタが従来技術のカメラ校正方法で算出されてもよい。

【 0 0 7 9 】

なお、上記の式 3 では、レンズの投影モデルとして透視投影モデル(ピンホールカメラモデルとも呼ばれる)を用いたが、これは投影モデルを限定するものではなく、等距離射影モデル、立体射影モデル及び等立体角射影モデル等の他の投影モデルを用いてもよい。例えば、等距離射影モデルの場合、上記の式 3 の内部パラメタセットの代わりに、下記の式 4 に示される内部パラメタセットを用いる。

40

【 0 0 8 0 】

【数 4】

50

$$\left. \begin{aligned} u &= \frac{1}{dpx} \frac{x_e}{\sqrt{x_e^2 + y_e^2}} f\theta + cu \\ v &= \frac{1}{dpy} \frac{y_e}{\sqrt{x_e^2 + y_e^2}} f\theta + cv \\ \theta &= \tan^{-1} \left( \frac{\sqrt{x_e^2 + y_e^2}}{z_e} \right) \end{aligned} \right\} \quad (式4)$$

10

## 【 0 0 8 1 】

以降、説明を簡単にするため、2つのカメラをカメラ i 及び j と記載する場合がある。この場合、カメラ i 及び j の位置関係を表す外部パラメタセット  $M_i$  及び  $M_j$  を、下記の式 5 のように示すことができる。

## 【 0 0 8 2 】

## 【 数 5 】

$$\begin{pmatrix} x_j \\ y_j \\ z_j \\ 1 \end{pmatrix} = M_j M_i^{-1} \begin{pmatrix} x_i \\ y_i \\ z_i \\ 1 \end{pmatrix} = M_{i,j} \begin{pmatrix} x_i \\ y_i \\ z_i \\ 1 \end{pmatrix} \quad (式5)$$

20

## 【 0 0 8 3 】

また、例えば、カメラ 1 0 1 a の内部パラメタセット及び外部パラメタセットをまとめたカメラパラメタセットを、下記の式 6 に示すような  $C_a$  で表す。他のカメラ 1 0 1 b ~ 1 0 1 d それぞれについても、内部パラメタセット及び外部パラメタセットをまとめたカメラパラメタセットを、 $C_b$ 、 $C_c$  及び  $C_d$  で同様に表すことができる。

30

## 【 0 0 8 4 】

## 【 数 6 】

$$C_a = (f_a, dpx_a, dpy_a, cu_a, cv_a, M_a) \quad (式6)$$

## 【 0 0 8 5 】

ステップ S 4 0 2 では、画像生成部 1 1 3 は、4つのカメラ 1 0 1 a ~ 1 0 1 d それぞれで撮影されたカメラ画像  $I_a \sim I_d$  と、カメラ 1 0 1 a ~ 1 0 1 d それぞれのカメラパラメタセット  $C_a \sim C_d$  とを取得する。さらに、画像生成部 1 1 3 は、カメラ画像  $I_a \sim I_d$  を、予め定めた空間モデルにマッピングする。本実施の形態では、予め定めた空間モデルとして、 $z_w = 0$  の平面モデルを用いるものとする。さらに、画像生成部 1 1 3 は、予め定めた仮想カメラのカメラパラメタセット  $C_o$  を用いて、カメラ画像が投影された空間モデルを、仮想カメラから見た画像として生成する。本実施の形態では、予め定めた仮想カメラのカメラパラメタセットとして、図 7 に示すような車両の上方から車両の周辺を見下ろす配置の仮想カメラを適用する。なお、図 7 は、実施の形態における仮想カメラの配置例を示す模式的な図である。複数のカメラで撮影したカメラ画像から、空間モデルを用いて画像を生成する手法は、特許文献 1 等に詳しく記載されており、既知の技術であるため、本明細書ではこれ以上の詳細な説明を省略する。

40

## 【 0 0 8 6 】

50

以上のように、コンピュータ 300 で実行されるステップ S401 及び S402 の画像生成時の処理によって、画像処理部 110 は、撮像部 100 で撮像された 4 つのカメラ画像から、画像を生成して出力する。さらに、撮像部 100 及びコンピュータ 300 は、上記の処理を繰り返してもよい。

#### 【0087】

図 8 には、ステップ S402 の処理によって生成される画像の例が、示されている。図 8 を参照すると、自車両の周りの障害物、例えば、図 8 の例では、左方のトラック、右方のオートバイ及び後方の建物の方向及び距離を、運転者が容易に認知できる。

#### 【0088】

以上のように、車載カメラシステム 10 の撮像部 100、及び、コンピュータ 300 で実現される画像処理部 110 は、これらによる動作の結果、車体において異なる位置に配置された 4 つのカメラで撮影されたカメラ画像を用いて、仮想カメラから見た車体全周囲の画像を生成して表示することができる。その結果、車載カメラシステム 10 を搭載した自動車の運転者は、自動車の周囲の障害物等の 3 次元物体を容易に把握することができる。

#### 【0089】

##### [ 2 - 2 . 自己校正動作 ]

上述した車載カメラシステム 10 は、予め記録しておいたカメラパラメタセットを用いて画像を生成している。一方、カメラを製造した場合及び車両にカメラを設置した場合に、カメラパラメタセットは、組立て誤差に起因する差を設計値に対して有するため、カメラパラメタセットの推定、すなわち、カメラ校正が必要になる。また、組立て時にカメラ校正をした場合であっても、カメラの取り付け位置が、経年変化、外力又は温度変化等の影響を受けた場合に、変形等を生じて変わる場合がある。例えば、経年変化によって、カメラの取り付け位置が変化した場合に、経年変化前のカメラパラメタセットを用いて画像を生成すると、例えば、生成画像中の被写体の位置がずれるなど、生成画像が正しく生成されない。そのため、経年変化等でカメラパラメタが変化する場合にも、カメラの校正が必要になる。

#### 【0090】

以下、車載カメラシステム 10 における自己校正時の動作について、図 9 及び図 10 を用いて説明する。なお、図 9 は、図 2 の車載カメラシステム 10 のカメラパラメタセット算出装置 111 の詳細な構成を示した機能的な構成図である。図 10 は、実施の形態に係る車載カメラシステム 10 の画像処理部 110 における自己校正処理 S111 の流れの一例を表すフローチャートである。自己校正処理 S111 は、自己校正動作の際の画像処理部 110 の処理であり、図 4 のコンピュータ 300 で実行される。

#### 【0091】

図 9 に示すように、自己校正処理 S111 を行う画像処理部 110 のカメラパラメタセット算出装置 111 は、取得部 901 と、3 次元点群算出部 902 と、評価値算出部 903 と、カメラパラメタ決定部 904 と、カメラパラメタ出力部 905 とを含む。取得部 901 と、3 次元点群算出部 902 と、評価値算出部 903 と、カメラパラメタ決定部 904 と、カメラパラメタ出力部 905 とによる各構成要素は、画像処理部 110 の各構成要素と同様の構成を有してもよい。

#### 【0092】

取得部 901 は、カメラ 101a ~ 101d それぞれによって撮影されたカメラ画像 Ia ~ Id を、撮像部 100 から取得する。取得部 901 は、撮像部 100 又は画像処理部 110 等が有する図示しない半導体メモリ等の記憶装置に格納されたカメラ画像 Ia ~ Id を取得してもよい。また、取得部 901 は、カメラ 101a ~ 101d に現在設定されているカメラパラメタで構成される初期カメラパラメタセットを、カメラパラメタ記憶部 112 から取得する。

#### 【0093】

3 次元点群算出部 902 は、2 つのカメラから取得した 2 つのカメラ画像間の対応点の組、すなわち、2 つのカメラ画像のそれぞれに含まれる点であってかつ互いに対応する点の

10

20

30

40

50

組を推定して抽出し、当該2つのカメラ画像それぞれにおける対応点の画素座標を算出する。2つのカメラ画像に同一の被写体が映っている場合、すなわち、一方のカメラ画像の被写体上の点が他方のカメラ画像にも映っている場合、これら2つの点のそれぞれを対応点と呼び、この2つの点の組を対応点の組と呼ぶ。対応点の組を推定するとは、具体的には、対応点の組のそれぞれの対応点の画素座標を算出することである。

【0094】

さらに、3次元点群算出部902は、対応点の組に含まれる対応点の画素座標及び2つのカメラの初期カメラパラメタセットに基づき、ステレオ測距技術を用いて、対応点の組に対する被写体上の点の3次元座標を算出する。なお、ステレオ測距技術は、ステレオ視とも呼ばれ、互いに異なる視点に位置し且つ視野が重複するように配置された2つのカメラを用いてカメラ画像が取得され、2つのカメラ画像のそれぞれに含まれる点であってかつ互いに対応する点の組、すなわち、対応点の組が推定され、対応点の組に含まれる2つの対応点と予め求めておいたカメラの位置及び向き等の情報とを用いて、対応点の組に対する被写体上の点の3次元座標が計算される。以降の説明において、3次元点群算出部902によって算出される3次元座標に対応する点を、測距点とも呼ぶ。

10

【0095】

評価値算出部903は、測距点の3次元座標を対応点の組を推定した2つのカメラ画像それぞれに投影した点の画素値に基づき、カメラパラメタセットの評価値を算出する。以降の説明において、測距点を2つのカメラ画像に投影して得られる当該2つのカメラ画像上の点のそれぞれを、投影点と呼ぶ。カメラSで被写体を撮影して得たカメラ画像I<sub>S</sub>及びカメラTで被写体を撮影して得たカメラ画像I<sub>T</sub>に基づいた測距点を、カメラ画像I<sub>S</sub>に投影した投影点を第1投影点と呼び、同一の測距点をカメラ画像I<sub>T</sub>に投影した投影点を第2投影点と呼んでもよい。

20

【0096】

カメラパラメタ決定部904は、評価値算出部903によって算出された評価値に基づき、現在、カメラ101a~101dに設定されているカメラパラメタセットを変更すべきか否かを判定する。カメラパラメタ決定部904は、判定結果に基づき、カメラパラメタセットを変更つまり更新する。このように、カメラパラメタ決定部904は、カメラパラメタセットを決定する。カメラパラメタ出力部905は、カメラパラメタ決定部904で決定されたカメラパラメタセットを取得し、カメラパラメタ記憶部112等に出力する。

30

【0097】

図10に示すように、カメラパラメタセット算出装置111は、ステップS1001~S1007を含む自己校正処理S111を行うことによって、カメラ101a~101dに設定されているカメラパラメタのセット、つまり、初期カメラパラメタセットを校正する。自己校正処理S111において、カメラパラメタセット算出装置111は、自動的に校正処理を行う。カメラパラメタセット算出装置111は、スイッチ、タッチパッド、キーボード等の図示しない入力装置を介して、ユーザによって車載カメラシステム10へ校正指示が入力されると、カメラ101a~101dの自己校正処理を開始する。例えば、ユーザは、カメラ101a~101dの異常を確認した場合、校正指示を入力してもよく、カメラ101a~101dの製造完了後の工場出荷前に、校正指示を入力してもよい。また、カメラパラメタセット算出装置111は、予め設定された時期に、自己校正処理を自動的に開始してもよい。

40

【0098】

以下、4つのカメラのうち2つのカメラ101a及び101bについて、カメラ101a又は101bのカメラパラメタセットC<sub>a</sub>又はC<sub>b</sub>が誤差を含むことが、ユーザによって特定されている場合に、カメラパラメタセット算出装置111がカメラパラメタセットC<sub>a</sub>及びC<sub>b</sub>を校正する動作を説明する。

【0099】

例えば、図11には、図3に示すカメラの設置状態において、車両の前方及び右側方をそれぞれ撮影する2つのカメラ101a及び101bで撮影される画像の例が、示されてい

50

る。2つのカメラ101a及び101bで撮影されたカメラ画像は、両方のカメラで重複して撮影される被写体が含まれる。この領域を、以降、重複撮影領域と呼ぶ。

#### 【0100】

ユーザによって車載カメラシステム10へ校正指示が入力されると、カメラパラメタセット算出装置111は、自己校正処理S111を開始する。そして、ステップS1001において、取得部901は、カメラ101a及び101bによって撮影されたカメラ画像Ia及びIbを取得する。さらに、ステップS1002において、取得部901は、カメラパラメタ記憶部112に予め格納されているカメラ101a及び101bそれぞれの初期カメラパラメタセットCa0及びCb0を読み込む。ここで、「予め」とは、「カメラパラメタセット算出装置111が自己校正処理を開始する前」であることを意味してもよい。

10

#### 【0101】

ステップS1003において、3次元点群算出部902は、取得されたカメラ101a及び101bのカメラ画像Ia及びIbを用いて、2つのカメラ画像Ia及びIb間でN個の対応点の組を推定し抽出する。さらに、3次元点群算出部902は、各対応点の組に含まれる2つの対応点の座標、つまり、カメラ画像Iaでの画素座標( $u_{an}, v_{an}$ )及びカメラ画像Ibでの画素座標( $u_{bn}, v_{bn}$ )を算出して出力する。なお、nは、1~Nの値をとる。さらにまた、3次元点群算出部902は、カメラ画像Ia及びIbそれぞれのN個の対応点組のそれぞれに含まれる2つの画素座標と、カメラ101a及び101bそれぞれのカメラパラメタセットCar及びCbrとを用いて、ステレオ測距技術により、N個の対応点の組に対する被写体上の点、すなわち、測距点の3次元座標( $x_{arn}, y_{arn}, z_{arn}$ )を算出して出力する。つまり、3次元点群算出部902は、N個の測距点の3次元座標を算出する。

20

#### 【0102】

ステップS1003~S1006は、ステップS1005での判定結果に応じて、繰り返される。そして、繰り返しの度に、カメラ101a及び101bそれぞれのカメラパラメタセットが更新される。このため、r回目の繰り返し時のカメラ101a及び101bそれぞれのカメラパラメタセットを、カメラパラメタセットCar及びCbrと表す。初期カメラパラメタセットの場合、 $r=0$ である。

#### 【0103】

ここで、ステップS1003の処理の詳細を説明する。カメラ101aが被写体を撮影して得たカメラ画像をカメラ画像Ia、カメラ101bが被写体を撮影して得たカメラ画像をカメラ画像Ibとする。3次元点群算出部902は、カメラ画像Iaに含まれる被写体上の点Pnを撮影した点の画素座標( $u_{an}, v_{an}$ )と、カメラ画像Ibに含まれる当該被写体上の同一の点Pnを撮影した点の画素座標( $u_{bn}, v_{bn}$ )とを、例えば画像の類似、後述する輝度拘束、滑らかさ拘束などに基づいて、推定し算出する。画素座標の組 $\{(u_{an}, v_{an}), (u_{bn}, v_{bn})\}$ は、2つのカメラ画像のそれぞれに含まれる画素座標であって、かつ、互いに対応する画素座標の組である。なお、カメラ画像Iaに含まれる点とカメラ画像Ibに含まれる点とが互いに対応する場合、この対応点の組を対応点の組に対応する画素座標の組で表現してもよい。図11のカメラ画像の例の場合、カメラ101a及び101bのカメラ画像中の重複撮影領域において、2つのカメラ画像Ia及びIbそれぞれの対応点の画素座標( $u_{an}, v_{an}$ )及び( $u_{bn}, v_{bn}$ )が得られることが期待できる。

30

40

#### 【0104】

カメラ画像Iaの画素座標( $u_{an}, v_{an}$ )と、カメラ画像Ibの画素座標( $u_{bn}, v_{bn}$ )とが、対応点の組に含まれる2つの対応点の画素座標である場合、2つの対応点つまり2つの画素座標での画素値Ia( $u_{an}, v_{an}$ )及びIb( $u_{bn}, v_{bn}$ )が等しい。これを輝度拘束と呼ぶ。また、ある1つの被写体は、カメラ画像中の複数の隣接する画素を占めることから、カメラ画像Iaの画素座標( $u_{an}, v_{an}$ )に隣接する画素で特定される点に対応するカメラ画像Ibに含まれる点は、カメラ画像Ibの画素座標( $u_{bn}, v_{bn}$ )で特定される点の近くにある可能性が高い。これを滑らかさ拘束と呼

50

ぶ。カメラ画像 I a 及び I b 間の対応点の組（カメラ画像 I a 及び I b 間の対応する画素座標組）は、上述した輝度拘束と滑らかさ拘束との 2 つの条件を最もよく満たす画素座標（ $u_{an}, v_{an}$ ）と（ $u_{bn}, v_{bn}$ ）との組の集まりを推定することで得ることができる。

【0105】

2 つのカメラ画像間の対応点の組に含まれる 2 つの画素座標を実数精度で推定する対応点探索手法や動き推定手法は、既知な技術であり、上記で挙げた非特許文献 3 などに詳しく記載されているため、ここでは詳細な説明を省略する。

【0106】

3 次元点群算出部 902 は、さらに、推定した各対応点の組に含まれる 2 つの対応点の座標（ $u_{an}, v_{an}$ ）及び（ $u_{bn}, v_{bn}$ ）と、カメラ 101a 及び 101b のカメラパラメタセット  $C_{ar}$  及び  $C_{br}$  とを用いて、上記の式 3 により、対応点の組に対応する被写体上の点（測距点）の 3 次元座標（ $x_{arn}, y_{arn}, z_{arn}$ ）を算出する。3 次元座標は、カメラ 101a のカメラ座標系の座標値とする。2 つのカメラ画像間の対応点の組に含まれる 2 つの対応点の座標と 2 つのカメラ位置とから対応点の組に対応する被写体上の点（測距点）の 3 次元座標を算出する 2 眼ステレオ手法、及び 2 つの 3 次元座標系間での座標値の変換は、既知の技術であり、上記で挙げた非特許文献 4 などに詳しく記載されているため、ここでは詳細な説明を省略する。

【0107】

以降の説明を簡単にするために、カメラ 101a が被写体を撮影して得たカメラ画像とカメラ 101b の被写体を撮影して得たカメラ画像とのそれぞれに含まれる点であってかつ互いに対応する点の組である対応点の組に含まれる 2 つの対応点の座標（ $u_{an}, v_{an}$ ）及び（ $u_{bn}, v_{bn}$ ）と、カメラ 101a 及び 101b のカメラパラメタセット  $C_{ar}$  及び  $C_{br}$  とを用いて、上記の式 3 により、対応点の組に対する被写体上の点（測距点）の 3 次元座標（ $x_{arn}, y_{arn}, z_{arn}$ ）を算出する処理を、関数 F を用いた下記の式 7 で表す。上述のようなステップ S1003 の処理を通じて、3 次元点群算出部 902 は、2 つのカメラ画像の対応点の組に対する被写体上の点（測距点）の 3 次元座標を N 個算出する。

【0108】

【数 7】

$$(x_{arn}, y_{arn}, z_{arn}) = F(u_{an}, v_{an}, u_{bn}, v_{bn}, C_{ar}, C_{br}) \quad r=0 \dots R, \quad n=1 \dots N \quad (\text{式7})$$

【0109】

さらに、ステップ S1004 において、評価値算出部 903 は、N 個の測距点の 3 次元座標と、カメラ 101a 及び 101b のカメラパラメタセット  $C_{ar}$  及び  $C_{br}$  とを用いて、各測距点をカメラ 101a 及び 101b のカメラ画像 I a 及び I b に投影する。そして、評価値算出部 903 は、各測距点について、測距点を投影して得られるカメラ画像 I a 上の第 1 投影点及びカメラ画像 I b 上の第 2 投影点を算出する。「測距点をカメラ画像に投影する」とは、評価値算出部 903 が、下記の式 8 及び式 9 により、各測距点の 3 次元座標を、カメラ画像 I a 及び I b の画素座標に座標変換する、ことである。これにより、評価値算出部 903 は、各測距点について、カメラ画像 I a における第 1 投影点の画素座標（ $u_{arn}, v_{arn}$ ）、及び、カメラ画像 I b における第 2 投影点の画素座標（ $u_{brn}, v_{brn}$ ）を算出する。式 8 における関数 G は、上記式 1 ～ 式 3 及び式 5 に基づく、測距点の 3 次元座標からカメラ画像 I a の画素座標への座標変換を示す。式 9 における関数 H は、上記式 1 ～ 式 3 及び式 5 に基づく、測距点の 3 次元座標からカメラ画像 I b の画素座標への座標変換を示す。

【0110】

【数 8】

10

20

30

40

50

$$(u_{arn}, v_{arn}) = G(x_{arn}, y_{arn}, z_{arn}, C_{ar}) \quad r = 0 \dots R, n = 1 \dots N \quad (\text{式8})$$

$$(u_{brn}, v_{brn}) = H(x_{arn}, y_{arn}, z_{arn}, C_{ar}, C_{br}) \quad r = 0 \dots R, n = 1 \dots N \quad (\text{式9})$$

#### 【 0 1 1 1 】

さらに、評価値算出部 9 0 3 は、カメラ画像 I a 及び I b と、カメラパラメタセット C a r 及び C b r とを用いて、測距点をカメラ画像 I a に投影した第 1 投影点の画素値 i a r と、同一の測距点をカメラ画像 I b に投影した第 2 投影点の画素値 i b r とを算出する。例えば、第 1 投影点の画素座標を ( u a r n , v a r n ) とし、第 2 投影点の画素座標を ( u b r n , v b r n ) とすると、第 1 投影点の画素値 i a r は、I a ( u a r n , v a r n ) と表され、第 2 投影点の画素値 i b r は、I b ( u b r n , v b r n ) と表される。なお、評価値算出部 9 0 3 は、各々の測距点に対する第 1 投影点の画素値と第 2 投影点の画素値とを算出する。そして、評価値算出部 9 0 3 は、第 1 投影点の投影点の画素値 i a r 及び第 2 投影点の画素値 i b r の差の絶対値の総和で定義される評価値 J を、下記の式 1 0 に示す評価関数に基づき算出する。

10

#### 【 0 1 1 2 】

##### 【 数 9 】

$$J = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N |I_a(u_{arn}, v_{arn}) - I_b(u_{brn}, v_{brn})| \quad (\text{式10})$$

20

#### 【 0 1 1 3 】

ここで、N は、測距点の数量であり、ステップ S 1 0 0 3 で算出した 3 次元座標 ( x a r n , y a r n , z a r n ) の全ての点に対応する。画素座標 ( u a r n , v a r n ) 及び ( u b r n , v b r n ) はそれぞれ、カメラ 1 0 1 a で撮影したカメラ画像 I a 及びカメラ 1 0 1 b で撮影したカメラ画像 I b の n 番目の画素座標である。画素座標 ( u a r n , v a r n ) は、3 次元座標 ( x a r n , y a r n , z a r n ) と、カメラ 1 0 1 a のカメラパラメタセット C a r とから、上記の式 3 を用いて算出する。画素座標 ( u b r n , v b r n ) は、3 次元座標 ( x a r n , y a r n , z a r n ) と、カメラ 1 0 1 b のカメラパラメタセット C b r とから、上記の式 3 を用いて算出する。画素値 I a ( u a r n , v a r n ) は、カメラ画像 I a における画素座標 ( u a r n , v a r n ) での画素値であり、画素値 I b ( u b r n , v b r n ) は、カメラ画像 I b における画素座標 ( u b r n , v b r n ) での画素値であり、ここでは輝度値を用いる。

30

#### 【 0 1 1 4 】

また、本実施の形態では、画素値は、画素の輝度値である。実数精度の画素座標に対し、画素値はバイキュービック補間で算出される。なお、画素値は輝度値に限定するものではなく、輝度値の代わりに R G B 値を用いてもよい。また、実数精度の画素座標に対する画素値の算出方法は、バイキュービック補間に限定されるものではなく、バイリニア補間など他の補間方法であってもよい。また、評価値 J の計算における N 個の測距点に対応する第 1 投影点の画素値と第 2 投影点の画素値との差の絶対値の和を算出する際に、画素値の差の絶対値に重みを付けてもよい。例えば、被写体の色が連続的に変化する点群の重みを大きくしてもよく、被写体の表面の凹凸が大きい点群の重みを小さくしてもよい。これらの重み付けは、カメラパラメタの連続的な変化に対し、評価値 J の変化を滑らかにし、評価値 J を最小化し易くする効果が期待できる。

40

#### 【 0 1 1 5 】

次に、ステップ S 1 0 0 5 において、カメラパラメタ決定部 9 0 4 は、カメラ 1 0 1 a 及び 1 0 1 b のカメラパラメタセット C a r 及び C b r の更新の終了条件が満たされているか否かを判定する。終了条件が満たされていない場合 (ステップ S 1 0 0 5 で N O )、カメラパラメタ決定部 9 0 4 は、カメラパラメタセット C a r 及び C b r を変更するために

50



、ステップ S 1 0 0 6 の処理に進む。終了条件が満たされている場合（ステップ S 1 0 0 5 で Y E S ）、カメラパラメタ決定部 9 0 4 は、カメラパラメタセットの更新の終了をして、更新されて最新の状態のカメラパラメタセット C a r 及び C b r を、カメラ 1 0 1 a 及び 1 0 1 b のカメラパラメタセットに決定して出力し、ステップ S 1 0 0 7 の処理に進む。なお、終了条件は、カメラパラメタの所与の探索範囲内の探索が完了していること、評価値 J が第一閾値未満であること、及び、ステップ S 1 0 0 3 ~ S 1 0 0 6 の繰り返し回数 r が第二閾値よりも大きいことの少なくとも 1 つである。

#### 【 0 1 1 6 】

ステップ S 1 0 0 6 において、カメラパラメタ決定部 9 0 4 は、r + 1 回目のカメラパラメタセットの変更、つまり更新を行う。具体的には、カメラパラメタ決定部 9 0 4 は、カメラ 1 0 1 a 及び 1 0 1 b のカメラパラメタセット C a r 及び C b r を所与の範囲で変更し、新たなカメラパラメタセット C a r + 1 及び C b r + 1 を算出する。カメラパラメタ決定部 9 0 4 は、カメラパラメタセット C a r + 1 及び C b r + 1 を出力し、ステップ S 1 0 0 3 の処理に進む。これにより、ステップ S 1 0 0 3 ~ S 1 0 0 6 による r + 1 回目の一連の反復処理が行われる。なお、カメラパラメタの探索範囲は、予め設定された各カメラパラメタが取り得る範囲であってもよい。例えば、探索範囲は、全て初期カメラパラメタの ± 5 % であってもよい。

#### 【 0 1 1 7 】

ステップ S 1 0 0 7 において、カメラパラメタ出力部 9 0 5 は、上述したステップ S 1 0 0 3 ~ S 1 0 0 6 の反復処理によって算出されたカメラパラメタセットと、当該カメラパラメタセットに対応する評価値 J とによる複数の組を取得する。カメラパラメタセットに対応する評価値 J は、当該カメラパラメタセットを用いて算出された評価値である。カメラパラメタ出力部 9 0 5 は、複数組のカメラパラメタセット及び評価値 J から、評価値 J が最小である組のカメラパラメタセットを選択する。さらに、カメラパラメタ出力部 9 0 5 は、選択したカメラパラメタセットに対応する評価値 J が、初期カメラパラメタセットに対応する評価値 J よりも小さい場合に、カメラパラメタ記憶部 1 1 2 に記憶された初期カメラパラメタセットを、選択したカメラパラメタセットで置き換える。このように、カメラパラメタセットが最適なカメラパラメタセットに更新される。また、上述したステップ S 1 0 0 3 ~ S 1 0 0 7 の動作を、下記の式 1 1 に表すことができる。なお、ステップ S 1 0 0 1 ~ S 1 0 0 7 の処理は、図 4 のコンピュータ 3 0 0 で実行されてもよい。

#### 【 0 1 1 8 】

#### 【 数 1 0 】

$$\left. \begin{aligned} \argmin_{Car, Cbr}(J) &= \argmin_{Car, Cbr} \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N |I_a(u_{arn}, v_{arn}) - I_b(u_{brn}, v_{brn})| \\ (u_{arn}, v_{arn}) &= G(x_{arn}, y_{arn}, z_{arn}, C_{ar}) \quad r = 0 \dots R, n = 1 \dots N \\ (u_{brn}, v_{brn}) &= H(x_{arn}, y_{arn}, z_{arn}, C_{ar}, C_{br}) \quad r = 0 \dots R, n = 1 \dots N \\ (x_{arn}, y_{arn}, z_{arn}) &= F(u_{an}, v_{an}, u_{bn}, v_{bn}, C_{ar}, C_{br}) \end{aligned} \right\} \quad (式11)$$

#### 【 0 1 1 9 】

以上のように、カメラパラメタセット算出装置 1 1 1 は、自己校正処理 S 1 1 1 により、カメラ 1 0 1 a 及び 1 0 1 b のカメラ画像からステレオ測距により複数の対応点の組のそれぞれに対応する被写体上の点（測距点）の 3 次元座標を算出する。さらに、カメラパラメタセット算出装置 1 1 1 は、測距点をカメラ画像 I a に投影した第 1 投影点の画素座標及び同一の測距点をカメラ画像 I b に投影した第 2 投影点の画素座標を算出し、第 1 投影点の画素値と第 2 投影点の画素値との差に基づいて評価値を算出する。カメラパラメタセット算出装置 1 1 1 は、この評価値を最小にするカメラ 1 0 1 a 及び 1 0 1 b のカメラパ

ラメタセット  $C_{ar}$  及び  $C_{br}$  を算出することで、正解値又は正解値との誤差の小さいカメラパラメタセットを得ることができる。

#### 【0120】

ここで、カメラ101a及び101bのカメラパラメタセット  $C_{ar}$  及び  $C_{br}$  が正しい場合、対応点の組に対する3次元座標  $(x_{arn}, y_{arn}, z_{arn})$  が正しく、さらに3次元座標に対応する、カメラ101aのカメラ画像における第1投影点の画素値  $I_a(u_{arn}, v_{arn})$  と、カメラ101bのカメラ画像における第2投影点の画素値  $I_b(u_{brn}, v_{brn})$  とは等しく、上記の式10の評価値  $J$  は0となる。一方、カメラパラメタセット  $C_{ar}$  及び  $C_{br}$  が正解値から離れるほど（つまり、誤差を多く含むほど）、画素値の差が生じ、式10の評価値  $J$  は大きくなる。言い換えると、評価値  $J$  が小さいほど、カメラパラメタセット  $C_{ar}$  及び  $C_{br}$  は正解に近い。従って、上述したステップS1001～S1007の動作により、3次元座標  $(x_{arn}, y_{arn}, z_{arn})$  に対応する画素値  $I_a(u_{arn}, v_{arn})$  と画素値  $I_b(u_{brn}, v_{brn})$  との差に基づいて、これを最小にするカメラパラメタセット  $C_{ar}$  及び  $C_{br}$  を求めることで、カメラ101a及び101bの正しいカメラパラメタセットを求めることができる。すなわち、カメラ101a及びカメラ101bを校正できる。

10

#### 【0121】

上述した車載カメラシステム10の自己校正時の動作は、校正指標上の基準点などの3次元座標が既知の点と、画素座標との対応付けを必要としない。そのため、校正指標などの設備が不要であるという効果がある。また、3次元座標が既知の特定の被写体も用いないため、特定の被写体の3次元座標が変化するような、経年変化、外力による変形、温度変化等が加わった場合でも、正しくカメラを校正できるという効果がある。

20

#### 【0122】

##### [3. 自己校正処理の効果の検証]

以下、上述したカメラパラメタセット算出装置111の自己校正処理S111が、カメラ101a及び101bのカメラパラメタを正確に算出することが可能であることを、シミュレーションによる実験結果をもとに検証し説明する。

#### 【0123】

上記の式10に示す評価値  $J$  の評価関数に基づいて、カメラパラメタの正解値に対する誤差を小さくするカメラパラメタを算出するためには、式10の評価関数が以下の2つの条件を満たす必要がある。

30

(i) カメラパラメタが正解値である場合に、評価値  $J$  も最小であること

(ii) カメラパラメタの正解値の近傍で、評価関数が下に凸の線形を形成すること

#### 【0124】

カメラ101a及び101bで撮影されるカメラ画像として、図11のカメラ画像が入力された場合を例に、式10の評価値  $J$  の評価関数が、上述の2つの条件(i)及び(ii)を満たしていることを、以下の実験結果により示す。

#### 【0125】

##### (実験条件1)

実験条件1では、カメラのカメラパラメタの1つを変更しつつ評価値を算出し、評価値の算出結果と、予め既知であるカメラパラメタの正解値とを比較する実験を行った。各カメラ101a及び101bのカメラパラメタセットのうち、内部パラメタセットは、上記の式4の等距離射影モデルに従って、カメラの光軸中心の画素座標  $(c_u, c_v)$ 、カメラの焦点距離  $f$ 、カメラの撮像素子1画素分の  $x$  方向及び  $y$  方向それぞれの長さ  $d_{px}$  及び  $d_{py}$  の計5個のパラメタを含む。外部パラメタセット  $M$  は、上記の式1及び式2と同様の下記式12のように示される。外部パラメタセット  $M$  は、カメラ座標系の世界座標系に対する具体的な変位量として、 $X$ 、 $Y$  及び  $Z$  の各軸周りの回転量  $R_x$ 、 $R_y$  及び  $R_z$  と、 $X$ 、 $Y$  及び  $Z$  の各軸方向の並進量  $T_x$ 、 $T_y$  及び  $T_z$  との計6個のパラメタを含む。2台のカメラ101a及び101bのカメラパラメタセットには、合計22個のパラメタが含まれる。なお、 $X$  軸、 $Y$  軸及び  $Z$  軸は、世界座標系の基準軸である。

40

50

【 0 1 2 6 】

【 数 1 1 】

$$\begin{pmatrix} x_e \\ y_e \\ z_e \\ 1 \end{pmatrix} = M \begin{pmatrix} x_w \\ y_w \\ z_w \\ 1 \end{pmatrix}$$

$$M = \begin{pmatrix} r_{00} & r_{01} & r_{02} & t_x \\ r_{10} & r_{11} & r_{12} & t_y \\ r_{20} & r_{21} & r_{22} & t_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$= \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & T_x \\ 0 & 1 & 0 & T_y \\ 0 & 0 & 1 & T_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos R_z & -\sin R_z & 0 & 0 \\ \sin R_z & \cos R_z & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos R_y & 0 & \sin R_y & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\sin R_y & 0 & \cos R_y & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos R_x & -\sin R_x & 0 \\ 0 & \sin R_x & \cos R_x & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (式12)$$

10

20

【 0 1 2 7 】

ここで、 $d p x$ と $f$ 、及び、 $d p y$ と $f$ は、スケールの不定性により一意に求める事ができないため、 $d p y$ を設計値(一定)とする。また、図3のように配置されたカメラのカメラ画像を用いる場合、2つのカメラのカメラパラメタにおける基線長方向(例えば、 $X$ 軸方向)の並行移動量 $T_x$ についても、スケールの不定性により一意に求めることができないため、 $T_x$ は設計値(一定)とする。これにより、評価値 $J$ は、 $c u$ 、 $c v$ 、 $f$ 、 $d p x$ 、 $R_x$ 、 $R_y$ 、 $R_z$ 、 $T_y$ 及び $T_z$ による各カメラで9個のカメラパラメタを変数とする関数となる。

【 0 1 2 8 】

実験に用いた画像が図11に示されている。図11は、駐車場のシーンのカメラ画像の例であり、コンピュータグラフィックス(CG)で生成した。図11は、カメラ101a及び101bのカメラ画像である。本実験では、3次元点群算出部902によって、図11のカメラ画像間の対応点の組を算出する代わりに、予め既知である対応点の組の正解値を用いた。

30

【 0 1 2 9 】

対応点の組の正解値を入力値として、カメラ101a及び101bの全てのカメラパラメタを正解値である設計値に設定したのち、カメラ101bの1つのカメラパラメタを変えた場合の評価値 $J$ を算出した。

【 0 1 3 0 】

(実験結果1)

上記の実験条件1による実験結果1を説明する。具体的には、9個のカメラパラメタについて、正解値近傍での評価値が、図12A～図14Bに示すように得られた。各図中の横軸が各カメラパラメタの値を示し、縦軸が評価値 $J$ を示す。変化させるカメラパラメタはそれぞれ、図12Aでは $c u$ 、図12Bでは $c v$ 、図12Cでは $f$ 、図12Dでは $d p x$ 、図13Aでは $R_x$ 、図13Bでは $R_y$ 、図13Cでは $R_z$ 、図14Aでは $T_y$ 、図14Bでは $T_z$ である。

40

【 0 1 3 1 】

また、各カメラパラメタの正解値は、 $c u$ では640 pixel、 $c v$ では480 pixel、 $f$ では1.12 mm、 $d p x$ では2.75  $\mu$ m、 $R_x$ では0°、 $R_y$ では0°、 $R$

50

$z$ では $0^\circ$ 、 $T_y$ では $0\text{ mm}$ 、 $T_z$ では $0\text{ mm}$ である。各図中の横軸の中央部がカメラパラメタの正解値である。

【0132】

図12A～図14Bのいずれにおいても、カメラパラメタの正解値の近傍（横軸の中央部）で評価関数は下に凸の線形を描き、且つ、評価値が最小となるカメラパラメタは正解値と一致していることがわかる。このことから、図12A～図14Bで示すカメラパラメタの範囲において、評価値 $J$ が最小となるカメラパラメタを算出できると言える。言い換えると、本方式によるカメラ校正が可能である。

【0133】

例えば、図12Aに関して、 $c_u$ の $634 \sim 646\text{ pixel}$ の範囲において、 $c_u$ を一定の間隔又はランダムな間隔で増減させながら評価値が算出される。さらに、算出された評価値の中で、評価値が最小となるカメラパラメタ $c_u$ 、又は評価値が十分小さいパラメタ $c_u$ が、最適値として決定される。このように決定されたカメラパラメタ $c_u$ は、正解値である又は正解値との誤差が小さいカメラパラメタである。

10

【0134】

以上のことから、式10の評価関数が、正解値の近傍で上述の2つの条件(i)及び(ii)を満たしていることが、実験条件1の実験例により示される。

【0135】

（実験条件2）

実験条件2では、本開示のカメラパラメタセット算出装置111を用いて自己校正処理S111を実施することにより、誤差を小さくするようにカメラパラメタを算出し、算出結果を検証する実験を行った。

20

【0136】

本実験では、図11のカメラ画像がカメラパラメタセット算出装置111に入力され、カメラ画像間の対応点の組には、実験条件1と同様に、予め既知である正解値が用いられた。また、カメラ101a及び101bの全てのカメラパラメタを正解値である設計値に設定したのち、カメラ101bの9つのカメラパラメタについて所定の範囲内のランダムノイズを加算し、加算後のカメラパラメタを初期カメラパラメタとした。カメラ101bの9つのパラメタのうち1つのパラメタを、所定の範囲内で変化させつつ評価値を算出し、算出された評価値の中で、評価値が最小となるカメラパラメタを最適値に決定する。この処理を9つのカメラパラメタに対して順に繰り返す処理を1回の試行として、さらに複数回の試行を繰り返した。

30

【0137】

（実験結果2）

上記の実験条件2による実験結果2を説明する。具体的には、実験結果2の例が、図15A及び図15Bに示すように得られた。図15Aでは、横軸が試行回数を示し、縦軸が式10の評価値 $J$ を示す。つまり、図15Aでは、横軸の回数での試行を実施して得られたカメラパラメタを用いて算出した評価値が、縦軸の値で示されている。図15Bでは、横軸が試行回数を示し、縦軸が再投影誤差のRMS値を示す。再投影誤差とは、算出したカメラパラメタが、式1と式3とを満たす度合いを表す。具体的には、カメラ101bのカメラ画像Ibに映った被写体上の3次元座標とその画素座標との組の正解値が既知である場合に、算出したカメラ101bのカメラパラメタを用いて、正解の3次元座標をカメラ画像Ib上に投影した画素座標を算出し、算出した画素座標と正解の画素座標との差を、再投影誤差と呼ぶ。すなわち、再投影誤差が小さいほど、式1及び式3を満たすような、正解との誤差が小さいカメラパラメタであることを表す。図15A及び図15Bのいずれにおいても、試行回数が増えるほど評価値が小さくなる。よって、2つのカメラ画像の投影点における2つの画素値の差が小さくなる。同時に、試行回数が増えるほど再投影誤差も小さくなっている。

40

【0138】

以上のことから、本開示のカメラパラメタセット算出装置111による自己校正処理S1

50

1 1 によって、再投影誤差が小さい、すなわち、式 1 及び式 3 をよく満たし且つ正解値との誤差の小さいカメラパラメタを算出できているといえる。

#### 【 0 1 3 9 】

以上のことから、自己校正処理 S 1 1 1 によって得られた、上記の式 1 0 の評価値 J を最小にするカメラパラメタは、少なくとも評価値 J の評価関数が前述の 2 つの条件 ( i ) 及び ( i i ) を満たす場合に、正解値、又は誤差の小さいカメラパラメタであると言える。すなわち、カメラパラメタセット算出装置 1 1 1 によるステップ S 1 0 0 1 ~ ステップ S 1 0 0 7 の処理によって、カメラ 1 0 1 a 及び 1 0 1 b の 2 つのカメラ画像と初期カメラパラメタセットとを用いて、カメラ 1 0 1 a 及び 1 0 1 b の正確なカメラパラメタを算出して更新できるという効果がある。

10

#### 【 0 1 4 0 】

従来の校正技術では、3 次元座標と画素座標との対応が既知である複数の基準点を用いるため、校正指標を備える設備等が必要になる。これに対し、本実施の形態に係るカメラパラメタセット算出装置 1 1 1 は、2 つのカメラのカメラ画像を用いて対応点の組を抽出し、抽出された対応点の組に対する被写体上の点 ( 測距点 ) の 3 次元座標を算出し、さらに 3 次元座標を用いて各カメラのカメラ画像における対応点の組に含まれる対応点の投影点を算出する。カメラパラメタが正しい場合、2 つのカメラ画像の投影点の画素値は一致し、カメラパラメタの誤差が大きいほど 2 つのカメラ画像の投影点の画素値の差が大きくなる。そこで、カメラパラメタセット算出装置 1 1 1 は、2 つのカメラ画像の投影点の画素値の差を最小にするカメラパラメタを算出することで、最適つまり正解のカメラパラメタを算出する。これにより、カメラパラメタセット算出装置 1 1 1 は、3 次元座標と画素座標との対応が既知である基準点、つまり校正指標を備える設備等がなくても、カメラの校正を可能にするという効果を奏する。

20

#### 【 0 1 4 1 】

##### [ 4 - 1 . 自己校正動作の変形例 1 ]

実施の形態に係るカメラパラメタセット算出装置 1 1 1 の自己校正処理では、カメラパラメタの誤差が大きいカメラ、すなわち校正対象のカメラは、ユーザによって特定されており、ユーザによる入力によって特定のカメラの校正動作が開始するものとした。校正対象のカメラの決定は、ユーザにより指定に限定されず、別の方法であってもよい。

#### 【 0 1 4 2 】

例えば、3 つ以上のカメラがある場合に、全てのカメラを校正するとしてもよい。3 つ以上のカメラの全てを校正する場合、例えば、以下の 2 つの校正が挙げられる。第 1 の校正では、カメラパラメタセット算出装置 1 1 1 は、複数のカメラによる組から、任意の 2 つのカメラによる組を複数組抽出し、1 組の 2 つのカメラに対して、実施の形態と同様の自己校正処理によるカメラパラメタセットの算出、つまり校正を行ってもよい。そして、カメラパラメタセット算出装置 1 1 1 は、カメラの複数の組それぞれに対して順に、実施の形態と同様の自己校正処理による校正を行ってもよい。これによって、ユーザが校正対象のカメラを指定することなく、車載カメラシステムの校正ができるという効果がある。例えば、4 つのカメラがある場合、6 通りのカメラの組が形成される。カメラパラメタセット算出装置 1 1 1 は、6 組のカメラそれぞれに対して、順に校正を行ってもよい。これにより、各組のカメラのカメラパラメタセットは、他のカメラの組の影響を低減した校正を受ける。そして、2 つのカメラのカメラ画像から得られる結果が、適正か否かを判別することができる。例えば、判別結果に基づき、カメラパラメタセットの変更方法つまり更新方法を検討することができる。さらに、カメラの視野の部分的な領域での校正が可能になる。

30

40

#### 【 0 1 4 3 】

また、第 2 の校正では、カメラパラメタセット算出装置 1 1 1 の取得部 9 0 1 は、3 つ以上のカメラのカメラ画像を取得し、3 次元点群算出部 9 0 2 は、3 つ以上のカメラ画像の重複撮影領域の 3 次元座標を算出してもよい。さらに、評価値算出部 9 0 3 は、算出した 3 次元座標を各カメラ画像に投影した投影点の画素値の差を基準にした評価値を算出し、

50

カメラパラメタ決定部 904 は、評価値を最小にするカメラパラメタを決定してもよい。重複撮影領域それぞれで算出される画素値を、評価値の算出に適用することによって、1つのカメラについて複数の重複撮影領域を用いた校正が可能になる。これにより、校正に利用できる画像の面積が増え、カメラの視野の広い領域にわたる全体的な校正が可能になる。又は、全ての重複撮影領域で算出される画素値を、評価値の算出に適用することによって、複数のカメラ全体の校正が可能になる。

#### 【0144】

例えば、図16には、図3に示すように配置された4つのカメラ101a～101dが撮影したカメラ画像の例が示されている。各カメラ画像には、複数の重複撮影領域が含まれている。なお、図16は、互いに重複撮影領域を含む4つのカメラ101a～101dの撮影画像の一例である。各カメラ画像には、隣り合う2つのカメラで重複して撮影された被写体の領域である重複撮影領域が含まれる。具体的には、車両の前部のカメラ101aのカメラ画像には、カメラ101aと車両の右側部のカメラ101bとの重複撮影領域OLabと、カメラ101aと車両の左側部のカメラ101dとの重複撮影領域OLadとが含まれている。カメラ101bのカメラ画像には、カメラ101bとカメラ101aとの重複撮影領域OLabと、カメラ101bと車両の後部のカメラ101cとの重複撮影領域OLbcとが含まれている。カメラ101cのカメラ画像には、カメラ101cとカメラ101bとの重複撮影領域OLbcと、カメラ101cとカメラ101dとの重複撮影領域OLcdとが含まれている。カメラ101dのカメラ画像には、カメラ101dとカメラ101cとの重複撮影領域OLcdと、カメラ101dとカメラ101aとの重複撮影領域OLadとが含まれている。

#### 【0145】

第1の校正では、例えば、評価値算出部903は、上記の式10を用いて、2つのカメラの組毎に、重複撮影領域に関して、評価値を算出し、カメラパラメタ決定部904は、カメラの組毎に、評価値を最小にするカメラパラメタを決定する。

#### 【0146】

第2の校正では、例えば、評価値算出部903は、上記の式10の代わりに、下記の式13を用いて、全てのカメラの組のカメラ画像の重複撮影領域に関して、重複撮影領域全体に対する評価値を算出する。そして、カメラパラメタ決定部904は、評価値を最小にするカメラパラメタを決定する。式13の評価値Jは、第1項、第2項、第3項及び第4項の和で示される。式13の第1項は、カメラ101a及びカメラ101bのカメラ画像間の重複撮影領域OLabにおけるN個の測距点について、上記の式10を適用したものである。式13の第2項は、カメラ101a及びカメラ101dのカメラ画像間の重複撮影領域OLadにおけるP個の測距点について、上記の式10を適用したものである。式13の第3項は、カメラ101b及びカメラ101cのカメラ画像間の重複撮影領域OLbcにおけるQ個の測距点について、上記の式10を適用したものである。式13の第4項は、カメラ101c及びカメラ101dのカメラ画像間の重複撮影領域OLcdにおけるS個の測距点について、上記の式10を適用したものである。また、式13を用いた場合における図10のステップS1003～S1007の動作を、下記の式14のように表すことができる。式14におけるCar、Cbr、Ccr及びCdrはそれぞれ、カメラ101a、101b、101c及び101dのカメラパラメタセットである。

#### 【0147】

##### 【数12】

$$J = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N |I_a(u_{arn}, v_{arn}) - I_b(u_{brn}, v_{brn})| + \frac{1}{P} \sum_{p=1}^P |I_a(u_{arp}, v_{arp}) - I_d(u_{drp}, v_{drp})| + \frac{1}{Q} \sum_{q=1}^Q |I_b(u_{brq}, v_{brq}) - I_c(u_{crq}, v_{crq})| + \frac{1}{S} \sum_{s=1}^S |I_c(u_{crs}, v_{crs}) - I_d(u_{drs}, v_{drs})| \quad (式13)$$

10

20

30

40

【 0 1 4 8 】

【 数 1 3 】

 $\arg \min(J)$  $Car, Cbr, Ccr, Cdr$ 

$$= \arg \min_{Car, Cbr, Ccr, Cdr} \left\{ \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N |I_a(u_{arn}, v_{arn}) - I_b(u_{brn}, v_{brn})| + \frac{1}{P} \sum_{p=1}^P |I_a(u_{arp}, v_{arp}) - I_d(u_{drp}, v_{drp})| \right. \\ \left. + \frac{1}{Q} \sum_{q=1}^Q |I_b(u_{brq}, v_{brq}) - I_c(u_{crq}, v_{crq})| + \frac{1}{S} \sum_{s=1}^S |I_c(u_{crs}, v_{crs}) - I_d(u_{drs}, v_{drs})| \right\} \quad (式14)$$

10

【 0 1 4 9 】

実施の形態における自己校正処理では、カメラパラメタセット算出装置 1 1 1 は、カメラ 1 0 1 a 及び 1 0 1 b の校正に用いる重複撮影領域として、例えば、図 1 1 に示すように、カメラ画像内の偏った一部分を用いた。しかしながら、全てのカメラを校正することによって、全てのカメラの重複撮影領域を校正に用いることになるため、カメラ画像のうちより広い領域を用いて校正することが可能になる。よって、校正精度を向上できるという効果がある。また、重複撮影領域において重複する画像の数量が 3 つ以上にならないようにカメラを配置すれば、重複撮影領域の面積が広くなり得る。これにより、さらなる校正精度の向上が可能である。

20

【 0 1 5 0 】

[ 4 - 2 . 自己校正動作の変形例 2 ]

実施の形態に係るカメラパラメタセット算出装置 1 1 1 は、ユーザによる入力を、自己校正処理 S 1 1 1 の開始のトリガとしていたが、これに限定されない。カメラパラメタセット算出装置 1 1 1 は、自己校正処理 S 1 1 1 の開始を、他のトリガによって自動的に開始してもよい。例えば、カメラパラメタセット算出装置 1 1 1 は、温度センサ、衝撃センサ、タイマ等のセンサからの入力をトリガとして、自動的に自己校正を開始してもよい。

【 0 1 5 1 】

例えば、図 1 7 を参照すると、センサ部 1 3 0 を備える変形例 2 に係る車載カメラシステム 3 0 の構成を示すブロック図が示されている。車載カメラシステム 3 0 は、実施の形態に加えて、温度センサ 1 3 1、衝撃センサ 1 3 2 及びタイマ 1 3 3 を含むセンサ部 1 3 0 を備える。車載カメラシステム 3 0 の画像処理部 3 1 0 のカメラパラメタセット算出装置 3 1 1 は、実施の形態に加えて、センサ部 1 3 0 から検知情報を取得し自己校正処理の開始指令を出力するセンサ情報取得部 9 0 6 を備える。

30

【 0 1 5 2 】

本変形例に係るカメラパラメタセット算出装置 3 1 1 は、車載カメラシステム 3 0 の電源投入直後に、1 回の自己校正処理を、実施してもよい。なお、上記の電源投入後の実施の代わりに又は加えて、カメラパラメタセット算出装置 3 1 1 は、自己校正処理を、センサ部 1 3 0 のタイマ 1 3 3 からの入力に基づいて実施してもよく、センサ部 1 3 0 の衝撃センサ 1 3 2 からの入力に基づいて実施してもよく、センサ部 1 3 0 の温度センサ 1 3 1 の入力に基づいて実施してもよい。タイマ 1 3 3 からの入力に基づいた実施は、タイマ 1 3 3 によって検知される一定の時間ごとの実施であってもよい。衝撃センサ 1 3 2 からの入力に基づく実施は、車載カメラシステム 3 0 が搭載された自動車に事故などによって加わる強い衝撃を衝撃センサ 1 3 2 が検知する場合に行われてもよい。なお、衝撃センサ 1 3 2 は、加速度センサで構成されてもよい。温度センサ 1 3 1 の入力に基づく実施は、車載カメラシステム 3 0 の周囲の温度が所定の温度になることを温度センサ 1 3 1 が検知する場合に行われてもよい。

40

【 0 1 5 3 】

[ 4 - 3 . 自己校正動作の変形例 3 ]

実施の形態に係るカメラパラメタセット算出装置 1 1 1 は、自己校正処理 S 1 1 1 におい

50

て、ステップ S 1 0 0 3 では、カメラ画像 I a 及び I b 間で N 個の対応点の組を抽出し、さらに抽出された N 個の対応点の組のそれぞれに対する被写体上の点（測距点）の 3 次元座標をステレオ測距技術により算出し、ステップ S 1 0 0 4 では、3 次元座標を用いて評価値 J を算出した。しかしながら、評価値 J の算出に測距点を全て用いる必要はない。

【 0 1 5 4 】

本変形例では、カメラパラメタセット算出装置 1 1 1 は、ステレオ測距によって算出した N 個の測距点の 3 次元座標のうちから、画像の輝度勾配が無い又は十分小さい測距点の 3 次元座標を取り除く。これにより、カメラパラメタセット算出装置 1 1 1 は、評価値 J の算出に用いる測距点を少なくし、評価値 J の算出における計算量を低減する。

【 0 1 5 5 】

本変形例に係るカメラパラメタセット算出装置 1 1 1 の自己校正処理は、ステップ S 1 0 0 4 の動作を除き、実施の形態と同様である。このため、本変形例に係るステップ S 1 0 0 4 の動作を説明し、その他の説明を省略する。

【 0 1 5 6 】

ステップ S 1 0 0 4 において、カメラパラメタセット算出装置 1 1 1 の評価値算出部 9 0 3 は、測距点の 3 次元座標と、カメラ 1 0 1 a 及び 1 0 1 b のカメラパラメタセット C a r 及び C b r とを用いて、上記の式 8 及び式 9 により、測距点をカメラ 1 0 1 a のカメラ画像 I a に投影した第 1 投影点の画素座標及び同一の測距点をカメラ 1 0 1 b のカメラ画像 I b に投影した第 2 投影点の画素座標を算出する。

【 0 1 5 7 】

そして、K a 個の測距点が存在する場合、評価値算出部 9 0 3 は、K a 個の測距点のうちから、測距点をカメラ画像 I a に投影した第 1 投影点の画素座標 ( u a r , v a r ) における画素値の輝度勾配が 0 又は十分小さい測距点を除去する。除去される測距点が、K b 個 ( K b > 又は = 0 ) 存在する場合、評価値算出部 9 0 3 は、( K a - K b ) 個の測距点の 3 次元座標を選択する。

【 0 1 5 8 】

測距点の 3 次元座標 ( x a r , y a r , z a r ) に対応する画素座標 ( u a r , v a r ) の周りの画素値の輝度勾配が 0 の場合、カメラパラメタを微小変化させることで、この測距点に対応する画素座標 ( u a r , v a r ) が微小変化しても、その画素座標の画素値 I a ( u a r , v a r ) は変化しない。言い換えると、評価値 J が変化しない。そのため、この様な測距点を除去したとしても評価値 J には影響が無く、且つ、測距点の数が減るため、ステップ S 1 0 0 4 の計算量を低減できるという効果がある。

【 0 1 5 9 】

なお、ステップ S 1 0 0 4 における評価値 J の算出に用いる測距点の削減には、他の手法が用いられてもよい。例えば、測距点のうちから、2 つのカメラ 1 0 1 a 及び 1 0 1 b の一方のカメラに映っていない測距点が除外されてもよい。この場合、測距点の 3 次元座標に対応する投影点のカメラ画像 I a 及び I b での画素座標を算出し、2 つの画素座標のうちいずれか一方がカメラ画像の不可視領域に位置する場合に、当該測距点を評価値 J の算出から除外してもよい。

【 0 1 6 0 】

上記の式 1 0 は、同一の測距点が 2 つのカメラ画像 I a 及び I b に写っている場合、カメラ画像 I a 及び I b での測距点の投影点の画素値の差が 0 になることを意味している。カメラ画像 I a 及び I b での測距点の投影点のいずれかが、カメラ 1 0 1 a 及び 1 0 1 b の撮影範囲外にある場合、撮影範囲内にあっても他の物体に遮蔽されてカメラに映らない、つまり遮蔽領域にある場合では、画素値の差は、0 にならず、評価値の誤差になる。そのため、複数の測距点のうち、その投影点が少なくとも一方のカメラに写らない、つまり、当該カメラの不可視領域に位置する測距点を評価値の算出から除外することで、評価値の誤差を小さくできるという効果が期待できる。測距点の投影点がカメラの不可視領域にあるか否かは、前述したようなカメラの撮影範囲外となる 3 次元空間の範囲を規定する遮蔽情報に基づいて判定してもよい。

10

20

30

40

50



## 【 0 1 6 1 】

なお、カメラパラメタセット算出装置 1 1 1 の自己校正処理 S 1 1 1 のステップ S 1 0 0 5 では、評価値 J が第一閾値よりも小さいこと、及び、処理の繰り返し回数 r が第二閾値よりも大きいこと等の終了条件に基づき、反復計算を終了するとしたが、反復計算の終了条件をこれに限定するものではない。例えば、他の終了条件が加わってもよい。例えば、カメラパラメタセットを変化させても評価値 J が変化しないことを、終了条件としてもよい。

## 【 0 1 6 2 】

なお、カメラパラメタセット算出装置 1 1 1 の自己校正処理 S 1 1 1 は、評価値 J の評価関数が前述した 2 つの条件を満たす場合に、評価値 J が小さい、つまり正解値とカメラパラメタとの差が小さい、言い換えると、誤差の小さいカメラパラメタを算出して更新することができる。しかしながら、評価関数が前述した 2 つの条件を満たさない場合、必ずしも誤差の小さいカメラパラメタを算出できるとは限らない。例えば、カメラの撮影範囲が極端に暗く、全ての画素値が 0 になる場合、及び、被写体が均一色でテクスチャが全くない場合、上記の式 1 0 の評価値 J は、カメラパラメタを変えてもその値は変わらず、一定値（例えば、0）となる。このようなカメラ画像をカメラパラメタセット算出装置 1 1 1 が取得した場合、自己校正処理 S 1 1 1 では、ステップ S 1 0 0 3 ~ S 1 0 0 6 の反復回数 r が第二閾値以上になるまで反復処理が終了せず、評価値は一定のままで更新されない。この際、カメラパラメタを更新しないにも関わらず、処理における計算負荷がかかる。これに対し、カメラパラメタを変化させても評価値が変化しない場合に、反復処理を終了するとすることで、計算負荷を低減できるという効果がある。

## 【 0 1 6 3 】

## [ 5 . 評価関数のバリエーション ]

実施の形態及び変形例に係る自己校正処理において、カメラパラメタセット算出装置の自己校正処理で用いる評価値 J に、上記の式 1 0 に示すように、複数の測距点それぞれに対応する画素値の差の絶対値の和に基づく評価関数が適用された。しかしながら、評価関数は、上記に限定されるものではなく、測距点に対応する 2 つのカメラ画像の画素値の差に基づく関数であれば、他の関数であってもよい。例えば、評価関数は、複数の測距点それぞれに対応する 2 つのカメラ画像の 2 つの画素値の差の 2 乗の総和を用いる評価関数でもよい。具体的には、測距点をカメラ画像 I a へ投影した第 1 投影点での画素値と同一の測距点をカメラ画像 I b へ投影した第 2 投影点での画素値との差の 2 乗を各測距点について求めて、求めた値を加算する評価関数の例を、下記の式 1 5 に示す。

## 【 0 1 6 4 】

## 【 数 1 4 】

$$J = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N \{I_a(u_{arn}, v_{arn}) - I_b(u_{brn}, v_{brn})\}^2 \quad (式15)$$

## 【 0 1 6 5 】

上記の式 1 0 に示すような画素値の差の絶対値和で定義される評価値に基づいて算出されたカメラパラメタは、画素値の差がラプラス分布の場合に、真値に近い、つまり、真値に対する誤差が小さいという効果が期待できる。

## 【 0 1 6 6 】

これに対し、上記の式 1 5 に示すような画素値の差の 2 乗和で定義される評価値に基づいて算出されたカメラパラメタは、画素値の誤差がガウス分布の場合に、真値に近い、つまり、真値に対する誤差が小さいという効果が期待できる。

## 【 0 1 6 7 】

## [ その他 ]

以上、本開示の 1 つ以上の態様に係るカメラパラメタセット算出装置等について、実施の形態等に基づいて説明したが、本開示は、実施の形態等に限定されるものではない。本開

10

20

30

40

50

示の趣旨を逸脱しない限り、当業者が思いつく各種変形を本実施の形態等に施したものや、異なる実施の形態における構成要素を組み合わせて構築される形態も、本開示の1つ以上の態様の範囲内に含まれてもよい。

【0168】

実施の形態及び変形例では、撮像部100は4つのカメラ101a~101dで構成されるものとしたが、カメラの数量を4つに限定するものではない。本開示の自己校正のためには、撮像部100は、少なくとも2つのカメラを備えればよく、カメラは2つ以上であればいくらかでもよい。また、カメラ同士は、一体化されていてもよく、別々に配置されていてもよい。

【0169】

実施の形態及び変形例では、車載カメラシステムの撮像部、画像処理部及びディスプレイは、いずれも自動車に搭載されており、画像処理部を構成するカメラパラメタセット算出装置も自動車に搭載されているものとしたが、これに限定されない。例えば、撮像部、画像処理部及びディスプレイは、自動車以外のいかなる移動体に搭載されてもよい。移動体は、自動車以外の車両、船舶、飛行体又はロボット等であってもよい。自動車以外の車両は、トラック、バス、二輪車、搬送車、鉄道、建設機械、荷役機械等であってもよい。飛行体は、航空機、ドローン等であってもよい。ロボットは、利用者が遠隔操作する構成であってもよい。

【0170】

また、カメラパラメタセット算出装置は、自動車とネットワークで接続された別の場所に設置されているコンピュータで構成してもよい。カメラパラメタセット算出装置におけるカメラパラメタの自己校正処理は、計算負荷が大きいことから、自動車に搭載された計算能力に制約のあるコンピュータ上で実施するよりも、サーバーなどの計算能力の高いコンピュータで実施することで、計算時間がより短く、精度がより高いパラメタの算出ができる、という効果がある。

【0171】

また、上述したように、本開示の技術は、システム、装置、方法、集積回路、コンピュータプログラム又はコンピュータ読取可能な記録ディスク等の記録媒体で実現されてもよく、システム、装置、方法、集積回路、コンピュータプログラム及び記録媒体の任意な組み合わせで実現されてもよい。コンピュータ読み取り可能な記録媒体は、例えばCD-ROM等の不揮発性の記録媒体を含む。

【0172】

例えば、上記実施の形態及び変形例に係る車載カメラシステムに含まれる各構成要素は典型的には集積回路であるLSI(Large Scale Integration:大規模集積回路)として実現される。これらは個別に1チップ化されてもよいし、一部又は全てを含むように1チップ化されてもよい。

【0173】

また、集積回路化はLSIに限るものではなく、専用回路又は汎用プロセッサで実現してもよい。LSI製造後にプログラムすることが可能なFPGA(Field Programmable Gate Array)、又はLSI内部の回路セルの接続や設定を再構成可能なりコンフィギュラブル・プロセッサを利用してもよい。

【0174】

なお、上記実施の形態及び変形例において、各構成要素は、専用のハードウェアで構成されるか、各構成要素に適したソフトウェアプログラムを実行することによって実現されてもよい。各構成要素は、CPU又はプロセッサなどのプログラム実行部が、ハードディスク又は半導体メモリなどの記録媒体に記録されたソフトウェアプログラムを読み出して実行することによって実現されてもよい。

【0175】

また、上記構成要素の一部又は全部は、脱着可能なIC(Integrated Circuit)カード又は単体のモジュールから構成されてもよい。ICカード又はモジュール

10

20

30

40

50

ルは、マイクロプロセッサ、ROM、RAM等から構成されるコンピュータシステムである。ICカード又はモジュールは、上記のLSI又はシステムLSIを含むとしてもよい。マイクロプロセッサが、コンピュータプログラムにしたがって動作することにより、ICカード又はモジュールは、その機能を達成する。これらICカード及びモジュールは、耐タンパ性を有するとしてもよい。

#### 【0176】

本開示のカメラパラメタセット算出方法は、MPU(Micro Processing Unit)、CPU、プロセッサ、LSIなどの回路、ICカード又は単体のモジュール等によって、実現されてもよい。

#### 【0177】

さらに、本開示の技術は、ソフトウェアプログラム又はソフトウェアプログラムからなるデジタル信号によって実現されてもよく、プログラムが記録された非一時的なコンピュータ読み取り可能な記録媒体であってもよい。また、上記プログラムは、インターネット等の伝送媒体を介して流通させることができるのは言うまでもない。

#### 【0178】

また、上記で用いた序数、数量等の数字は、全て本開示の技術を具体的に説明するために例示するものであり、本開示は例示された数字に制限されない。また、構成要素間の接続関係は、本開示の技術を具体的に説明するために例示するものであり、本開示の機能を実現する接続関係はこれに限定されない。

#### 【0179】

また、ブロック図における機能ブロックの分割は一例であり、複数の機能ブロックを1つの機能ブロックとして実現したり、1つの機能ブロックを複数の機能ブロックに分割したり、一部の機能を他の機能ブロックに移してもよい。また、類似する機能を有する複数の機能ブロックの機能を単一のハードウェア又はソフトウェアが並列又は時分割に処理してもよい。

#### 【産業上の利用可能性】

#### 【0180】

本開示に係るカメラパラメタ算出装置等は、少なくとも2つのカメラのカメラパラメタの算出に有用である。

#### 【符号の説明】

#### 【0181】

10, 30 車載カメラシステム

100 撮像部

101, 101a, 101b カメラ

110, 310 画像処理部

111, 311 カメラパラメタセット算出装置

112 カメラパラメタ記憶部

113 画像生成部

120 ディスプレイ

300 コンピュータ

301 CPU

302 ROM

303 RAM

304 HDD

305 ビデオ入力I/F

306 ビデオカード

901 取得部

902 3次元点群算出部

903 評価値算出部

904 カメラパラメタ決定部

905 カメラパラメタ出力部

10

20

30

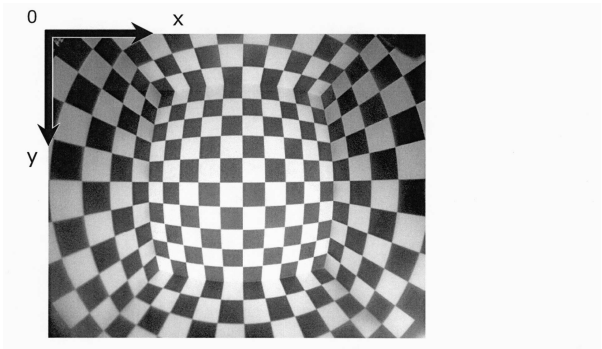
40

50

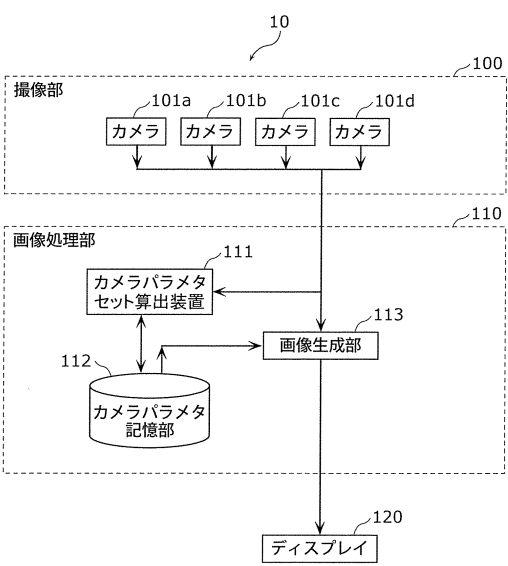
9 0 6 センサ情報取得部

【図面】

【図 1】



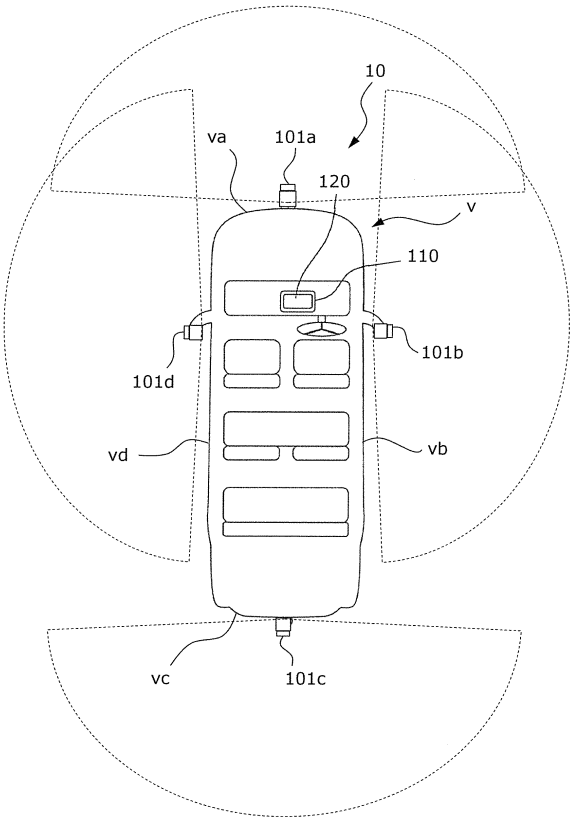
【図 2】



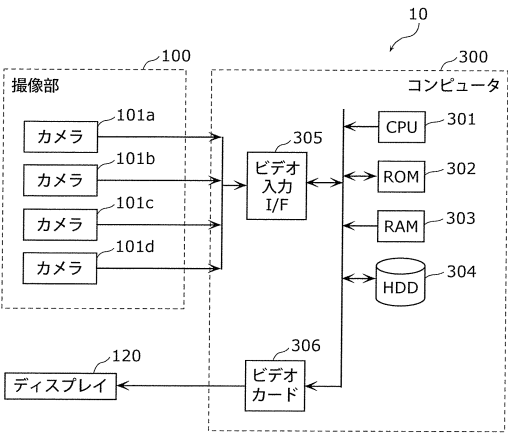
10

20

【図 3】



【図 4】

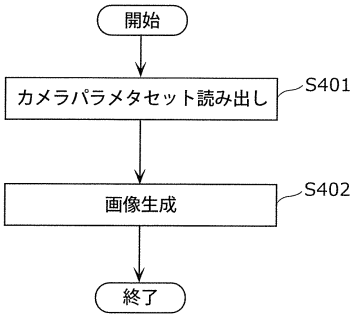


30

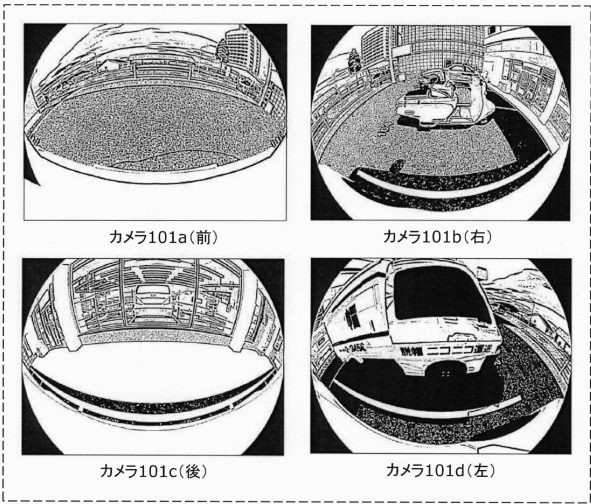
40

50

【 図 5 】

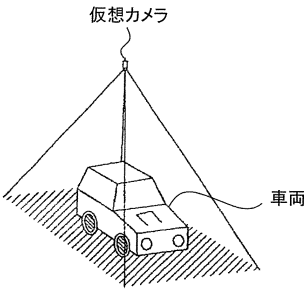


【 図 6 】

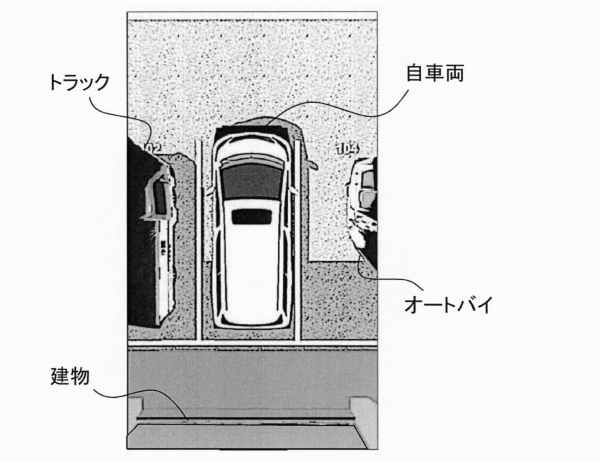


10

【 図 7 】



【 図 8 】



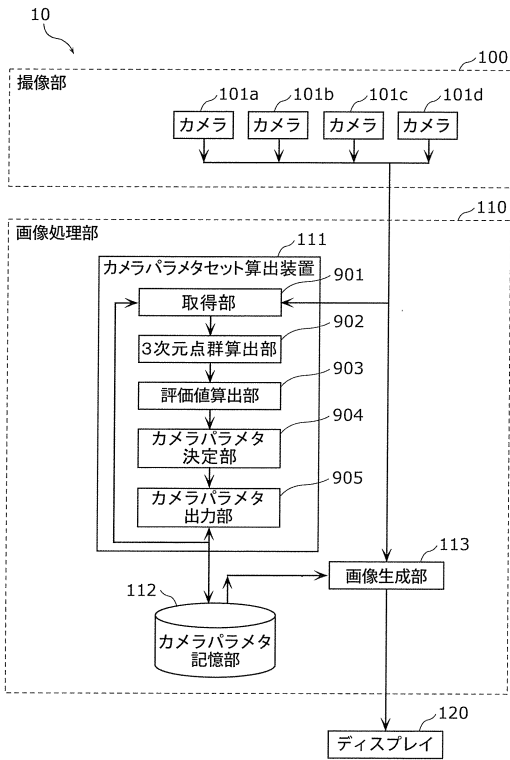
20

30

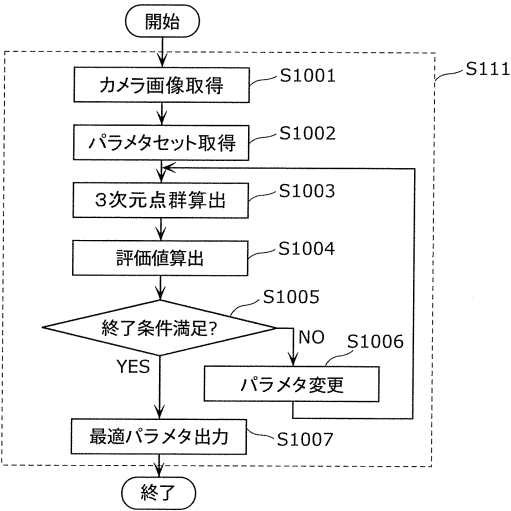
40

50

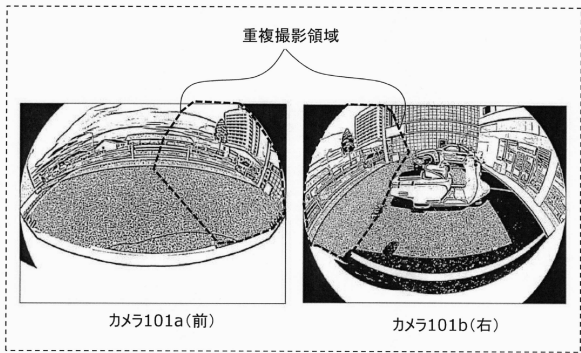
【図 9】



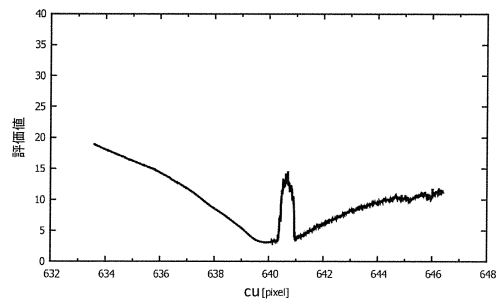
【図 10】



【図 11】



【図 12 A】



10

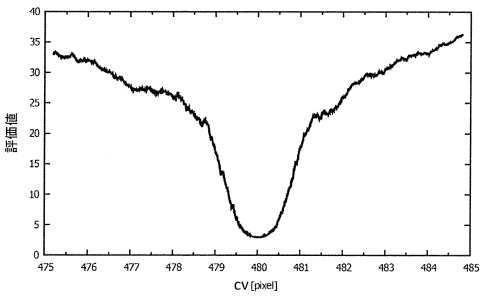
20

30

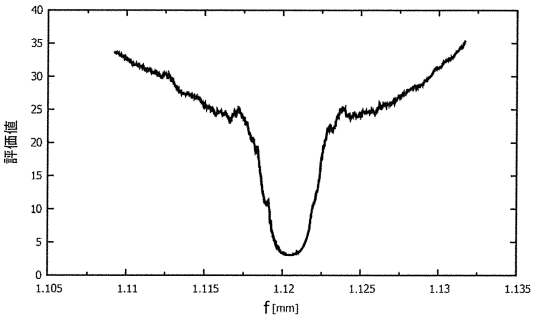
40

50

【図 1 2 B】

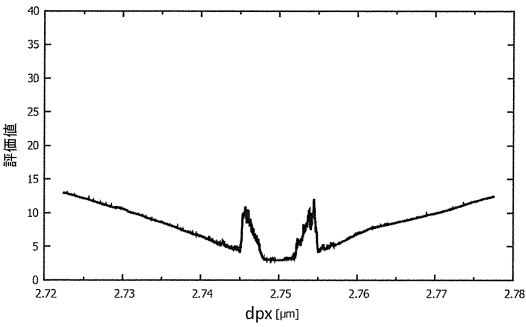


【図 1 2 C】

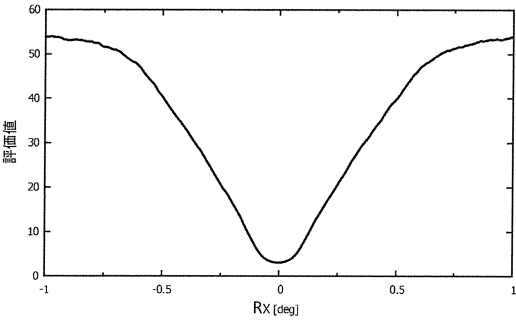


10

【図 1 2 D】



【図 1 3 A】



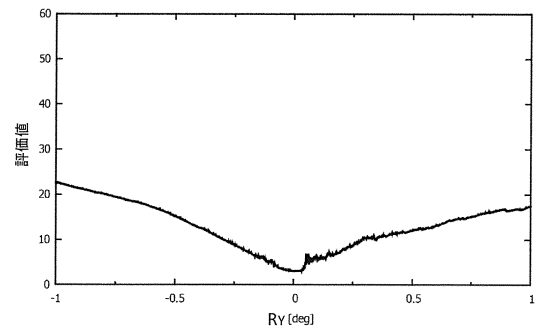
20

30

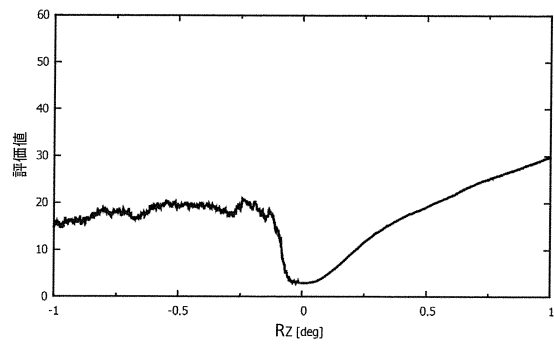
40

50

【図 1 3 B】



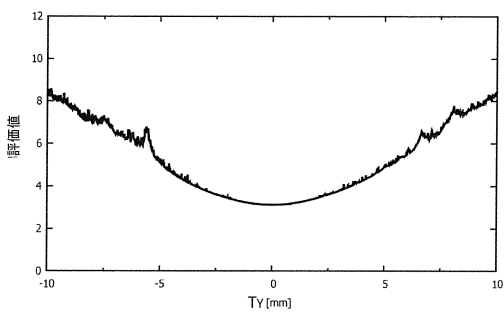
【図 1 3 C】



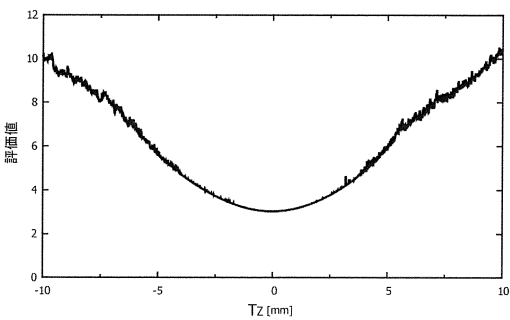
10

20

【図 1 4 A】



【図 1 4 B】



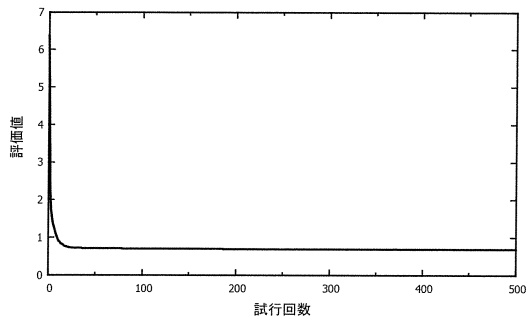
30

40

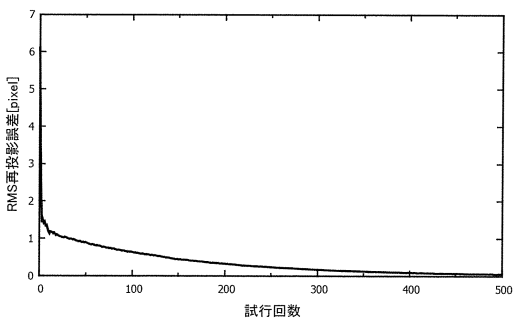
50



【図 15 A】

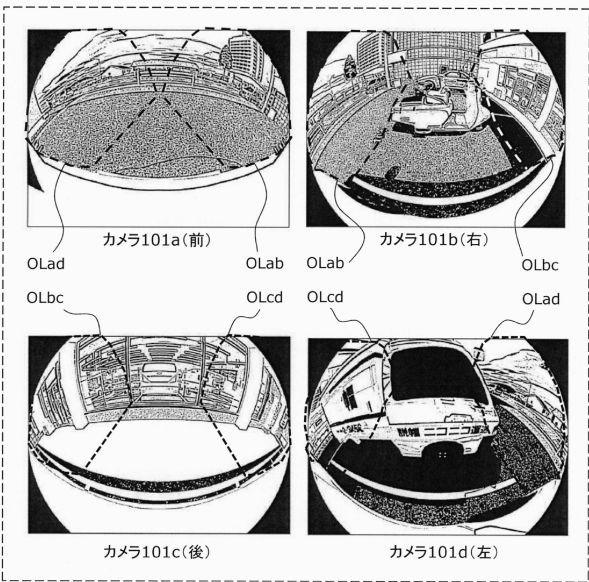


【図 15 B】

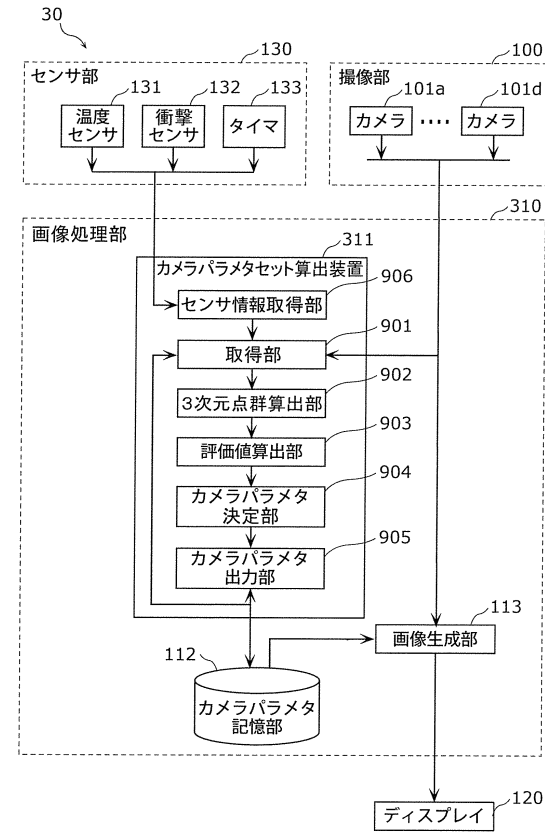


10

【図 16】



【図 17】



20

30

40

50

## フロントページの続き

ナソニック株式会社内  
(72)発明者 佐藤 智  
大阪府門真市大字門真 1 0 0 6 番地 パナソニック株式会社内  
(72)発明者 吾妻 健夫  
大阪府門真市大字門真 1 0 0 6 番地 パナソニック株式会社内  
(72)発明者 中田 幹也  
大阪府門真市大字門真 1 0 0 6 番地 パナソニック株式会社内  
審査官 豊田 好一  
(56)参考文献 特開 2 0 1 5 - 1 3 3 6 9 1 ( J P , A )  
特開 2 0 1 4 - 2 3 8 3 2 2 ( J P , A )  
特開 2 0 1 0 - 1 0 9 4 5 2 ( J P , A )  
特開 2 0 1 0 - 2 5 0 4 5 2 ( J P , A )  
特開 2 0 1 0 - 0 3 3 5 0 3 ( J P , A )  
(58)調査した分野 (Int.Cl. , D B 名)  
G 0 6 T 7 / 8 0  
H 0 4 N 5 / 2 3 2  
H 0 4 N 7 / 1 8