

(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2015-19346  
(P2015-19346A)

(43) 公開日 平成27年1月29日(2015.1.29)

(51) Int.Cl.		F I	テーマコード (参考)
HO4N 13/02	(2006.01)	HO4N 13/02	2H059
HO4N 5/225	(2006.01)	HO4N 5/225	Z 2H100
GO3B 35/08	(2006.01)	GO3B 35/08	5C061
GO3B 17/02	(2006.01)	GO3B 17/02	5C122

審査請求 未請求 請求項の数 6 O L (全 35 頁)

(21) 出願番号 特願2013-218641 (P2013-218641)  
 (22) 出願日 平成25年10月21日 (2013.10.21)  
 (31) 優先権主張番号 特願2013-123888 (P2013-123888)  
 (32) 優先日 平成25年6月12日 (2013.6.12)  
 (33) 優先権主張国 日本国(JP)

特許法第30条第2項適用申請有り 国際会議3DSA  
 (Three Dimensional Systems and Applications) 2013 (開催期間:平成25年6月26日~同年6月28日)における講演原稿を、開催期間の初日である平成25年6月26日に、講演原稿が記録されたUSBメモリの配布により公開 同年6月27日に同講演原稿の内容について口頭発表

(71) 出願人 000004352  
 日本放送協会  
 東京都渋谷区神南2丁目2番1号  
 (74) 代理人 110001807  
 特許業務法人磯野国際特許商標事務所  
 (74) 代理人 100064414  
 弁理士 磯野 道造  
 (74) 代理人 100111545  
 弁理士 多田 悦夫  
 (72) 発明者 久富 健介  
 東京都世田谷区砧一丁目10番11号 日本放送協会放送技術研究所内  
 (72) 発明者 池谷 健佑  
 東京都世田谷区砧一丁目10番11号 日本放送協会放送技術研究所内

最終頁に続く

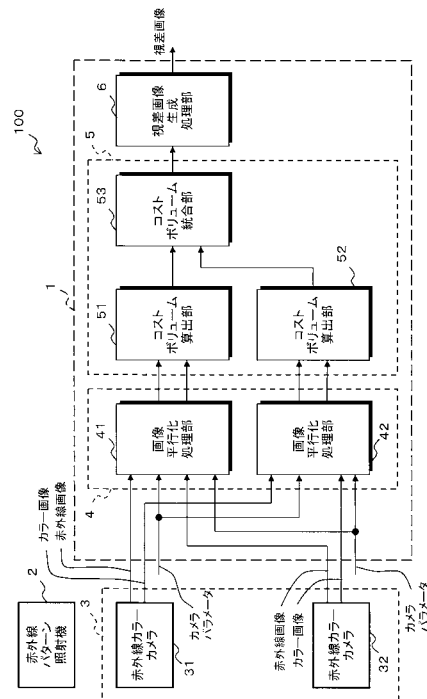
(54) 【発明の名称】 視差画像生成装置

(57) 【要約】

【課題】テクスチャの少ない被写体についても、可視光領域の画像に影響を与えることなくテクスチャを付与して視差画像を精度よく生成できる視差画像生成装置を提供する。

【解決手段】視差画像生成装置1は、赤外線パターンの投影により赤外線のテクスチャを付与された被写体について2台の赤外線カラーカメラ31, 32で撮影した赤外線ステレオ画像及びカラーステレオ画像をそれぞれ平行化する画像変換部4と、視差毎かつ画素毎にステレオ画像の当該画素を含む所定範囲の画像の一致の度合いを示すコストを算出することでコストボリュームを生成するコストボリューム生成部5と、画素毎にコストが最小となる視差を選択することで視差画像を生成する視差画像生成処理部6とを備える。

【選択図】 図1



**【特許請求の範囲】****【請求項 1】**

赤外線パターンを投影した被写体について、前記赤外線の波長領域の画像である赤外線画像及び可視光の波長領域の画像である可視光画像を2台のカメラで撮影した赤外線画像の組及び可視光画像の組を用いて、視差画像を生成する視差画像生成装置であって、

前記2台のカメラについてのカメラパラメータを用いて、前記赤外線画像の組を、前記2台のカメラの光軸を平行とした際に得られる画像である平行化赤外線画像の組に変換するとともに、前記2台のカメラについてのカメラパラメータを用いて、前記可視光画像の組を、前記2台のカメラの光軸を平行とした際に得られる画像である平行化可視光画像の組に変換する画像変換部と、

10

基準となる前記平行化赤外線画像である基準赤外線画像と、他方の前記平行化赤外線画像である非基準赤外線画像との間の視差が画像全体において一定値であるとした場合に、前記基準赤外線画像と前記非基準赤外線画像との画素毎の、当該画素を含む所定範囲の画像の一致の度合いを示す指標である対応度と、前記基準赤外線画像と同じ光軸の前記平行化可視光画像である基準可視光画像と、他方の前記平行化可視光画像である非基準可視光画像との間の視差が画像全体において前記一定値であるとした場合に、前記基準可視光画像と前記非基準可視光画像との画素毎の、当該画素を含む所定範囲の画像の一致の度合いを示す指標である対応度と、を統合した対応度の2次元配列である対応度マップを、所定の視差範囲について所定間隔の視差毎に求めることで対応度マップ群を生成する対応度マップ群生成部と、

20

画素毎に、前記対応度マップ群の中で最も一致の度合いが高い対応度マップについての視差を選択することにより、画素毎に視差が定められた画像である視差画像を生成する視差画像生成処理部と、

を備えることを特徴とする視差画像生成装置。

**【請求項 2】**

赤外線パターンを投影した被写体について、前記赤外線の波長領域の画像である赤外線画像を2台の赤外線カメラで撮影した赤外線画像の組と、可視光の波長領域の画像である可視光画像を2台の可視光カメラで撮影した可視光画像の組とを用いて、視差画像を生成する視差画像生成装置であって、

前記2台の赤外線カメラについてのカメラパラメータを用いて、前記赤外線画像の組を、前記2台の赤外線カメラの光軸を平行とした際に得られる画像である平行化赤外線画像の組に変換するとともに、前記2台の可視光カメラ及び前記2台の赤外線カメラについてのカメラパラメータを用いて、前記可視光画像の組を、前記2台の可視光カメラの光軸を前記平行化赤外線画像の組を得るための光軸と同じとした際に得られる画像である平行化可視光画像の組に変換する画像変換部と、

30

基準となる前記平行化赤外線画像である基準赤外線画像と、他方の前記平行化赤外線画像である非基準赤外線画像との間の視差が画像全体において一定値であるとした場合に、前記基準赤外線画像と前記非基準赤外線画像との画素毎の、当該画素を含む所定範囲の画像の一致の度合いを示す指標である対応度と、前記基準赤外線画像と同じ光軸の前記平行化可視光画像である基準可視光画像と、他方の前記平行化可視光画像である非基準可視光画像との間の視差が画像全体において前記一定値であるとした場合に、前記基準可視光画像と前記非基準可視光画像との画素毎の、当該画素を含む所定範囲の画像の一致の度合いを示す指標である対応度と、を統合した対応度の2次元配列である対応度マップを、所定の視差範囲について所定間隔の視差毎に求めることで対応度マップ群を生成する対応度マップ群生成部と、

40

画素毎に、前記対応度マップ群の中で最も対応度が高い対応度マップについての視差を選択することにより、画素毎に視差が定められた画像である視差画像を生成する視差画像生成処理部と、

を備えることを特徴とする視差画像生成装置。

**【請求項 3】**

50

前記対応度マップ群生成部は、前記対応度マップ群について、前記対応度マップ毎に、前記基準可視光画像をエッジ領域識別のためのガイド画像として、当該ガイド画像における被写体のエッジに対応する前記対応度マップのエッジを保持する平滑化フィルタ処理を行う平滑化フィルタ処理部を更に備え、

前記視差画像生成処理部は、前記平滑化フィルタ処理部によって平滑化フィルタ処理された対応度マップ群を用いて、前記視差画像を生成することを特徴とする請求項1又は請求項2に記載の視差画像生成装置。

【請求項4】

赤外線パターンを投影した被写体について、前記赤外線の波長領域の画像である赤外線画像を2台の赤外線カメラで撮影した赤外線画像の組と、可視光の波長領域の画像である可視光画像を可視光カメラで撮影した可視光画像とを用いて、視差画像を生成する視差画像生成装置であって、

前記2台の赤外線カメラについてのカメラパラメータを用いて、前記赤外線画像の組を、前記赤外線カメラの光軸を平行とした際に得られる画像である平行化赤外線画像の組に変換するとともに、前記可視光カメラ及び基準となる前記赤外線カメラについてのカメラパラメータを用いて、前記可視光画像を、前記可視光カメラの光軸を基準となる前記平行化赤外線画像を得るための光軸と同じとした際に得られる画像である基準可視光画像に変換する画像変換部と、

前記基準となる平行化赤外線画像である基準赤外線画像と、他方の前記平行化赤外線画像である非基準赤外線画像との間の視差が画像全体において一定値であるとした場合に、前記基準赤外線画像と前記非基準赤外線画像との画素毎の、当該画素を含む所定範囲の画像の一致の度合いを示す指標である対応度の2次元配列である対応度マップを、所定の視差範囲について所定間隔の視差毎に求めることで対応度マップ群を生成する対応度マップ群生成部と、

前記対応度マップ群について、前記対応度マップ毎に、前記基準可視光画像をエッジ領域識別のためのガイド画像として、当該ガイド画像における被写体のエッジに対応する前記対応度マップのエッジを保持した平滑化フィルタ処理を行う平滑化フィルタ処理部と、

前記平滑化フィルタ処理された対応度マップ群の中で最も対応度の高い対応度マップについての視差を、画素毎に選択することにより、画素毎に視差が定められた画像である視差画像を生成する視差画像生成処理部と、

を備えることを特徴とする視差画像生成装置。

【請求項5】

前記平滑化フィルタ処理部は、前記ガイド画像を参照して平滑化フィルタ処理の対象画素との間の色差が所定の閾値以下である周辺画素を抽出し、前記抽出した周辺画素についての前記対応度を用いて平滑化フィルタ処理を行うことを特徴とする請求項3又は請求項4に記載の視差画像生成装置。

【請求項6】

前記赤外線画像及び前記カラー画像は、所定のフレーム周波数で撮影され、

前記対応度マップ群生成部は、フレーム毎に前記対応度マップ群を生成し、

前記平滑化フィルタ処理部は、前記対応度マップ群について、前記平滑化フィルタ処理の対象である当該対応度マップ群に対応するフレームの近傍の複数のフレームについての前記対応度マップ群及び前記ガイド画像を参照して、2次元空間及び時間軸からなる3次元時空間について前記平滑化フィルタ処理を行うことを特徴とする請求項3乃至請求項5の何れか一項に記載の視差画像生成装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、複数のカメラで撮影した画像を用いて視差画像を生成する視差画像生成装置に関する。

【背景技術】

10

20

30

40

50

## 【0002】

撮影位置の異なる2台のカラーカメラで撮影したステレオ画像から、各画像について視差を推定した視差画像を生成する手法は多く存在する。しかし、そのほとんどがカラー画像の局所的な輝度変化を手がかりに、左右の画像における各画素の対応を探索して求めている。このため、人工物に多く見られるように、テクスチャが乏しい領域については、推定精度が低下するという問題がある。

## 【0003】

その問題を克服するために、既知のパターンを照射し、その照射されたパターンを観測して、高速かつ高精度に視差画像を生成する手法がある。

例えば、特許文献1には、ランダムなスペckルパターンを物体の表面に照射して、複数のカメラで撮影した2次元画像を解析することで物体の3次元形状を求める手法が記載されている。

## 【先行技術文献】

## 【特許文献】

## 【0004】

【特許文献1】米国特許第6101269号明細書

## 【発明の概要】

## 【発明が解決しようとする課題】

## 【0005】

特許文献1に記載された手法では、スペckルパターンが照射されることにより、被写体である物体表面にテクスチャが付与され、カメラによって撮影される画像には、当該テクスチャが撮影される。このため、カメラで撮影した画像を、視差画像を生成するために用いるとともに、当該撮影画像を生成した視差画像を用いて異なる視点の画像を生成する際の基準画像として用いる場合には、テクスチャ自体がノイズになるという問題がある。

また、照射されるスペckルパターンは、必ずしも高い密度で付与できるものではないため、付与したテクスチャのみに基づいて視差を推定するには、広範囲の領域を参照する必要がある。このため、特許文献1に記載された手法では、視差が大きく異なる領域の境界付近において、視差の推定精度が低下するという問題がある。

## 【0006】

本発明は、かかる問題に鑑みて創案されたものであり、テクスチャの少ない被写体についても、可視光領域の画像に影響を与えることなくテクスチャを付与して視差画像を精度よく生成できる視差画像生成装置を提供することを課題とする。

## 【課題を解決するための手段】

## 【0007】

前記した課題を解決するために、本発明の一形態に係る視差画像生成装置は、赤外線パターンを投影した被写体について、前記赤外線の波長領域の画像である赤外線画像及び可視光の波長領域の画像である可視光画像を2台のカメラで撮影した赤外線画像の組及び可視光画像の組を用いて、視差画像を生成する視差画像生成装置であって、画像変換部と、対応度マップ群生成部と、視差画像生成処理部と、を備える構成とした。

## 【0008】

かかる構成によれば、視差画像生成装置は、画像変換部によって、前記2台のカメラについてのカメラパラメータを用いて、前記赤外線画像の組を、前記2台のカメラの光軸を平行とした際に得られる画像である平行化赤外線画像の組に変換するとともに、前記2台のカメラについてのカメラパラメータを用いて、前記可視光画像の組を、前記2台のカメラの光軸を平行とした際に得られる画像である平行化可視光画像の組に変換する。

次に、視差画像生成装置は、対応度マップ群生成部によって、基準となる前記平行化赤外線画像である基準赤外線画像と、他方の前記平行化赤外線画像である非基準赤外線画像との間の視差が画像全体において一定値であるとした場合に、前記基準赤外線画像と前記非基準赤外線画像との画素毎の、当該画素を含む所定範囲の画像の一致の度合いを示す指標である対応度と、前記基準赤外線画像と同じ光軸の前記平行化可視光画像である基準可

10

20

30

40

50

視光画像と、他方の前記平行化可視光画像である非基準可視光画像との間の視差が画像全体において前記一定値であるとした場合に、前記基準可視光画像と前記非基準可視光画像との画素毎の、当該画素を含む所定範囲の画像の一致の度合いを示す指標である対応度と、を統合した対応度の2次元配列である対応度マップを、所定の視差範囲について所定間隔の視差毎に求めることで対応度マップ群を生成する。

【0009】

そして、視差画像生成装置は、視差画像生成処理部によって、画素毎に、前記対応度マップ群の中で最も一致の度合いが高い対応度マップについての視差を選択することにより、画素毎に視差が定められた画像である視差画像を生成する。

これによって、視差画像生成装置は、テクスチャの少ない被写体領域について赤外線パターンのテクスチャを付与された赤外線ステレオ画像を用いて精度よく視差を推定するとともに、テクスチャを有する被写体領域について可視光ステレオ画像を用いて精度よく視差を推定する。

【0010】

また、本発明の他の形態に係る視差画像生成装置は、赤外線パターンを投影した被写体について、前記赤外線の波長領域の画像である赤外線画像を2台の赤外線カメラで撮影した赤外線画像の組と、可視光の波長領域の画像である可視光画像を2台の可視光カメラで撮影した可視光画像の組とを用いて、視差画像を生成する視差画像生成装置であって、画像変換部と、対応度マップ群生成部と、視差画像生成処理部と、を備える構成とした。

【0011】

かかる構成によれば、視差画像生成装置は、画像変換部によって、前記2台の赤外線カメラについてのカメラパラメータを用いて、前記赤外線画像の組を、前記2台の赤外線カメラの光軸を平行とした際に得られる画像である平行化赤外線画像の組に変換するとともに、前記2台の可視光カメラ及び前記2台の赤外線カメラについてのカメラパラメータを用いて、前記可視光画像の組を、前記2台の可視光カメラの光軸を前記平行化赤外線画像の組を得るための光軸と同じとした際に得られる画像である平行化可視光画像の組に変換する。

次に、視差画像生成装置は、対応度マップ群生成部によって、基準となる前記平行化赤外線画像である基準赤外線画像と、他方の前記平行化赤外線画像である非基準赤外線画像との間の視差が画像全体において一定値であるとした場合に、前記基準赤外線画像と前記非基準赤外線画像との画素毎の、当該画素を含む所定範囲の画像の一致の度合いを示す指標である対応度と、前記基準赤外線画像と同じ光軸の前記平行化可視光画像である基準可視光画像と、他方の前記平行化可視光画像である非基準可視光画像との間の視差が画像全体において前記一定値であるとした場合に、前記基準可視光画像と前記非基準可視光画像との画素毎の、当該画素を含む所定範囲の画像の一致の度合いを示す指標である対応度と、を統合した対応度の2次元配列である対応度マップを、所定の視差範囲について所定間隔の視差毎に求めることで対応度マップ群を生成する。

【0012】

そして、視差画像生成装置は、視差画像生成処理部によって、画素毎に、前記対応度マップ群の中で最も対応度が高い対応度マップについての視差を選択することにより、画素毎に視差が定められた画像である視差画像を生成する。

これによって、視差画像生成装置は、テクスチャの少ない被写体領域について赤外線パターンのテクスチャを付与された赤外線ステレオ画像を用いて精度よく視差を推定するとともに、テクスチャを有する被写体領域について可視光ステレオ画像を用いて精度よく視差を推定する。

【0013】

本発明の更に他の形態に係る視差画像生成装置は、赤外線パターンを投影した被写体について、前記赤外線の波長領域の画像である赤外線画像を2台の赤外線カメラで撮影した赤外線画像の組と、可視光の波長領域の画像である可視光画像を可視光カメラで撮影した可視光画像とを用いて、視差画像を生成する視差画像生成装置であって、画像変換部と、

10

20

30

40

50

対応度マップ群生成部と、平滑化フィルタ処理部と、視差画像生成処理部と、を備える構成とした。

【0014】

かかる構成によれば、視差画像生成装置は、画像変換部によって、前記2台の赤外線カメラについてのカメラパラメータを用いて、前記赤外線画像の組を、前記赤外線カメラの光軸を平行とした際に得られる画像である平行化赤外線画像の組に変換するとともに、前記可視光カメラ及び基準となる前記赤外線カメラについてのカメラパラメータを用いて、前記可視光画像を、前記可視光カメラの光軸を基準となる前記平行化赤外線画像を得るための光軸と同じとした際に得られる画像である基準可視光画像に変換する。

次に、視差画像生成装置は、対応度マップ群生成部によって、前記基準となる平行化赤外線画像である基準赤外線画像と、他方の前記平行化赤外線画像である非基準赤外線画像との間の視差が画像全体において一定値であるとした場合に、前記基準赤外線画像と前記非基準赤外線画像との画素毎の、当該画素を含む所定範囲の画像の一致の度合いを示す指標である対応度の2次元配列である対応度マップを、所定の視差範囲について所定間隔の視差毎に求めることで対応度マップ群を生成する。

【0015】

次に、視差画像生成装置は、平滑化フィルタ処理部によって、前記対応度マップ群について、前記対応度マップ毎に、前記基準可視光画像をエッジ領域識別のためのガイド画像として、当該ガイド画像における被写体のエッジに対応する前記対応度マップのエッジを保持した平滑化フィルタ処理を行う。

そして、視差画像生成装置は、視差画像生成処理部によって、前記平滑化フィルタ処理された対応度マップ群の中で最も対応度の高い対応度マップについての視差を、画素毎に選択することにより、画素毎に視差が定められた画像である視差画像を生成する。

これによって、視差画像生成装置は、被写体について赤外線パターンによるテクスチャを付与した赤外線ステレオ画像を用いて視差を推定する。また、視差画像生成装置は、可視光画像をガイド画像とするエッジ保持型の平滑化フィルタ処理を行うことによって、視差の推定精度を向上する。

【発明の効果】

【0016】

本発明によれば、赤外線パターンを投影した被写体を撮影した赤外線画像及び可視光画像を用いて視差を推定するため、テクスチャの少ない被写体領域についても視差が精度よく推定された視差画像を生成することができる。また、本発明によれば、赤外線パターンでテクスチャを付与するため、可視光画像には影響を及ぼさない。

【図面の簡単な説明】

【0017】

【図1】本発明の第1実施形態に係る視差画像生成装置を備えた視差画像生成システムの構成を示すブロック図である。

【図2】本発明の各実施形態に係る視差画像生成装置を備えた視差画像生成システムにおけるカメラと赤外線パターン照射機との配置を示す模式的斜視図であり、(a)は第1実施形態及び第2実施形態、(b)は第3実施形態、(c)は第4実施形態の例を示す。

【図3】本発明の第1実施形態に係る視差画像生成システムにおいて、コストボリュームの生成を説明するための図である。

【図4】本発明の第1実施形態に係る視差画像生成システムの動作を示すフローチャートである。

【図5】本発明の第2実施形態に係る視差画像生成システムの構成を示すブロック図である。

【図6】本発明の第2実施形態に係る視差画像生成システムにおいて、コストボリュームの平滑化フィルタ処理を説明するための図である。

【図7】本発明の第2実施形態に係る視差画像生成システムの動作を示すフローチャートである。

10

20

30

40

50

【図 8】本発明の第 3 実施形態に係る視差画像生成システムの構成を示すブロック図である。

【図 9】本発明の第 3 実施形態に係る視差画像生成システムの動作を示すフローチャートである。

【図 10】本発明の第 4 実施形態に係る視差画像生成システムの構成を示すブロック図である。

【図 11】本発明の第 4 実施形態に係る視差画像生成システムの動作を示すフローチャートである。

【図 12】本発明の第 5 実施形態に係る視差画像生成システムの構成を示すブロック図である。

【図 13】本発明の第 5 実施形態に係る視差画像生成システムにおいて、コストボリュームの平滑化フィルタ処理を説明するための図である。

【図 14】本発明の第 5 実施形態に係る視差画像生成システムにおいて、コストボリュームの平滑化フィルタ処理を説明するための図である。

【発明を実施するための形態】

【0018】

以下、本発明の実施形態について、適宜に図面を参照して詳細に説明する。

< 第 1 実施形態 >

[ 視差画像生成システムの構成 ]

まず、図 1 及び図 2 ( a ) を参照して、第 1 実施形態に係る視差画像生成システムの構成について説明する。

図 1 に示すように、本実施形態に係る視差画像生成システム 100 は、視差画像生成装置 1 と、赤外線パターン照射機 2 と、撮影装置 3 と、を備えて構成されている。また、視差画像生成装置 1 は、画像変換部 4 と、コストボリューム生成部 5 と、視差画像生成処理部 6 と、を備えて構成されている。本実施形態において、撮影装置 3 は、赤外線及び RGB ( 赤、緑、青 ) の 4 チャンネルの波長域の画像を同光軸で撮影する 2 台の赤外線カラーカメラ 31, 32 を備えている。また、図 2 ( a ) に示すように、赤外線パターン照射機 2 と、2 台の赤外線カラーカメラ 31, 32 とが、水平方向 ( X 軸方向 ) に並置されている。

【0019】

なお、本明細書においては特に断らない限り、図 2 ( a ) に示すように、水平方向を X 軸方法とし、垂直方向を Y 軸方向とし、撮影装置 3 の内の基準となるカメラ ( 例えば、赤外線カラーカメラ 31 ) の光軸方向、すなわち被写体の奥行方向を Z 軸方向として説明する。

【0020】

本実施形態に係る視差画像生成システム 100 は、赤外線パターン照射機 2 によって赤外線パターンを被写体に投影することにより、被写体に赤外線のテクスチャを付与する。そして、視差画像生成装置 1 によって、赤外線のテクスチャを付与した被写体を撮影した赤外線画像の組と、可視光の画像であるカラー画像の組とを用いて、被写体の奥行方向の距離に対応した指標である視差を示す画像である視差画像を生成するものである。

以下、各構成について順次詳細に説明する。

【0021】

赤外線パターン照射機 2 は、赤外線パターンを照射し、被写体に赤外線パターンを投影することによって被写体の赤外線のテクスチャを付与するためのものである。

照射する赤外線の波長は特に限定されるものではないが、赤外線画像に撮影され、かつカラー画像に撮影されない近赤外領域の波長であることが好ましい。

【0022】

赤外線パターン照射機 2 は、例えば、コヒーレント光を出力する光源と、光拡散器とで構成することができる。コヒーレント光を出力する光源としては、赤外線レーザを用いることができる。また、光拡散器としては、擦りガラスを用いることができる。

10

20

30

40

50

擦りガラスに赤外線レーザー光を照射することにより、擦りガラスの凹凸による赤外線レーザー光の回折光が互いに干渉してスペckルパターンが形成される。このとき、擦りガラスの凹凸はランダムに配置されているため、スペckルパターンもランダムな斑点状のパターンとなる。

また、光拡散器として、表面に凹凸がランダムに形成されたホログラムであってもよい。更にまた、光拡散器は、赤外線レーザー光を透過するものであっても反射するものであってもよい。

#### 【0023】

また、赤外線パターン照射機2は1台に限定されず、複数台で構成し、広範囲に赤外線パターンを照射するようにしてもよい。また、このとき、複数の赤外線パターン照射機2から照射される赤外線パターンが、重なるように照射して、被写体に、より高密度に赤外線パターンが投影されるようにしてもよい。

10

#### 【0024】

また、照射する赤外線パターンは、前記したスペckルパターンのようなランダムドットパターンが好ましいが、これに限定されず、間隔が不規則なストライプパターンや格子パターンなど、他のテクスチャ形状であってもよい。このとき、赤外線パターンは、少なくとも、ステレオ撮影される赤外線画像のエピポーラ線の近傍において、互いの相関が高い類似パターンが発生しなければよい。すなわち、少なくともエピポーラ線の近傍でパターンがランダムであればよい。

また、赤外線パターンは、赤外線カラーカメラ31, 32によって撮影される赤外線画像においてパターンが判別できる範囲で細かい方が好ましい。パターンが細かい方が、赤外線画像を用いたステレオマッチングによる視差の推定の解像度を高くすることができる。

20

#### 【0025】

撮影装置3は、前記したように2台の赤外線カラーカメラ31, 32で構成され、赤外線画像及びRGBからなるカラー画像をそれぞれステレオ撮影するカメラである。本実施形態では、2台の赤外線カラーカメラ31, 32と、赤外線パターン照射機2とが水平方向に並置されている。更に、赤外線パターン照射機2は、2台の赤外線カラーカメラ31, 32の間に配置されている。すなわち、2台の赤外線カラーカメラ31, 32の何れにとっても、赤外線パターン照射機2が近くに配置されていることになる。このため、2台の赤外線カラーカメラ31, 32の何れから見ても、赤外線パターン照射機2から被写体に向かって照射される赤外線パターンが、被写体の一部の影になって投影されない領域、すなわちテクスチャが付与されない領域を低減することができるため好ましい。

30

#### 【0026】

赤外線カラーカメラ31, 32は、それぞれ赤外線画像及びRGBからなるカラー画像を同光軸で撮影するカメラである。本実施形態では、被写体に向かって左側に配置された赤外線カラーカメラ31によって撮影される左視点の赤外線画像及びカラー画像をそれぞれのチャンネル(波長領域)の基準画像とする。また、右側に配置された赤外線カラーカメラ32によって撮影される右視点の赤外線画像及びカラー画像と、それぞれ基準視点である左視点の赤外線画像及びカラー画像とを組み合わせることにより赤外線ステレオ画像及びカラーステレオ画像とする。

40

#### 【0027】

以下、2台のカメラで撮影した赤外線画像の組及びカラー画像の組を、適宜に、それぞれ「赤外線ステレオ画像」及び「カラーステレオ画像」と呼ぶこととする。なお、後記する他の実施形態のように、赤外線カメラとカラーカメラとが別個のカメラである場合も同様である。

赤外線カラーカメラ31, 32は、撮影した赤外線ステレオ画像を視差画像生成装置1の画像平行化処理部41に、撮影したカラーステレオ画像を視差画像生成装置1の画像平行化処理部42に、それぞれ出力する。

#### 【0028】

50

なお、本実施形態では、2台の赤外線カラーカメラ31, 32を用いてステレオ撮影するように構成したが、3台以上の赤外線カラーカメラを用いて被写体を撮影し、例えば、隣接する2台のカメラで撮影した画像組を、それぞれステレオ画像として用いるようにしてもよい。

また、本実施形態では、赤外線カラーカメラ31, 32によって、可視光領域の画像としてRGBの3チャンネルからなるカラー画像を撮影するようにしたが、可視光領域のモノクロ画像、2チャンネルの画像又は4チャンネル以上の画像を撮影するようにしてもよい。

#### 【0029】

また、赤外線カラーカメラ31, 32は、赤外線画像において、赤外線パターン照射機2で照射される赤外線の波長に感度を有し、カラー画像において、当該赤外線の波長に感度を有さないことが好ましい。すなわち、カラー画像において、当該赤外線に波長を有さないことにより、カラー画像に赤外線パターンが撮影されない。これによって、赤外線パターンの照射の影響を受けることなくカラー画像を撮影することができる。

従って、本実施形態に係る視差画像生成装置1によって生成される視差画像を、赤外線カラーカメラ31, 32で撮影されるカラー画像と組み合わせることによって、視差画像を有するカラー画像として用いることができる。

#### 【0030】

視差画像生成装置1は、画像変換部4と、コストボリューム生成部5と、視差画像生成処理部6とを備え、赤外線ステレオ画像と、可視光ステレオ画像と、これらの画像を撮影した赤外線カラーカメラ31, 32のカメラパラメータと、を用いて視差画像を生成する。

#### 【0031】

画像変換部4は、画像平行化処理部41, 42を備え、赤外線カラーカメラ31, 32から入力する赤外線ステレオ画像及びカラーステレオ画像を、それぞれ平行化する。ここで、画像の平行化とは、2つの画像について、それぞれの光学主点を変えずに、互いに光軸を平行とした場合の画像に座標変換することである。

#### 【0032】

画像平行化処理部41は、赤外線カラーカメラ31, 32から赤外線ステレオ画像を入力するとともに、2台の赤外線カラーカメラ31, 32のそれぞれのカメラパラメータを入力し、入力した赤外線ステレオ画像を平行化するものである。なお、カメラパラメータ及びその取得方法については後記する。

画像平行化処理部41は、平行化した赤外線ステレオ画像をコストボリューム生成部5のコストボリューム算出部51に出力する。

#### 【0033】

画像平行化処理部42は、赤外線カラーカメラ31, 32からカラーステレオ画像を入力するとともに、2台の赤外線カラーカメラ31, 32のそれぞれのカメラパラメータを入力し、入力したカラーステレオ画像を平行化するものである。なお、カメラパラメータ及びその取得方法については後記する。

画像平行化処理部42は、平行化したカラーステレオ画像をコストボリューム生成部5のコストボリューム算出部52に出力する。

#### 【0034】

ここで、カメラパラメータについて説明する。

カメラパラメータには、カメラの状態を示す内部パラメータと、カメラの位置関係を示す外部パラメータとがある。

内部パラメータには、カメラレンズの焦点距離、画素ピッチ、画素ピッチの縦横の比であるアスペクト比、光軸と撮像面との交点の画像座標及びカメラレンズによるディストーションについての情報がある。また、外部パラメータには、世界座標系又は基準カメラのカメラ座標系におけるカメラの位置と回転量がある。この内の画素ピッチ及びアスペクト比は、カメラに固有の既知の値として予め取得することができ、他のパラメータは、カメ

10

20

30

40

50

ラキャリブレーションを行うことにより取得することができる。

なお、本実施形態では、外部パラメータとして、各カメラについて、世界座標系におけるカメラの回転量を用いてステレオ画像の平行化処理を行うものとする。

また、同仕様のカメラを複数台用いる場合は、当該複数台のカメラの内部パラメータの平均値を、各カメラに共通の内部パラメータとして用いるようにしてもよい。

【0035】

カメラキャリブレーションは、マーカーやテストチャートなどの既知のパターンをキャリブレーション対象のカメラで撮影し、撮影した画像を解析することで行うことができる。このような画像解析によるカメラキャリブレーションとしては、例えば、参考文献1に記載の手法を用いることができるため、詳細な説明は省略する。

10

なお、本実施形態においては、カメラパラメータは、前記した手法等により予め求められているものとする。

(参考文献1) R. Tsai, "A Versatile Camera Calibration Technique for High-Accuracy 3D Machine Vision Metrology Using Off-the-Shelf TV Cameras and Lenses," Journal of Robotics & Automation, RA-3(4), pp.323-344, (1987)

【0036】

次に、画像平行化処理部41, 42による画像の平行化処理について説明する。

画像の平行化処理とは、光軸が平行でない状態の2台のカメラで撮影した画像を、光軸が平行な状態で撮影される画像に座標変換する処理のことである。

なお、カメラの光軸が平行になるように2台のカメラを設置した場合であっても、カメラキャリブレーションによって取得したカメラパラメータを用いて平行化処理を行うことにより、ステレオ画像をより高精度に平行化することができる。

20

【0037】

具体的には、座標変換処理前の内部パラメータ行列をF、外部パラメータである回転行列をRとし、座標変換処理後の内部パラメータをF<sub>r</sub>、回転行列をR<sub>r</sub>とすると、式(1)を用いて画像の平行化処理を行うことができる。

【0038】

【数1】

$$P_{c_r} = F_r R_r R^{-1} F^{-1} P_c \quad \dots \text{式 (1)}$$

30

但し、

$$P_{c_r} = \begin{pmatrix} u_r \\ v_r \\ 1 \end{pmatrix}, \quad P_c = \begin{pmatrix} u \\ v \\ 1 \end{pmatrix}$$

【0039】

ここで、(u, v)は座標変換処理前の画像座標を示し、(u<sub>r</sub>, v<sub>r</sub>)は座標変換処理後の画像座標を示し、P<sub>c</sub>及びP<sub>c<sub>r</sub></sub>は、それぞれ座標変換処理前及び座標変換処理後の画像座標の斉次座標を示す。

40

また、内部パラメータ行列Fは、式(2)のように表わすことができる。

【0040】

【数2】

$$F = \begin{pmatrix} a \cdot f & 0 & C_u \\ 0 & f & C_v \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad \dots \text{式 (2)}$$

50

## 【0041】

ここで、 $f$  は垂直方向の画素ピッチ単位で表わしたカメラレンズの焦点距離、 $a$  は垂直方向の画素ピッチを水平方向の画素ピッチで除することで算出されるアスペクト比、 $(C_u, C_v)$  は、カメラの光軸と画像面との交点、すなわち撮影される画像の中心画素の画像座標を示す。

## 【0042】

なお、本実施形態では、赤外線ステレオ画像を平行化する画像平行化処理部41とカラーステレオ画像を平行化する画像平行化処理部42とを独立して設けるように設けるようにしたが、1つの画像平行化処理部41（又は42）を設け、タイミングをずらせて、赤外線ステレオ画像及びカラーステレオ画像について順次に平行化処理を行うように構成してもよい。

10

## 【0043】

視差画像生成装置1の構成について説明を続ける。

コストボリューム生成部（対応度マップ群生成部）5は、平行化された赤外線ステレオ画像及びカラーステレオ画像を用いて、視差をある一定の値に仮定した場合に、ステレオ画像を構成する左右の画像の一致の度合を示す画素毎の「コスト（Cost）」（対応度）の2次元配列であるコストマップ（Cost Map）（対応度マップ）を、所定範囲の視差毎に求めたコストボリューム（Cost Volume）（対応度マップ群）を生成するものである。

このために、コストボリューム生成部5は、コストボリューム算出部51、52と、コストボリューム統合部53とを備えて構成されている。

20

コストボリューム生成部5は、生成したコストボリュームを視差画像生成処理部6に出力する。

## 【0044】

コストボリューム算出部51は、画像平行化処理部41から平行化された赤外線ステレオ画像 $J_{r,L}, J_{r,R}$ を入力し、入力した赤外線ステレオ画像 $J_{r,L}, J_{r,R}$ を用いてコストボリュームを算出するものである。コストボリューム算出部51は、算出したコストボリュームをコストボリューム統合部53に出力する。

## 【0045】

また、コストボリューム算出部52は、画像平行化処理部42から平行化されたカラーステレオ画像 $I_{r,L}, I_{r,R}$ を入力し、入力したカラーステレオ画像 $I_{r,L}, I_{r,R}$ を用いてコストボリュームを算出するものである。コストボリューム算出部52は、算出したコストボリュームをコストボリューム統合部53に出力する。

30

## 【0046】

ここで、図3を参照（適宜図1参照）して、コストボリューム算出部51、52におけるコストボリュームの算出方法について説明する。

まず、コストボリューム算出部51について説明する。

コストボリューム算出部51は、平行化された赤外線ステレオ画像 $J_{r,L}, J_{r,R}$ について、画素毎に、当該画素を中心とする所定サイズの画像領域の一致度、すなわち相関を示すコストを算出する。このとき、基準画像である左視点の赤外線画像 $J_{r,L}$ と、他方の画像である右視点の赤外線画像 $J_{r,R}$ との間の視差を、画像全体において一定値 $d$ であると仮定して、画素毎にコストを算出する。

40

なお、本実施形態では、視差 $d$ は、ステレオ画像である左右の画像 $J_{r,L}, J_{r,R}$ における被写体の対応点の画像座標 $(u_r, v_r)$ の差を示すものとする。

## 【0047】

具体的には、図3に示すように、基準画像である左画像 $J_{r,L}$ の画素 $p_L$ を中心とする所定範囲の画像である画像ブロック $B_L$ と、ステレオ画像の他方の画像である右画像 $J_{r,R}$ の対応点 $p_R$ を中心とする同サイズの画像ブロック $B_R$ との一致度、すなわち画像の相関を示す指標としてコストを算出する。なお、本実施形態では、算出されるコストの値が小さいほど、画像ブロック $B_L$ 及び画像ブロック $B_R$ の一致度（相関）が高いものとする。

50

## 【 0 0 4 8 】

ここで、画像ブロック  $B_L$ 、 $B_R$  のサイズは、一辺の長さ（画素数）が  $\tau$  の正方形領域とする。また、左視点の画像  $J_{r,L}$  を基準とした場合は、右視点の画像  $J_{r,R}$  における被写体の対応点は、視差  $d$  だけ左側にシフトすることになる。従って、画像ブロック  $B_L$  の中心画素  $P_L$  の画像座標を  $(u_r, v_r)$  とすると、視差  $d$  を仮定したときの画像ブロック  $B_R$  の中心画素  $p_R$  の画像座標は、視差  $d$  だけ左側にシフトした  $(u_r - d, v_r)$  となる。

本実施形態では、このコストの評価式として、式 (3) を用いる。

## 【 0 0 4 9 】

## 【 数 3 】

$$C_j(u_r, v_r, d) = \sum_{m=-\frac{\tau}{2}}^{\frac{\tau}{2}} \sum_{n=-\frac{\tau}{2}}^{\frac{\tau}{2}} \{J_{r,L}(u_r + m, v_r + n) - J_{r,R}(u_r + m - d, v_r + n)\}^2$$

...式 (3)

10

## 【 0 0 5 0 】

なお、式 (3) において、 $C_j(u_r, v_r, d)$  は、視差を  $d$  であると仮定した場合の、基準画像である平行化された左視点の赤外線画像  $J_{r,L}$  の画像座標  $(u_r, v_r)$  におけるコストを示す。すべての画素についてコスト  $C_j$  を算出することによって、赤外線ステレオ画像について、視差を  $d$  であると仮定したときの、画素毎のコストの 2 次元配列であるコストマップ  $CM_{j,d}$  ( $CM_{j,1} \sim CM_{j,N}$  の何れか) が算出される。

20

## 【 0 0 5 1 】

更に、所定範囲 ( $d = 1 \sim N$ ) の視差  $d$  毎に、前記した手順でコストマップを算出する。これによって、 $N$  個のコストマップ  $CM_{j,1} \sim CM_{j,N}$  からなる配列、すなわちコストの 3 次元配列であるコストボリューム  $CV_j$  が算出される。

ここで、 $N$  は視差  $d$  の取り得る最大値として予め定められた値である。また、本実施形態では、 $d$  は「1」毎に算出するものとして説明するが、例えば「2」などの整数値毎としてもよく、また、「0.5」毎や「2.5」毎のように小数値毎としてもよい。

30

## 【 0 0 5 2 】

また、画像ブロック  $B_L$ 、 $B_R$  のサイズは、撮影された赤外線画像  $J_{r,L}$ 、 $J_{r,R}$  の解像度や赤外線パターン照射機 2 が照射する赤外線パターンの細かさに応じて、適宜に定めることができるが、例えば、7 ~ 19 画素程度とすることができる。また、画像ブロック  $B_L$ 、 $B_R$  の形状は正方形とすることで計算が簡便となるが、これに限定されず、長方形、六角形、菱形などの多角形、円形などであってもよい。

## 【 0 0 5 3 】

また、コストボリューム算出部 5 2 は、前記したコストボリューム算出部 5 1 と同様の手順で、平行化されたカラーステレオ画像  $I_{r,L}$ 、 $I_{r,R}$  について、コストボリューム  $CV_c$  を算出する。

40

なお、コストボリューム算出部 5 2 において、カラーステレオ画像  $I_{r,L}$ 、 $I_{r,R}$  の各画素についてのコストを算出する際の画像ブロック  $B_L$ 、 $B_R$  のサイズ及び / 又は形状は、コストボリューム算出部 5 1 とは異なるようにしてもよい。

## 【 0 0 5 4 】

ここで、カラーステレオ画像  $I_{r,L}$ 、 $I_{r,R}$  について、視差を  $d$  であると仮定し、基準画像であるカラー画像  $I_{r,L}$  の画像座標  $(u_r, v_r)$  におけるコスト  $C_c(u_r, v_r, d)$  は、式 (4) により算出する。

## 【 0 0 5 5 】

【数 4】

$$C_c(u_r, v_r, d) = \sum_{m=-\frac{\tau}{2}}^{\frac{\tau}{2}} \sum_{n=-\frac{\tau}{2}}^{\frac{\tau}{2}} \sum_{k=0}^2 \{I_{r,L}(u_r + m, v_r + n, k) - I_{r,R}(u_r + m - d, v_r + n, k)\}^2$$

...式 (4)

【0056】

なお、式(4)において、kは、カラー画像 $I_{r,L}$ 、 $I_{r,R}$ におけるRGBの各チャンネルを示す。 10

また、カラー画像 $I_{r,L}$ 、 $I_{r,R}$ を用いた式(4)に代えて、グレー画像 $M_{r,L}$ 、 $M_{r,R}$ を用いた式(5)によりコスト $C_c(u_r, v_r, d)$ を算出するにしてもよい。ここで、グレー画像 $M_{r,L}$ 、 $M_{r,R}$ は、各カラー画像 $I_{r,L}$ 、 $I_{r,R}$ から生成した1成分からなる画像である。グレー画像 $M_{r,L}$ 、 $M_{r,R}$ としては、例えば、カラー画像 $I_{r,L}$ 、 $I_{r,R}$ の輝度成分を示す画像を用いることができる。

【0057】

【数 5】

$$C_c(u_r, v_r, d) = \sum_{m=-\frac{\tau}{2}}^{\frac{\tau}{2}} \sum_{n=-\frac{\tau}{2}}^{\frac{\tau}{2}} \{M_{r,L}(u_r + m, v_r + n) - M_{r,R}(u_r + m - d, v_r + n)\}^2$$

...式 (5)

20

【0058】

また、本実施形態では、式(3)~式(5)に示したように、一般的にSSD(Sum of Squared Difference)と呼ばれる評価式を用いてコストを算出するようにしたが、画像の相関を示す他の評価式を用いるようにしてもよい。他の評価式としては、例えば、SAD(Sum of Absolute Difference)、NCC(Normalized Cross Correlation)、ZNCC(Zero-mean Normalized Cross Correlation)、SD(Squared Difference)などを用いることができる。 30

【0059】

なお、本実施形態では、平行化された赤外線ステレオ画像 $J_{r,L}$ 、 $J_{r,R}$ を用いてコストボリュームを算出するコストボリューム算出部51と、平行化されたカラーステレオ画像 $I_{r,L}$ 、 $I_{r,R}$ を用いてコストボリュームを算出するコストボリューム算出部52とを独立して設けるように設けるようにしたが、1つのコストボリューム算出部51(又は52)を設け、タイミングをずらせて、赤外線ステレオ画像 $J_{r,L}$ 、 $J_{r,R}$ 及びカラーステレオ画像 $I_{r,L}$ 、 $I_{r,R}$ を用いて順次にコストボリュームを算出するように構成してもよい。 40

【0060】

図1に戻って、視差画像生成装置1の構成について説明を続ける。

コストボリューム統合部53は、コストボリューム算出部51から赤外線ステレオ画像 $J_{r,L}$ 、 $J_{r,R}$ についてのコストボリュームを、コストボリューム算出部52からカラーステレオ画像 $I_{r,L}$ 、 $I_{r,R}$ についてのコストボリュームをそれぞれ入力し、入力した2つのコストボリュームを1つに統合するものである。コストボリューム統合部53は、統合した1つのコストボリュームを、視差画像生成処理部6に出力する。

【0061】

具体的には、コストボリューム統合部53は、視差d毎に、かつ画素毎に、2つのコストボリュームのコスト $C_j$ 、 $C_c$ を、式(6)によって重み付き加算することで、1つの 50

コストボリュームに統合する。

なお、式(6)において、 $\lambda$  は重み係数であり、 $0 < \lambda < 1$  である。

【0062】

【数6】

$$C(u_r, v_r, d) = \lambda C_j(u_r, v_r, d) + (1 - \lambda) C_c(u_r, v_r, d) \quad \dots \text{式(6)}$$

【0063】

また、2つのコストボリュームの統合方法は、式(6)による各コスト $C_j$ 、 $C_c$ の重み付き加算に限定されず、各コスト $C_j$ 、 $C_c$ の積、各コスト $C_j$ 、 $C_c$ の逆数の和、各コスト $C_j$ 、 $C_c$ の逆数の積など、他の方法であってもよい。

10

【0064】

また、本実施形態では、コストボリューム算出部51、52によって、まず2つのコストボリュームを生成し、その後2つのコストボリュームを1つに統合するようにしたが、これに限定されるものではない。例えば、赤外線ステレオ画像及びカラーステレオ画像についての同じ視差のコストマップを算出する毎に、1つのコストマップに統合するようにしてもよく、赤外線ステレオ画像及びカラーステレオ画像についての同じ視差かつ同じ画素のコストを算出する毎に、1つのコストに統合するようにしてもよい。

【0065】

視差画像生成処理部6は、コストボリューム統合部53から1つに統合されたコストボリュームを入力し、入力したコストボリュームを用いて画素毎に視差を定めた視差画像を生成するものである。また、視差画像生成処理部6は、生成した視差画像を、視差画像生成装置1の出力として外部に出力する。

20

【0066】

視差画像生成処理部6は、具体的には、コストボリュームにおいて、画素毎に、コストが最小となるコストマップに仮定した視差 $d$ を、当該画素における視差として選択する。すなわち、赤外線カラーカメラ31、32で撮影されたステレオ画像の各画素について、各画素を中心画素とする所定サイズの画像ブロック $B_L$ 、 $B_R$ (図3参照)の一致の度合いが最も高くなるように(コストが最小となるように)視差が定められる。

すべての画素について、同じ手順によって視差 $d$ を選択することにより、視差画像を生成することができる。

30

【0067】

[視差画像生成システムの動作]

次に、図4を参照(適宜図1参照)して、第1実施形態に係る視差画像生成システム100の動作について説明する。

図4に示すように、まず、視差画像生成システム100は、赤外線パターン照射機2によって、ランダムドットパターンなどの赤外線パターンを照射して、被写体に赤外線画像で識別可能なテクスチャを付与する(ステップS11)。

【0068】

次に、視差画像生成システム100は、2台の赤外線カラーカメラ31、32によって、赤外線ステレオ画像及びカラーステレオ画像を撮影する(ステップS12)。

40

次に、視差画像生成システム100は、画像平行化処理部41によって、ステップS12で撮影した赤外線ステレオ画像を平行化処理する(ステップS13)。また、視差画像生成システム100は、画像平行化処理部42によって、ステップS12で撮影したカラーステレオ画像を平行化処理する(ステップS14)。なお、ステップS13とステップS14とは、何れを先に実行してもよく、並行して行うようにしてもよい。

【0069】

次に、視差画像生成システム100は、コストボリューム算出部51によって、ステップS13で平行化した赤外線ステレオ画像について、コストボリュームを算出する(ステップS15)。また、視差画像生成システム100は、コストボリューム算出部52によ

50

って、ステップ S 1 4 で平行化したカラーステレオ画像について、コストボリュームを算出する（ステップ S 1 6）。なお、ステップ S 1 5 とステップ S 1 6 とは、何れを先に実行してもよく、並行して行うようにしてもよい。

【 0 0 7 0 】

次に、視差画像生成システム 1 0 0 は、コストボリューム統合部 5 3 によって、ステップ S 1 5 で算出した赤外線ステレオ画像についてのコストボリュームと、ステップ S 1 6 で算出したカラーステレオ画像についてのコストボリュームとを、式 ( 6 ) を用いて、視差毎及び画素毎にコストを重み付き加算することで、1つのコストボリュームに統合する（ステップ S 1 7）。

【 0 0 7 1 】

そして、視差画像生成システム 1 0 0 は、視差画像生成処理部 6 によって、ステップ S 1 7 で統合したコストボリュームについて、画素毎に最小コストを与える視差を選択することで、視差画像を生成する（ステップ S 1 8）。

以上の手順により、視差画像生成システム 1 0 0 は、視差画像を生成することができる。

【 0 0 7 2 】

本実施形態では、前記したように赤外線ステレオ画像を用いて算出したコストボリュームと、カラー画像を用いて算出したコストボリュームとを統合したコストボリュームを用いて視差を推定する。このため、テクスチャを有する被写体については、主として本来のテクスチャが撮影されたカラーステレオ画像に基づくコストボリュームにより精度よく視差を推定することができる。また、本来テクスチャを有さない被写体については、主として赤外線パターンによりテクスチャを付与された画像が撮影された赤外線ステレオ画像に基づくコストボリュームにより精度よく視差を推定することができる。

すなわち、赤外線ステレオ画像とカラーステレオ画像とを用いることにより、互いに視差推定精度の低い領域を補完することができるため、高い精度の視差画像を生成することができる。

【 0 0 7 3 】

< 第 2 実施形態 >

[ 視差画像生成システムの構成 ]

次に、図 5 を参照して、本発明の第 2 実施形態に係る視差画像生成システムについて説明する。

図 5 に示すように、第 2 実施形態に係る視差画像生成システム 1 0 0 A は、図 1 に示した第 1 実施形態に係る視差画像生成システム 1 0 0 に対して、コストボリューム生成部 5 を備えた視差画像生成装置 1 に代えて、コストボリューム生成部 5 A を備えた視差画像生成装置 1 A を備えることが異なる。

また、第 2 実施形態の視差画像生成装置 1 A において、コストボリューム生成部 5 A は、コストボリュームフィルタ処理部 5 4 を更に備え、コストボリューム統合部 5 3 が統合したコストボリュームについて、コストマップ毎に、エッジ保持型の平滑化フィルタ処理を行うことにより、被写体の輪郭付近の視差推定精度の向上を図るものである。

【 0 0 7 4 】

なお、第 1 実施形態に係る視差画像生成システム 1 0 0 と同様の構成要素については、同じ符号を付して説明は適宜に省略する。

以下、主として視差画像生成装置 1 A のコストボリュームフィルタ処理部 5 4 について説明する。

【 0 0 7 5 】

視差画像生成装置 1 A は、画像変換部 4 と、コストボリューム生成部 5 A と、視差画像生成処理部 6 とを備え、赤外線ステレオ画像と、可視光ステレオ画像と、これらの画像を撮影した赤外線カラーカメラ 3 1 , 3 2 のカメラパラメータと、を用いて視差画像を生成する。

また、コストボリューム生成部 5 A は、コストボリューム算出部 5 1 , 5 2 と、コスト

10

20

30

40

50

ボリューム統合部 5 3 と、コストボリュームフィルタ処理部 5 4 とを備える。

【 0 0 7 6 】

コストボリュームフィルタ処理部（平滑化フィルタ処理部）5 4 は、コストボリューム統合部 5 3 から統合されたコストボリュームを入力するとともに、画像平行化処理部 4 2 から平行化されたカラーステレオ画像の内の基準画像であるカラー画像  $I_{r, l}$  を入力し、入力したコストボリュームについて、コストマップ毎に、カラー画像  $I_{r, l}$  をガイド画像としてエッジ保持型の平滑化フィルタ処理を行う。

コストボリュームフィルタ処理部 5 4 は、平滑化フィルタ処理したコストボリュームを視差画像生成処理部 6 に出力する。

【 0 0 7 7 】

コストボリュームフィルタ処理部 5 4 によるコストマップ毎の平滑化フィルタ処理は、前記したように、被写体の輪郭付近の視差推定精度の向上を図るためのものである。特に、本来テクスチャを有さない被写体については、主として赤外線ステレオ画像に基づいて視差を推定することとなる。ここで、赤外線パターン照射機 2 により付与される赤外線パターンのテクスチャは、必ずしも高密度のテクスチャではないため、エッジ保持型の平滑化フィルタ処理を行うことにより、本来テクスチャを有さない被写体の輪郭付近の視差推定精度の向上に特に有用である。

【 0 0 7 8 】

エッジ保持型の平滑化フィルタ処理としては、例えば、参考文献 2 ~ 参考文献 4 に記載された手法を用いることができる。

（参考文献 2）J. Lu, K. Shi, D. Min, L. Lin and M. Do, “Cross-Based Local Multipoint Filtering”, IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), pp. 430-437, (2012)

（参考文献 3）K. He, J. Sun, X. Tang, “Guided Image Filtering,” In Proc. of ECVC Part I, Pages 1-14, (2010)

（参考文献 4）G. Petschnigg, M. Agrawala, H. Hoppe, R. Szeliski, M. Cohen, K. Toyama, “Digital Photography with Flash and No-Flash Image Pairs,” In Proc. of SIGGRAPH, (2004)

【 0 0 7 9 】

以下、本実施形態におけるコストボリュームフィルタ処理部 5 4 が、参考文献 2 に記載された CLMF (Cross-based Local Multipoint Filter) によってエッジ保持型の平滑化フィルタ処理を行う場合を例として説明する。

本実施形態において、CLMF によるコストボリュームの平滑化フィルタ処理は、各コストマップをコストを画素値とする 2 次元の画像として扱い、コストマップ毎に 2 次元空間フィルタ処理を行うものである。また、各画素についてのコストを、当該画素の周辺画素についてのコストを参照して平滑化フィルタ処理する際に、基準視点についてのカラー画像を被写体のエッジ領域識別のためのガイド画像として、当該平滑化フィルタ処理の対象画素と、色が類似する（色差が所定の閾値以下の）周辺画素についてのコストのみを抽出して平滑化フィルタ処理に用いるものである。視差が大きく異なる領域は、被写体のエッジ部、すなわち別個の被写体が隣接して撮影された領域に相当し、互いに色も大きく異なることが多いという性質を利用して、平滑化の際にエッジ（輪郭）を保持するための参考情報とするものである。平滑化フィルタ処理に類似色の画素のみを用いることで、特に評価式として SSD を用いてコストを算出してコストボリュームを生成する際に発生する「領域が太る現象」を抑制する効果がある。

【 0 0 8 0 】

ここで、図 6 を参照して、CLMF による平滑化フィルタ処理について説明する。

図 6 において、矩形の画像領域であるカーネル  $W_p$  は、中心画素  $p$  についてのコストを平滑化フィルタ処理する際に参照する周辺画素の最大領域である。このカーネル  $W_p$  から、中心画素  $p$  と色が類似する画像領域としてカーネル  $W_p$  を抽出する。

【 0 0 8 1 】

10

20

30

40

50

カーネル  $W_p$  を抽出するために、まず、画素  $p$  から垂直方向（ $v$  軸方向）に配列する画素列について、画素  $p$  から上下方向のそれぞれについて順次に、画素  $p$  と色が類似するかどうかを判定する。このとき、カラー画像  $I_r, I_b$  を判定用のガイド画像として用い、当該ガイド画像における画素  $p$  と、各周辺画素との色差が所定の閾値以下の場合に色が類似すると判定する。

画素  $p$  から色が類似する画素を上下方向に順次に判定し、カーネル  $W_p$  の範囲内で色が類似しない画素が検出されるまで判定を続ける。そして、最後に色が類似する画素を、カーネル  $W_p$  の上端及び下端とする。

【0082】

次に、前記した上端から下端の範囲内で、画素  $p$  の垂直方向に配列する画素  $q$ （図6において、実線の矢印線で示した範囲の各画素）から、左右方向（ $u$  軸方向）に配列する画素について順次に、画素  $q$  と色が類似するかどうかを判定する。画素  $q$  から色が類似する画素を左右方向に順次に判定し、カーネル  $W_p$  の範囲内で色が類似しない画素が検出されるまで判定を続ける。そして、最後に色が類似する画素を、当該画素  $q$  の位置におけるカーネル  $W_p$  の左端及び右端とする。

これを、すべての画素  $q$  について行うことで、図6に破線で示したように、カーネル  $W_p$  を抽出することができる。

【0083】

また、CLMFでは、フィルタ処理後の画像  $S$  は、ガイド画像  $G$  と線形の関係にあると仮定する。そこで、係数  $a, b$  を用いて、フィルタ処理後の画像  $S$  を、式(7)のように表わすこととする。

【0084】

【数7】

$$S_p^k = a_k G_p + b_k, \quad \forall k \in \Omega_p \quad \dots \text{式(7)}$$

【0085】

式(7)において、添字  $k$  はカーネル  $W_p$  に属する各画素を示し、係数  $a_k, b_k$  は、式(8)によって算出される。

【0086】

【数8】

$$a_k = \frac{1}{|\Omega_k|} \frac{\sum_{s \in \Omega_k} G_s Z_s - \mu_k Z'_k}{\sigma_k^2 + \varepsilon}, \quad b_k = Z'_k - a_k \mu_k \quad \dots \text{式(8)}$$

【0087】

式(8)において、 $\Omega_k$  は画素  $k$  を中心画素として、前記した  $W_p$  を抽出するのと同様の手順で抽出されるカーネル（画像領域）を示す。また、 $\mu_k, \sigma_k^2, Z'_k$  及び  $\varepsilon$  は、それぞれカーネル  $W_k$  におけるガイド画像  $G$  の平均、分散、カーネル  $W_k$  におけるフィルタ処理の対象画像であるコストマップの平均、及び正則化項を示す。また、 $|\Omega_k|$  は、カーネル  $W_k$  に属する画素数を示す。

【0088】

また、フィルタ処理後の画像  $S_p$ （すなわち、画素  $p$  におけるフィルタ処理後のコスト）は、式(9)のように近似することができる。

【0089】

10

20

30

40

【数 9】

$$S_p \approx \frac{\sum_{s \in \Omega_p} |\Omega_k| S_p^k}{\sum_{k \in \Omega_p} |\Omega_k|} \quad \dots \text{式 (9)}$$

【0090】

コストボリュームフィルタ処理部 54 は、以上に手順によって、コストボリュームのすべてのコストマップについて、エッジ保持型の平滑化フィルタ処理を行う。

10

【0091】

図 5 に戻って、視差画像生成装置 1A の構成について説明を続ける。

視差画像生成処理部 6 は、コストボリュームフィルタ処理部 54 から平滑化フィルタ処理されたコストボリュームを入力し、入力したコストボリュームを用いて画素毎に視差を定めた視差画像を生成するものである。また、視差画像生成処理部 6 は生成した視差画像を、視差画像生成装置 1A の出力として外部に出力する。

視差画像生成処理部 6 による視差画像生成処理の手順は、第 1 実施形態における視差画像生成処理部 6 と同様であるから、説明は省略する。

【0092】

20

[ 視差画像生成システムの動作 ]

次に、図 7 を参照（適宜図 5 参照）して、第 2 実施形態に係る視差画像生成システム 100A の動作について説明する。

第 2 実施形態に係る視差画像生成システム 100A による視差画像生成において、赤外線パターンを照射するステップ S21 からコストボリュームを統合するステップ S27 までは、図 4 に示した第 1 実施形態に係る視差画像生成システム 100 による視差画像生成におけるステップ S11 からステップ S17 までと同様であるから、説明は省略する。

【0093】

ステップ S27 の後、視差画像生成システム 100A は、コストボリュームフィルタ処理部 54 によって、ステップ S27 で統合されたコストボリュームについて、ステップ S24 で平行化した基準視点（左視点）についてのカラー画像をガイド画像として、コストマップ毎にエッジ保持型の平滑化フィルタ処理を行う（ステップ S28）。

30

【0094】

そして、視差画像生成システム 100A は、視差画像生成処理部 6 によって、ステップ S28 で平滑化フィルタ処理したコストボリュームについて、画素毎に最小コストを与える視差を選択することで、視差画像を生成する（ステップ S29）。

以上の手順により、視差画像生成システム 100A は、視差画像を生成することができる。

【0095】

本実施形態では、視差画像生成処理（ステップ S29）を行う前に、コストボリュームに対してエッジ保持型の平滑化フィルタ処理を行うため、特に被写体の輪郭近傍での視差推定精度を向上することができる。

40

【0096】

< 第 3 実施形態 >

[ 視差画像生成システムの構成 ]

次に、図 8 及び図 2 (b) を参照して、本発明の第 3 実施形態に係る視差画像生成システムについて説明する。

図 8 に示すように、第 3 実施形態に係る視差画像生成システム 100B は、図 5 に示した第 2 実施形態に係る視差画像生成システム 100A に対して、撮影装置 3 に代えて撮影装置 3B を備えることと、視差画像生成装置 1A に代えて視差画像生成装置 1B を備える

50

こととが異なる。また、視差画像生成装置 1 B は、視差画像生成装置 1 A に対して、画像変換部 4 に代えて画像変換部 4 B を備えることと、コストボリューム生成部 5 A に代えてコストボリューム生成部 5 B を備えることとが異なる。

【0097】

第 3 実施形態に係る視差画像生成システム 100 B は、撮影装置 3 B として、第 1 実施形態及び第 2 実施形態の撮影装置 3 における 2 台の赤外線カラーカメラ 3 1, 3 2 に代えて、赤外線ステレオ画像を撮影するための 2 台の赤外線カメラ 3 3, 3 4 と、カラーステレオ画像を撮影するための 2 台のカラーカメラ 3 5, 3 6 とを備えている。同光軸で赤外線画像とカラー画像とを撮影できるが高価な赤外線カラーカメラ 3 1, 3 2 の代わりに、赤外線画像を撮影するカメラとカラー画像を撮影するカメラとを別個に備えることにより、安価に撮影装置 3 B を構成することができる。

10

【0098】

また、本実施形態では、赤外線画像の撮影とカラー画像の撮影とを光軸の異なる別個のカメラで撮影するため、カラーカメラ 3 5 で撮影したカラー画像とカラーカメラ 3 6 で撮影したカラー画像との光軸を平行化することに加えて、それぞれのカラー画像に対応する赤外線カメラ 3 3 で撮影した赤外線画像及び赤外線カメラ 3 4 で撮影した赤外線画像と光学主点を合わせるように、画像座標を変換する必要がある。そのために、画像平行化処理部 4 2 の代わりに、画像座標変換処理部 4 3 と、画像座標変換処理部 4 4 とを備え、画像座標変換処理部 4 3 によって、カラーカメラ 3 5 で撮影したカラー画像を、赤外線カメラ 3 3 で撮影して平行化した基準画像となる赤外線画像と光軸を合わせるとともに、画像座標変換処理部 4 4 によって、カラーカメラ 3 6 で撮影したカラー画像を、赤外線カメラ 3 4 で撮影して平行化した他方の赤外線画像と光軸を合わせるものである。

20

【0099】

画像座標変換処理部 4 3 及び画像座標変換処理部 4 4 から出力されるカラー画像の組は、平行化され、かつ赤外線ステレオ画像と光軸が一致するように座標変換されたカラーステレオ画像である。但し、平行化及び光学主点の移動を伴う画像座標変換処理は、被写体の奥行方向の距離（もしくは変換先の赤外線ステレオ画像上での視差）に依存するため、カラーカメラ 3 5 及びカラーカメラ 3 6 で撮影されたカラー画像の画像座標変換は、赤外線ステレオ画像上での視差を一律に仮定し、仮定した視差毎に行う必要がある。

本実施形態では、視差毎に画像座標変換されたカラー画像を用いてコストボリュームを算出するために、第 1 実施形態及び第 2 実施形態におけるコストボリューム算出部 5 2 の代わりに、コストボリューム算出部 5 2 B を備えるものである。

30

【0100】

他の構成については、第 2 実施形態に係る視差画像生成システム 100 A と同様であるから、同じ構成要素については、同じ符号を付して説明は適宜に省略する。

以下、主として第 2 実施形態と異なる構成について説明する。

【0101】

撮影装置 3 B は、前記したように、2 台の赤外線カメラ 3 3, 3 4 と、2 台のカラーカメラ 3 5, 3 6 とを備えている。

図 2 (b) に示すように、2 台の赤外線カメラ 3 3, 3 4 は、赤外線パターン照射機 2 を挟んで、水平方向 (X 軸方向) に並置されている。また、2 台のカラーカメラ 3 5, 3 6 は、それぞれ X 軸方向に対応する視点の画像を撮影する赤外線カメラ 3 3, 3 4 の上方方向 (Y 軸方向) に配置されている。赤外線カメラ 3 3, 3 4 及びカラーカメラ 3 5, 3 6 は、互いに略光軸が平行となるように配置されることが好ましい。また、赤外線カメラ 3 3 及びカラーカメラ 3 5 と、赤外線カメラ 3 4 及びカラーカメラ 3 6 とは、それぞれできる限り近い視点から撮影するように近傍に配置することが好ましい。これによって、画像平行化処理部 4 1 及び画像座標変換処理部 4 3, 4 4 によって座標変換される変換量が小さくなるため、精度よく光軸を合わせた画像を算出することができる。

40

【0102】

また、カラーカメラ 3 5, 3 6 は、赤外線パターン照射機 2 が照射する波長の赤外線を

50

カットする赤外カットフィルタを備えることが好ましい。これによって、赤外線パターン照射の影響を受けることなくカラー画像を撮影することができる。

更にまた、本実施形態では、カラーカメラ35, 36によって、可視光領域の画像としてRGBの3チャンネルからなるカラー画像を撮影するようにしたが、可視光領域のモノクロ画像、2チャンネルの画像又は4チャンネル以上の画像を撮影するようにしてもよい。

#### 【0103】

赤外線カメラ33, 34は、撮影した赤外線ステレオ画像を画像平行化処理部41に出力する。また、カラーカメラ35は、撮影したカラー画像を画像座標変換処理部43に出力し、カラーカメラ36は、撮影したカラー画像を画像座標変換処理部44に出力する。

10

#### 【0104】

視差画像生成装置1Bは、画像変換部4Bと、コストボリューム生成部5Bと、視差画像生成処理部6とを備え、赤外線ステレオ画像及び可視光ステレオ画像と、これらの画像を撮影した赤外線カメラ33, 34及びカラーカメラ35, 36のカメラパラメータと、を用いて視差画像を生成する。

#### 【0105】

画像変換部4Bは、画像平行化処理部41と、画像座標変換処理部43, 44とを備えて構成されている。

画像平行化処理部41は、第2実施形態と同様であるから、説明は省略する。

画像座標変換処理部43は、カラーカメラ35からカラー画像を入力するとともに、カラーカメラ35についてのカメラパラメータと、赤外線カメラ33についてのカメラパラメータとを入力する。画像座標変換処理部43は、入力したカラー画像を、カラーカメラ35のカメラパラメータと赤外線カメラ33のカメラパラメータとを用いて、画像平行化処理部41によって平行化される赤外線カメラ33により撮影された赤外線画像と同じ光軸の画像座標系に変換する。画像座標変換処理部43は、画像座標を変換したカラー画像を、基準視点である左視点のカラー画像としてコストボリューム算出部52Bに出力する。更に、画像座標変換処理部43は、画像座標を変換したカラー画像を、平滑化フィルタ処理のガイド画像としてコストボリュームフィルタ処理部54に出力する。

20

#### 【0106】

なお、各カメラパラメータの取得方法は、前記した第1実施形態と同様であるから、詳細な説明は省略する。なお、本実施形態では、赤外線カメラ33とカラーカメラ35とは光軸が異なるため、それぞれカメラについてカメラキャリブレーションを行ってカメラパラメータを取得するものとする。ここで、赤外線カメラ33については、撮影した赤外線画像をモノクロ画像として取り扱うことにより、画像解析手法を用いた従来カメラキャリブレーションによりカメラパラメータを取得することができる。

30

また、赤外線カメラ34及びカラーカメラ36のカメラパラメータについても同様である。

#### 【0107】

画像座標変換処理部44は、カラーカメラ36からカラー画像を入力するとともに、カラーカメラ36についてのカメラパラメータと、赤外線カメラ34についてのカメラパラメータとを入力する。画像座標変換処理部44は、入力したカラー画像を、カラーカメラ36のカメラパラメータと赤外線カメラ34のカメラパラメータとを用いて、画像平行化処理部41によって平行化される赤外線カメラ34により撮影された赤外線画像と同じ光軸の画像座標系に変換する。画像座標変換処理部44は、画像座標を変換したカラー画像を、右視点のカラー画像としてコストボリューム算出部52Bに出力する。

40

#### 【0108】

ここで、画像座標変換処理部43による画像座標変換処理について説明する。

画像座標変換処理部43は、カラーカメラ35によって撮影されたカラー画像を、赤外線カメラ33によって撮影された赤外線画像と同じ座標系で扱えるようにカラー画像を座標変換する。ここで、変換式は、視差dに依存するため、視差d毎に、すべての視差dに

50

対応するカラー画像を算出する。

なお、すべての視差  $d$  とは、第 1 実施形態についての説明において、コストマップを算出するための視差  $d$  の範囲及び間隔と同じである。すなわち、視差  $d$  は、最小値「0」から視差画像生成装置 1 B で生成する視差画像において視差として取り得る最大の値「N」までを、所定の間隔（例えば、「1」）毎に想定されるものとする。

【0109】

基準視点である左視点についての平行化した赤外線画像の位置  $p_r$  の画像座標  $(u_r, v_r)$  における視差を  $d$  とすると、位置  $p_r$  の齊次座標は、式 (10) によって算出することができる。

【0110】

【数10】

$$p_r = z_r(u_r, v_r, 1)^T = \frac{z_r}{f_r}(u_r - C_u, v_r - C_v, 1)^T, \quad z_r = B_r f_r / d \quad \dots \text{式 (10)}$$

【0111】

式 (10) において、 $f$  は 2 台の赤外線カメラ 33, 34 のカメラレンズの画素ピッチを単位とする焦点距離を示し、 $B$  は 2 台の赤外線カメラ 33, 34 の光学主点間の距離を示し、 $(C_u, C_v)$  は、赤外線画像の中心点の画像座標を示す。各パラメータにおいて、添字  $r$  は平行化画像についてのパラメータであることを示す。また、右肩の「T」は、

転置行列を示す。

【0112】

ここで、内部パラメータ行列を  $F$ 、回転行列を  $R$ 、並進ベクトルを  $T$  とすると、赤外線画像において位置  $p_r$  に撮影された被写体上の点  $P$  の世界座標は、式 (11) のように表わされる。更に、当該被写体上の点  $P$  に対応するカラー画像中の画像座標  $(u_c, v_c)$  は、式 (12) のように表わされる。なお、式 (12) において、添字  $c$  は、カラー画像についてのパラメータであることを示す。

【0113】

【数11】

$$P = R_r^{-1} F_r^{-1} p_r - R_r^{-1} T_r \quad \dots \text{式 (11)}$$

$$z_c(u_c, v_c, 1)^T = F_c R_c P + F_c T_c \quad \dots \text{式 (12)}$$

【0114】

平行化された基準視点における赤外線画像の各画素について、カラー画像において対応する画素の画像座標  $(u_c, v_c)$  を式 (11) 及び式 (12) を用いて算出することにより、視差が  $d$  であると仮定したときのカラー画像に変換することができる。

画像座標変換処理部 43 は、想定するすべての視差  $d$  について、カラー画像を変換する。

【0115】

画像座標変換処理部 44 は、左視点の赤外線画像及びカラー画像とこれらの画像を撮影したカメラのカメラパラメータとに代えて、右視点の赤外線画像及びカラー画像とこれらの画像を撮影したカメラのカメラパラメータとを用いて、同様の手順で、想定するすべての視差  $d$  について、平行化された右視点の赤外線画像の座標面に変換したカラー画像を算出する。

【0116】

コストボリューム生成部 5B は、コストボリューム算出部 51, 52B と、コストボリューム統合部 53 と、コストボリュームフィルタ処理部 54 とを備える。

【0117】

コストボリューム算出部 52B は、画像座標変換処理部 43 から左視点のカラー画像を

10

20

30

40

50

、画像座標変換処理部 4 4 から右視点のカラー画像を、それぞれ入力し、これらのカラー画像の組からなるカラーステレオ画像について、視差  $d$  毎にコストマップを算出することで、これらのコストマップの配列であるコストボリュームを算出する。

コストボリューム算出部 5 2 B は、算出したカラーステレオ画像についてのコストボリュームを、コストボリューム統合部 5 3 に出力する。

【 0 1 1 8 】

なお、コストボリューム算出部 5 2 B に入力されるカラーステレオ画像は、視差  $d$  毎に生成されているため、コストマップを算出する際には、対応する視差  $d$  のカラーステレオ画像を用いて各画素についてのコストを算出する。

【 0 1 1 9 】

コストボリュームフィルタ処理部 5 4 は、コストボリューム統合部 5 3 から統合されたコストボリュームを入力するとともに、画像座標変換処理部 4 3 から平行化された基準視点の赤外線画像と同じ光軸の画像に変換されたカラー画像をガイド画像として入力する。そして、コストボリュームフィルタ処理部 5 4 は、前記した第 2 実施形態におけるコストボリュームフィルタ処理部 5 4 と同様にして、コストボリュームにエッジ保持型の平滑化フィルタ処理を施し、フィルタ処理を施したコストボリュームを視差画像生成処理部 6 に出力する。

【 0 1 2 0 】

その他の構成要素は、第 2 実施形態に係る視差画像生成システム 1 0 0 と同様であるから、説明は省略する。

なお、本実施形態において、第 1 実施形態と同様に、視差画像生成装置 1 B が、コストボリュームフィルタ処理部 5 4 を備えずに、コストボリューム統合部 5 3 によって算出したコストボリュームを用いて、視差画像生成処理部 6 によって視差画像を生成するように構成してもよい。

【 0 1 2 1 】

[ 視差画像生成システムの動作 ]

次に、図 9 を参照（適宜図 8 参照）して、第 3 実施形態に係る視差画像生成システム 1 0 0 B の動作について説明する。

赤外線パターンを照射するステップ S 3 1 は、第 1 実施形態のステップ S 1 1（図 4 参照）と同様であるから、説明は省略する。

【 0 1 2 2 】

次に、視差画像生成システム 1 0 0 B は、2 台の赤外線カメラ 3 3 , 3 4 によって赤外線ステレオ画像を撮影するとともに、2 台のカラーカメラ 3 5 , 3 6 によってカラーステレオ画像を撮影する（ステップ S 3 2）。

次に、視差画像生成システム 1 0 0 B は、画像平行化処理部 4 1 によって、ステップ S 3 2 で撮影した赤外線ステレオ画像を平行化処理する（ステップ S 3 3）。また、視差画像生成システム 1 0 0 B は、画像座標変換処理部 4 3 によって、ステップ S 3 2 でカラーカメラ 3 5 により撮影したカラー画像を、ステップ S 3 3 で平行化した基準視点（左視点）の赤外線画像の光軸と合うように画像座標の変換処理を行うとともに、画像座標変換処理部 4 4 によって、ステップ S 3 2 でカラーカメラ 3 6 により撮影したカラー画像を、ステップ S 3 3 で平行化した右視点の赤外線画像の光軸と合うように画像座標の変換処理を行う（ステップ S 3 4）。なお、ステップ S 3 3 とステップ S 3 4 とは、何れを先に実行してもよく、並行して行うようにしてもよい。

【 0 1 2 3 】

次に、視差画像生成システム 1 0 0 B は、コストボリューム算出部 5 1 によって、ステップ S 3 3 で平行化した赤外線ステレオ画像について、コストボリュームを算出する（ステップ S 3 5）。また、視差画像生成システム 1 0 0 B は、コストボリューム算出部 5 2 B によって、ステップ S 3 4 で画像座標を変換したカラーステレオ画像について、コストボリュームを算出する（ステップ S 3 6）。なお、ステップ S 3 5 とステップ S 3 6 とは、何れを先に実行してもよく、並行して行うようにしてもよい。

10

20

30

40

50

## 【 0 1 2 4 】

次に、視差画像生成システム 1 0 0 B は、コストボリューム統合部 5 3 によって、ステップ S 3 5 で算出した赤外線ステレオ画像についてのコストボリュームと、ステップ S 3 6 で算出したカラーステレオ画像についてのコストボリュームとを、式 ( 6 ) を用いて、視差毎及び画素毎にコストを重み付き加算することで、1つのコストボリュームに統合する (ステップ S 3 7)。

## 【 0 1 2 5 】

次に、視差画像生成システム 1 0 0 B は、コストボリュームフィルタ処理部 5 4 によって、ステップ S 3 7 で統合されたコストボリュームについて、ステップ S 3 4 で画像座標変換した基準視点 (左視点) についてのカラー画像をガイド画像として、視差 d 毎に、すなわちコストマップ毎にエッジ保持型の平滑化フィルタ処理を行う (ステップ S 3 8)。

10

## 【 0 1 2 6 】

そして、視差画像生成システム 1 0 0 B は、視差画像生成処理部 6 によって、ステップ S 3 8 で平滑化フィルタ処理したコストボリュームについて、画素毎に最小コストを与える視差を選択することで、視差画像を生成する (ステップ S 3 9)。

以上の手順により、視差画像生成システム 1 0 0 B は、視差画像を生成することができる。

## 【 0 1 2 7 】

本実施形態では、画像座標変換処理部 4 3 , 4 4 によって、カラーカメラ 3 5 , 3 6 で撮影したカラーステレオ画像を、平行化した赤外線ステレオ画像の光軸と一致するように画像座標を変換するため、安価な赤外線カメラ及びカラーカメラを用いて撮影した赤外線画像及びカラー画像から視差画像を生成することができる。

20

## 【 0 1 2 8 】

< 第 4 実施形態 >

## [ 視差画像生成システムの構成 ]

次に、図 1 0 及び図 2 ( c ) を参照して、本発明の第 4 実施形態に係る視差画像生成システムについて説明する。

図 1 0 に示すように、第 4 実施形態に係る視差画像生成システム 1 0 0 C は、図 8 に示した第 3 実施形態に係る視差画像生成システム 1 0 0 B に対して、撮影装置 3 B に代えて撮影装置 3 C を備えることと、視差画像生成装置 1 B に代えて視差画像生成装置 1 C を備えることが異なる。また、視差画像生成装置 1 C は、視差画像生成装置 1 B に対して、画像変換部 4 B に代えて画像変換部 4 C を備えることと、コストボリューム生成部 5 B に代えてコストボリューム生成部 5 C を備えることが異なる。

30

## 【 0 1 2 9 】

第 4 実施形態に係る視差画像生成システム 1 0 0 C は、撮影装置 3 C として、赤外線ステレオ画像を撮影するための 2 台の赤外線カメラ 3 3 , 3 4 と、カラー画像を撮影するための 1 台のカラーカメラ 3 5 とを備えている。本実施形態では、コストボリュームは、赤外線ステレオ画像からのみ算出する。そして、平行化された基準視点の赤外線画像と同じ光軸の画像に座標変換したカラー画像をガイド画像として用いて、赤外線ステレオ画像について算出したコストボリュームをエッジ保持型の平滑化フィルタ処理をし、平滑化フィルタ処理したコストボリュームを用いて視差画像を生成する。

40

## 【 0 1 3 0 】

このため、本実施形態に係る視差画像生成システム 1 0 0 C は、図 8 に示した第 3 実施形態に係る視差画像生成システム 1 0 0 B に対して、撮影装置 3 C に右視点用のカラーカメラ 3 6 を備えないことと、視差画像生成装置 1 C の画像変換部 4 C に右視点用の画像座標変換処理部 4 4 を備えないことと、視差画像生成装置 1 C のコストボリューム生成部 5 C にカラーステレオ画像についてのコストボリュームを算出するためのコストボリューム算出部 5 2 B 及びコストボリューム統合部 5 3 を備えないことが異なる。

第 3 実施形態と同様の構成要素については、同じ符号を付して説明は適宜に省略する。

## 【 0 1 3 1 】

50

撮影装置 3 C は、前記したように、2 台の赤外線カメラ 3 3 , 3 4 と、1 台のカラーカメラ 3 5 とを備えている。

図 2 ( c ) に示すように、2 台の赤外線カメラ 3 3 , 3 4 は、赤外線パターン照射機 2 及び 1 台のカラーカメラ 3 5 を挟んで、水平方向 ( X 軸方向 ) に並置されている。

赤外線パターン照射機 2 は、2 台の赤外線カメラ 3 3 , 3 4 の間に配置することが好ましい。これによって、2 台の赤外線カメラ 3 3 , 3 4 の何れから見ても、赤外線パターン照射機 2 から被写体に向かって照射される赤外線パターンが、被写体の一部の影になって投影されない領域、すなわちテクスチャが付与されない領域を低減することができる。

また、カラーカメラ 3 5 も、赤外線カメラ 3 3 , 3 4 の間に配置することが好ましい。更に、カラーカメラ 3 5 は、基準画像を撮影する赤外線カメラ 3 3 の近くに配置することが、より好ましい。

10

カラーカメラ 3 5 が撮影したカラー画像は、赤外線ステレオ画像についてのコストボリュームをエッジ保持型の平滑化フィルタ処理する際のガイド画像として用いるため、赤外線カメラ 3 3 , 3 4 と視点が近くなるように配置することで、基準視点の赤外線画像と光軸を合わせたカラー画像を高精度に算出することができる。

#### 【 0 1 3 2 】

赤外線カメラ 3 3 , 3 4 は、撮影した赤外線ステレオ画像を画像平行化処理部 4 1 に出力する。また、カラーカメラ 3 5 は、撮影したカラー画像を画像座標変換処理部 4 3 に出力する。

#### 【 0 1 3 3 】

視差画像生成装置 1 C は、画像変換部 4 C と、コストボリューム生成部 5 C と、視差画像生成処理部 6 とを備え、赤外線ステレオ画像及び可視光画像と、これらの画像を撮影した赤外線カメラ 3 3 , 3 4 及びカラーカメラ 3 5 のカメラパラメータと、を用いて視差画像を生成する。

20

#### 【 0 1 3 4 】

画像変換部 4 C は、画像平行化処理部 4 1 と、画像座標変換処理部 4 3 とを備えて構成されている。

画像平行化処理部 4 1 は、第 2 実施形態及び第 3 実施形態と同様であるから、説明は省略する。

画像座標変換処理部 4 3 は、第 3 実施形態と同様に、カラーカメラ 3 5 からカラー画像を入力するとともに、カラーカメラ 3 5 についてのカメラパラメータと、赤外線カメラ 3 3 についてのカメラパラメータとを入力し、入力したカラー画像を、カラーカメラ 3 5 のカメラパラメータと赤外線カメラ 3 3 のカメラパラメータとを用いて、画像平行化処理部 4 1 によって平行化される赤外線カメラ 3 3 により撮影された赤外線画像と同じ光軸の画像座標系に変換する。画像座標変換処理部 4 3 は、画像座標を変換したカラー画像を、平滑化フィルタ処理のガイド画像としてコストボリュームフィルタ処理部 5 4 に出力する。

30

#### 【 0 1 3 5 】

コストボリューム算出部 5 1 は、画像平行化処理部 4 1 から平行化された赤外線ステレオ画像を入力し、当該赤外線ステレオ画像についてコストボリュームを算出する。コストボリューム算出部 5 1 は、算出したコストボリュームをコストボリュームフィルタ処理部 5 4 に出力する。

40

#### 【 0 1 3 6 】

コストボリュームフィルタ処理部 5 4 は、コストボリューム算出部 5 1 から赤外線ステレオ画像についてのコストボリュームを入力するとともに、画像座標変換処理部 4 3 から平行化された基準視点の赤外線画像と同じ光軸の画像に座標変換されたカラー画像をガイド画像として入力する。そして、コストボリュームフィルタ処理部 5 4 は、前記した第 2 実施形態及び第 3 実施形態におけるコストボリュームフィルタ処理部 5 4 と同様にして、コストボリュームにエッジ保持型の平滑化フィルタ処理を施し、平滑化フィルタ処理を施したコストボリュームを視差画像生成処理部 6 に出力する。

#### 【 0 1 3 7 】

50

その他の構成要素は、第3実施形態に係る視差画像生成システム100Bと同様であるから、説明は省略する。

【0138】

[視差画像生成システムの動作]

次に、図11を参照(適宜図10参照)して、第4実施形態に係る視差画像生成システム100Cの動作について説明する。

赤外線パターンを照射するステップS41は、第1実施形態のステップS11(図4参照)と同様であるから、説明は省略する。

【0139】

次に、視差画像生成システム100Cは、2台の赤外線カメラ33, 34によって赤外線ステレオ画像を撮影するとともに、1台のカラーカメラ35によってカラー画像を撮影する(ステップS42)。

次に、視差画像生成システム100Cは、画像平行化処理部41によって、ステップS42で撮影した赤外線ステレオ画像を平行化処理する(ステップS43)。また、視差画像生成システム100Cは、画像座標変換処理部43によって、ステップS42でカラーカメラ35により撮影したカラー画像を、ステップS43で平行化した基準視点(左視点)の赤外線画像の光軸と合うように画像座標の変換処理を行う(ステップS44)。なお、ステップS43とステップS44とは、何れを先に実行してもよく、並行して行うようにしてもよい。

【0140】

次に、視差画像生成システム100Cは、コストボリューム算出部51によって、ステップS43で平行化した赤外線ステレオ画像について、コストボリュームを算出する(ステップS45)。

【0141】

次に、視差画像生成システム100Cは、コストボリュームフィルタ処理部54によって、ステップS45で算出したコストボリュームについて、ステップS44で基準視点(左視点)の画像に変換したカラー画像をガイド画像として、コストマップ毎にエッジ保持型の平滑化フィルタ処理を行う(ステップS46)。

【0142】

そして、視差画像生成システム100Cは、視差画像生成処理部6によって、ステップS46で平滑化フィルタ処理したコストボリュームについて、画素毎に最小コストを与える視差を選択することで、視差画像を生成する(ステップS47)。

以上の手順により、視差画像生成システム100Cは、視差画像を生成することができる。

【0143】

本実施形態では、赤外線パターン照射機2によって赤外線パターンのテクスチャを被写体に付与し、テクスチャが付与された被写体を撮影した赤外線ステレオ画像についてのコストボリュームに基づいて視差画像を生成するため、本来テクスチャを有さない被写体についても精度よく視差を推定することができる。また、コストボリュームを、カラー画像をガイド画像として用いたエッジ保持型の平滑化フィルタ処理するため、本来テクスチャを有する領域についても、精度よく視差を推定することができる。

【0144】

<第5実施形態>

[視差画像生成システムの構成]

次に、図12を参照して、本発明の第5実施形態に係る視差画像システムについて説明する。

図12に示す第5実施形態に係る視差画像生成システム100Dは、図5に示した第2実施形態に係る視差画像生成システム100Aにおいて、視差画像生成装置1Aに代えて視差画像生成装置1Dを備えるものである。また、視差画像生成装置1Dは、視差画像生成装置1Aにおいて、コストボリュームフィルタ処理部54を有するコストボリューム生

10

20

30

40

50

成部 5 A に代えて、コストボリュームフィルタ処理部 5 4 D を有するコストボリューム生成部 5 D を備えるものである。第 5 実施形態に係る視差画像生成システム 1 0 0 D の他の構成については、第 2 実施形態に係る視差画像生成システム 1 0 0 A と同様であるから、同じ符号を付して説明は省略する。

#### 【 0 1 4 5 】

第 2 実施形態におけるコストボリュームフィルタ処理部 5 4 ( 図 5 参照 ) は、2 次元空間に広がりを持つカーネル  $p$  ( 図 6 参照 ) を用いてコストを平滑化するものである。ここで、時系列に連続する複数の視差画像 ( フレーム ) で構成される視差映像に対して、視差画像毎に、すなわちフレーム毎に視差を推定すると、時間軸方向の視差の連続性が考慮されない。このため、フレーム毎に平滑化処理をして、時系列に連続する複数の視差画像を連続再生すると、視差映像にフリッカが生じることがある。そこで、本実施形態におけるコストボリュームフィルタ処理部 5 4 D は、2 次元空間に時間軸を加えた、3 次元時空間に亘る平滑化フィルタ処理を行う。これによって、複数の視差画像を連続再生する際に、フリッカの発生を抑制することができるとともに、特に静止物についての奥行き推定精度を改善することができる。

10

#### 【 0 1 4 6 】

具体的には、本実施形態におけるコストボリュームフィルタ処理部 5 4 D は、第 2 実施形態におけるコストボリュームフィルタ処理部 5 4 による 2 次元空間に広がりを持つカーネルを用いた平滑化フィルタ処理を、時間軸方向に拡張して、3 次元時空間に広がりを持つカーネルを用いた平滑化フィルタ処理を行うようにするものである。

20

なお、本実施形態においては、画像変換部 4、並びに、コストボリューム生成部 5 D のコストボリューム算出部 5 1、5 2 及びコストボリューム統合部 5 3 は、それぞれフレーム毎に第 2 実施形態で説明した処理を行うものとする。そして、コストボリュームフィルタ処理部 5 4 D は、平滑化フィルタ処理の対象となるフレームを中心として、時間軸方向について予め定めた範囲の複数のフレームについてのコストボリューム及びガイド画像を用いて、平滑化フィルタ処理を行う。

#### 【 0 1 4 7 】

以下、図 1 2 から図 1 4 を参照して、本実施形態におけるコストボリュームフィルタ処理部 5 4 D によるコストボリュームの平滑化処理について順を追って説明する。

まず、2 次元カーネルを用いたエッジ保持型の平滑化フィルタ処理について説明する。この平滑化フィルタ処理は、第 2 実施形態のコストボリュームフィルタ処理部 5 4 で行う平滑化フィルタ処理と同じものである。2 次元の平滑化フィルタ処理としては、前記したように、参考文献 2 ~ 参考文献 4 に記載された手法を用いることができる。ここでは、適応型カーネルを用いた 2 次元の平滑化フィルタ処理として、参考文献 2 に記載された CLMF を用いる場合について改めて説明する。

30

#### 【 0 1 4 8 】

##### [ 適応型カーネル ]

第 2 実施形態におけるコストボリューム統合部 5 3 から出力される 1 つのフレームについてのコストボリューム  $C_j$  は、前記したように、 $C_j (u_r, v_r, d)$  と表わすことができる。このコストボリューム  $C_j$  は、各視差  $d$  の 2 次元のコストマップ  $CM_{j,d}$  が  $d$  の数だけ集まって構成された 3 次元配列で表わされる。本実施形態では、時系列に連続する複数のフレームについてのコストボリュームを用いて視差を推定するため、コストボリューム  $C_j$  は、 $C_j (u_r, v_r, d, t)$  のように、4 次元配列で表わすことができる。ここで、 $t$  は時間を示すものであり、時刻やフレーム番号で示される。例えば、 $t$  がフレーム番号を示す場合において、平滑化フィルタ処理のために参照するフレーム数を  $F$  とすると、 $t = 1 \sim F$  の値をとるものである。

40

一方、各視差  $d$  のコストマップ  $CM_{j,d}$  は、 $CM_{j,d} (u_r, v_r, t)$  となり、3 次元配列で表わされる。また、ガイド画像もコストボリューム  $C_j$  に対応して複数のフレームを用いるため、平滑化フィルタ処理のカーネルも 3 次元となる。

#### 【 0 1 4 9 】

50

図 1 3 は、平滑化フィルタ処理の 2 次元カーネルの例を示したものである。図 1 3 において、x 軸が水平方向を示し、y 軸方向が垂直方向を示し、各格子が画素を示している。なお、図 1 3 における x 軸及び y 軸は、それぞれ図 6 における u 軸及び v 軸に相当するものである。

矩形領域であるカーネル  $W_p$  は、平滑化フィルタ処理を行う際に参照される可能性がある最大の画素領域である。このカーネル  $W_p$  から、中心画素 p と色が類似する画素領域が、適応型カーネル  $W_p$  として抽出される。

また、図 1 3 に示した例では、ガイド画像上において、中央部の網掛けを施した領域と、その他の周辺領域とで色相が異なっていることを示している。例えば、網掛けを施した領域が青色の領域であり、その周辺領域である網掛けを施していない領域が黄色の領域である場合を示している。

10

【 0 1 5 0 】

次に、1 フレームについての適応型カーネル  $W_p$  を抽出する手順について説明する。

(手順 1)

中心画素 p から、アームを上方向 (y 軸のマイナス方向) に向かって、1 画素ずつ延伸させる。

(手順 2)

アームの先端の画素値と中心画素の画素値との差が所定の閾値以上になったら、アームの延伸を止め、中心画素 p からの長さを  $S_{p,1}$  として保存する。

なお、アームの延伸は、予め定めた大きさの矩形 (3 次元時空間に拡張した場合は、カーネル  $W_p$  は直方体となる) のカーネル  $W_p$  内を最大範囲とする。また、後記する他の手順においても同様とする。

20

(手順 3)

手順 2 と同様に、アームを下方向 (y 軸のプラス方向) に向かって 1 画素ずつ延伸させる。

【 0 1 5 1 】

(手順 4)

アームの先端の画素値と中心画素 p の画素値との差が所定の閾値以上になったら、アームの延伸を止め、中心画素 p からの長さを  $S_{p,3}$  として保存する。

(手順 5)

式 (1 3) で示される縦方向 (y 軸方向) に延伸する線分 (画素列)  $V(p)$  上の、ある画素 (点) q から、左方向 (x 軸のマイナス方向) 及び右方向 (x 軸のプラス方向) に、それぞれアームを 1 画素ずつ延伸させる。

30

なお、 $x_p$  及び  $y_p$  は、それぞれ中心画素 p の x 座標及び y 座標を示す。

【 0 1 5 2 】

【数 1 2】

$$V(p) = \{(x, y) \mid x = x_p, y \in [y_p - S_{p,1}, y_p + S_{p,3}]\} \quad \dots \text{式 (1 3)}$$

【 0 1 5 3 】

40

(手順 6)

アームの先端の画素値と、中心画素 p の画素値との差が所定の閾値以上になったら、アームの延伸を止め、線分  $V(p)$  からの距離 (長さ) を、それぞれ  $S_{q,0}$  及び  $S_{q,2}$  として保存する。これによって、式 (1 4) で表わされる水平方向 (x 軸方向) に延伸する線分 (画素列)  $H(q)$  を抽出することができる。

なお、 $x_q$  及び  $y_q$  は、それぞれ画素 q の x 座標及び y 座標を示す。

【 0 1 5 4 】

【数 1 3】

$$H(q) = \{(x, y) \mid x \in [x_q - S_{q,2}, x_q + S_{q,0}], y = y_q\} \quad \dots \text{式 (14)}$$

【0 1 5 5】

(手順 7)

線分  $V(p)$  上のすべての画素  $q$  について、(手順 5) 及び (手順 6) を実行して  $H(q)$  を抽出する。そして、1 フレームについてのカーネル  $U(t)$  は、式 (15) に示すように、各画素  $q$  について抽出した  $H(q)$  の和集合で表わすことができる。ここで、 $t$  は、フレーム番号 (時刻) を示す。

10

なお、図 1 3 において破線で示したカーネル  $\Omega_p$  が、 $U(t)$  として抽出された画素領域を示している。

【0 1 5 6】

【数 1 4】

$$\Omega_p = U(t) = \bigcup_{q \in V(p)} H(q) \quad \dots \text{式 (15)}$$

【0 1 5 7】

この処理は、Orthogonal Integral Image を用いたアルゴリズムにより、効率的に処理することができる。この手法については、参考文献 5 に詳細に説明されている。

20

(参考文献 5)

K. Zhang, J. Lu, and G. Lafrait, "Cross-based local stereo matching using orthogonal integral images." IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 19(7):1073-1079, July 2009.

【0 1 5 8】

[ 適応型時空間カーネル ]

本実施形態では、この処理を時間軸 ( $t$  軸) 方向に拡張し、3次元時空間に広がりを持つ 3次元カーネルを生成して、平滑化フィルタ処理に用いるものである。図 1 4 は、複数フレーム分のガイド画像を並べた 3次元時空間を、 $x-t$  平面で切った断面図を示したものである。但し、図 1 3 において、水平方向を  $x$  軸、垂直方向を  $t$  軸 (時間軸) としている。なお、時系列に番号が割り当てられるフレーム番号が  $t$  軸の座標値に相当する。

30

このとき、3次元カーネル  $\Omega_p$  は、以下に示す (手順 8) から (手順 10) の処理を行うことで生成することができる。

【0 1 5 9】

(手順 8)

中心画素  $p$  から、時間軸方向の、前方向 ( $t$  軸のマイナス方向) 及び後方向 ( $t$  軸のプラス方向) に、それぞれ 1 フレームずつアームを延伸させる。

(手順 9)

アームの先端の画素値と中心画素  $p$  の画素値との差が所定の閾値以上になったら、アームの延伸を止め、中心画素  $p$  からの長さを、それぞれ  $S_{q,4}$  及び  $S_{q,5}$  として保存する。

40

これによって、式 (16) で表わされる時間軸 ( $t$  軸) 方向に延伸する線分 (画素列)  $T(p)$  を抽出することができる。

【0 1 6 0】

【数 1 5】

$$T(p) = \{(x, y, t) \mid x = x_p, y = y_p, t \in [t_p - S_{p,4}, t_p + S_{p,5}]\} \quad \dots \text{式 (16)}$$

【0 1 6 1】

(手順 10)

線分  $T(p)$  上のすべての画素  $t$  について、各画素  $t$  を含むフレーム毎に、それぞれ (

50

手順 1) から (手順 7) を実行して、式 (15) で示したフレーム毎のカーネル  $U(t)$  を抽出する。そして、時空間に拡張した 3 次元カーネル  $Y(p)$  は、式 (17) に示すように、各フレーム  $t$  について抽出した  $U(t)$  の和集合で表わすことができる。

なお、図 14 において破線で示したカーネル  $\Omega_p$  が、 $Y(p)$  として抽出された画素領域の、 $x-t$  平面で切った断面を示している。

【0162】

【数16】

$$\Omega_p = Y(p) = \bigcup_{t \in T(p)} U(t) = \bigcup_{t \in T(p)} \left( \bigcup_{q \in V(t)} H(q) \right) \quad \dots \text{式 (17)}$$

10

【0163】

[CLMF]

前記したように、CLMFにおいて、平滑化された画像  $S$  は、式 (18) に示すように、ガイド画像  $G_p$  と 2 つの係数  $a, b$  とによる線形変換で表されると仮定している。

【0164】

【数17】

$$S_p^k = a_k G_p + b_k, \quad \forall k \in \Omega_p \quad \dots \text{式 (18)}$$

20

【0165】

式 (18) において、添字  $k$  は、カーネル  $\Omega_p$  に属する画素を示し、係数  $a_k, b_k$  は、画素  $k$  を中心とするカーネル  $\Omega_k$  内においては一定であり、線形回帰法を用いて、式 (19) により算出することができる。

【0166】

【数18】

$$a_k = \frac{1}{|\Omega_k|} \frac{\sum_{s \in \Omega_k} G_s Z_s - \mu_k Z'_k}{\sigma_k^2 + \varepsilon}, \quad b_k = Z'_k - a_k \mu_k \quad \dots \text{式 (19)}$$

30

【0167】

式 (19) において、 $Z$  は平滑化する対象となる画像であり、本実施形態においては、コストマップが相当する。また、 $\mu_k, \sigma_k^2, Z'_k$ 、及び  $\varepsilon$  は、それぞれカーネル  $\Omega_k$  におけるガイド画像の平均、分散、カーネル  $\Omega_k$  におけるコストマップの平均、及び正規化項である。また、 $|\Omega_k|$  は、カーネル  $\Omega_k$  に属する画素数を示す。

【0168】

このとき、平滑化された画像  $S_p$  は、式 (20) で定義される  $S_k$  の重み付け加算で近似することができる。

【0169】

【数19】

$$S_p \approx \frac{\sum_{k \in \Omega_p} |\Omega_k| S_p^k}{\sum_{k \in \Omega_p} |\Omega_k|} \quad \dots \text{式 (20)}$$

40

【0170】

コストボリュームフィルタ処理部 54D は、以上の手順によって、コストボリュームのすべてのコストマップについて、視差毎に 3 次元時空間の平滑化フィルタ処理を行う。コ

50

ストボリウムフィルタ処理部 5 4 D は、平滑化したコストボリウムを、視差画像生成処理部 6 に出力する。また、視差画像生成部 6 は、コストボリウムフィルタ処理部 5 4 D から平滑化されたコストボリウムを入力し、このコストボリウムについて、画素毎に最もコストの低い視差を選択することで、視差画像を生成する。

#### 【 0 1 7 1 】

[ 視差画像生成システムの動作 ]

本実施形態に係る視差画像生成システム 1 0 0 D は、撮影装置 3 によって、所定のフレーム周波数で撮影した赤外線画像及びカラー画像を、視差画像生成装置 1 D に入力する。フレーム周波数は特に限定されるものではないが、例えば、3 0 ~ 2 4 0 H z 程度とすることができる。

10

このとき、赤外線画像のフレーム及びカラー画像のフレームは、視差画像生成装置 1 D に同期して入力される。そして、視差画像生成装置 1 D は、前記したように、画像変換部 4、コストボリウム算出部 5 1, 5 2 及びコストボリウム統合部 5 3 によって、フレーム毎に第 2 実施形態で説明したものと同一処理を行う。また、視差画像生成装置 1 D は、コストボリウムフィルタ処理部 5 4 D によって、平滑化フィルタ処理の対象となるフレームを中心として、時間軸方向について、その近傍の予め定めた範囲の複数のフレームについてのコストボリウム及びガイド画像を用いて、前記した手順の平滑化フィルタ処理を行う。本実施形態に係る視差画像生成システム 1 0 0 D の他の動作は、図 7 に示した第 2 実施形態に係る視差画像生成システム 1 0 0 A と同様であるから、詳細な説明は省略する。

20

#### 【 0 1 7 2 】

また、図 8 に示した第 3 実施形態及び図 1 0 に示した第 4 実施形態についても、コストボリウムフィルタ処理部 5 4 を、第 5 実施形態におけるコストボリウムフィルタ処理部 5 4 D に置き換えることで、カーネルを 2 次元空間及び時間軸からなる 3 次元時空間に拡張した平滑化フィルタ処理を適用することができる。

これらの実施形態において、3 次元時空間に亘る平滑化フィルタ処理を適用することによって、第 5 実施形態と同様に、複数の視差画像を連続再生する際に、フリッカの発生を抑制することができるとともに、特に静止物についての奥行き推定精度を改善することができる。

#### 【 0 1 7 3 】

30

以上説明したように、各実施形態に係る視差画像生成システム 1 0 0, 1 0 0 A, 1 0 0 B, 1 0 0 C, 1 0 0 D は、赤外線パターン照射機 2 によってテクスチャが付与された被写体の赤外線ステレオ画像と、カラーステレオ画像又はカラー画像とを用いて、視差画像生成装置 1, 1 A, 1 B, 1 C, 1 D によって精度よく視差画像を生成することができる。生成された視差画像は、例えば、3 次元モデル生成のために用いることができる。更にまた、当該 3 次元モデルを用いて、例えば、インテグラル・フォトグラフィ方式の立体映像の生成のために用いることができる。

#### 【 0 1 7 4 】

なお、本発明の各実施形態に係る視差画像生成システム 1 0 0, 1 0 0 A, 1 0 0 B, 1 0 0 C, 1 0 0 D において、赤外線画像及びカラー画像を演算処理する視差画像生成装置 1, 1 A, 1 B, 1 C, 1 D の画像変換部 4, 4 B, 4 C、コストボリウム生成部 5, 5 A, 5 B, 5 C, 5 D 及び視差画像生成処理部 6 の各構成手段は、D S P (Digital Signal Processor)、F P G A (Field Programmable Gate Array)、又は専用のハードウェア回路を用いて構成することができる。

40

また、本発明の各実施形態における視差画像生成装置 1, 1 A, 1 B, 1 C, 1 D は、赤外線パターン照射機 2 及び撮影装置 3 等が接続され、C P U (Central Processing Unit)、記憶手段(例えば、メモリ、ハードディスク)、各種信号の入出力手段等のハードウェア資源を備えるコンピュータを、前記した画像変換部 4, 4 B, 4 C、コストボリウム生成部 5, 5 A, 5 B, 5 C, 5 D 及び視差画像生成処理部 6 の各構成手段として協調動作させるための、視差画像生成プログラムによって実現することもできる。このプロ

50

グラムは、通信回線を介して配布してもよく、光ディスクや磁気ディスク、フラッシュメモリ等の記録媒体に書き込んで配布してもよい。

【0175】

以上、本発明の実施形態に係る視差画像生成システムについて、発明を実施するための形態により具体的に説明したが、本発明の趣旨はこれらの記載に限定されるものではなく、特許請求の範囲の記載に基づいて広く解釈されなければならない。また、これらの記載に基づいて種々変更、改変等したのも本発明の趣旨に含まれることはいうまでもない。

【符号の説明】

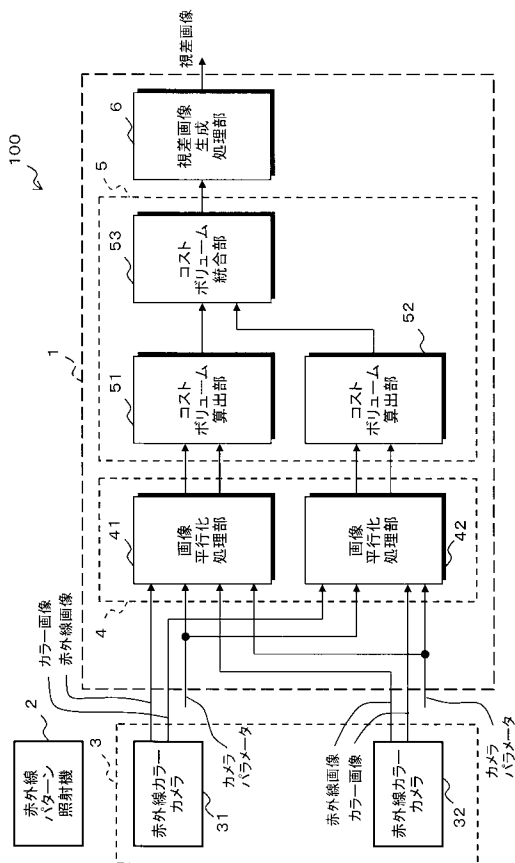
【0176】

- 1, 1A, 1B, 1C, 1D 視差画像生成装置
- 2 赤外線パターン照射機
- 3, 3B, 3C 撮影装置
- 31, 32 赤外線カラーカメラ(カメラ)
- 33, 34 赤外線カメラ
- 35, 36 カラーカメラ(可視光カメラ)
- 4, 4B, 4C 画像変換部
- 41, 42 画像平行化処理部
- 43, 44 画像座標変換処理部
- 5, 5A, 5B, 5C, 5D コストボリューム生成部(対応度マップ群生成部)
- 51, 52, 52B コストボリューム算出部
- 53 コストボリューム統合部
- 54, 54D コストボリュームフィルタ処理部(平滑化フィルタ処理部)
- 6 視差画像生成処理部
- 100, 100A, 100B, 100C, 100D 視差画像生成システム

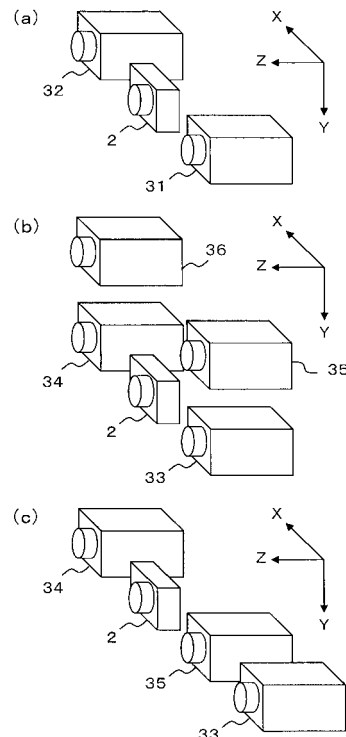
10

20

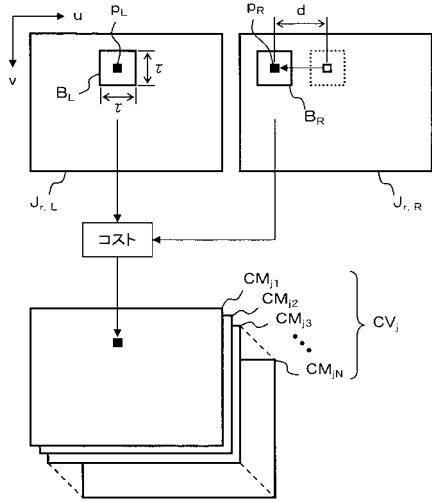
【図1】



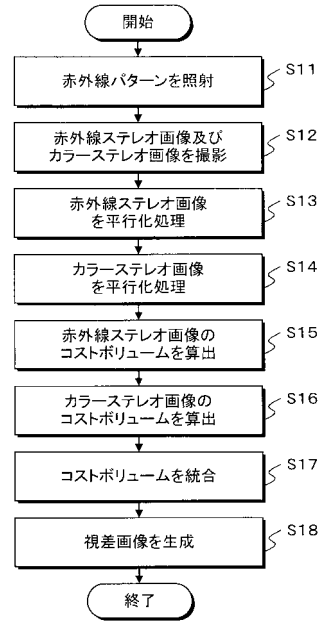
【図2】



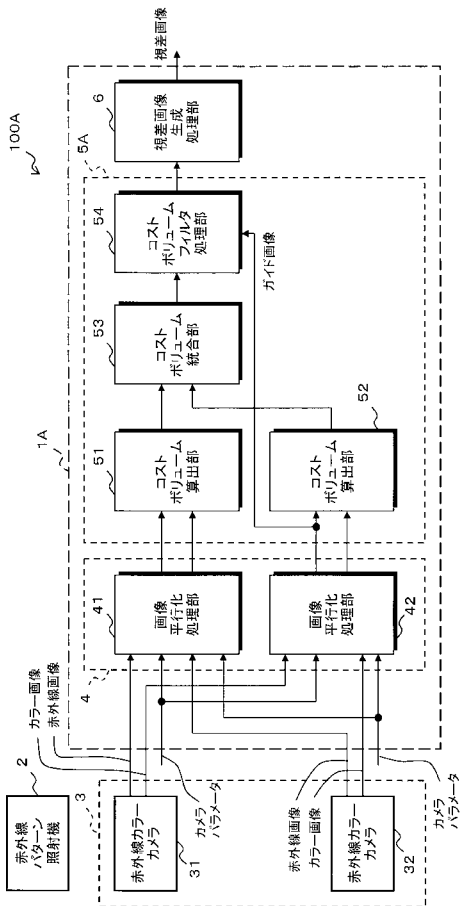
【 図 3 】



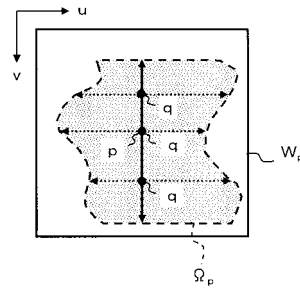
【 図 4 】



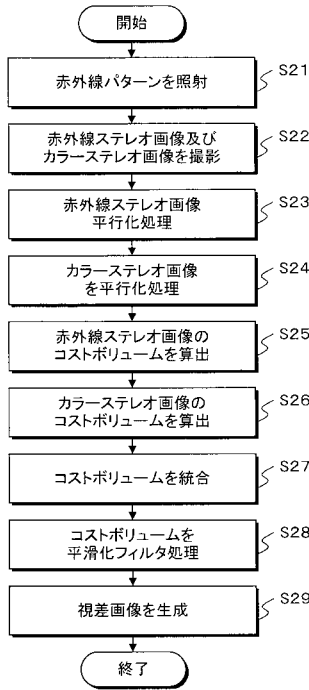
【 図 5 】



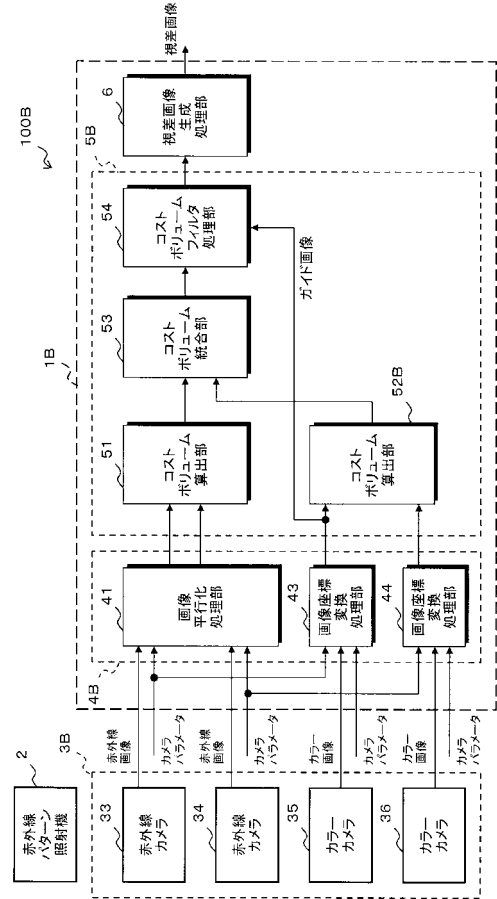
【 図 6 】



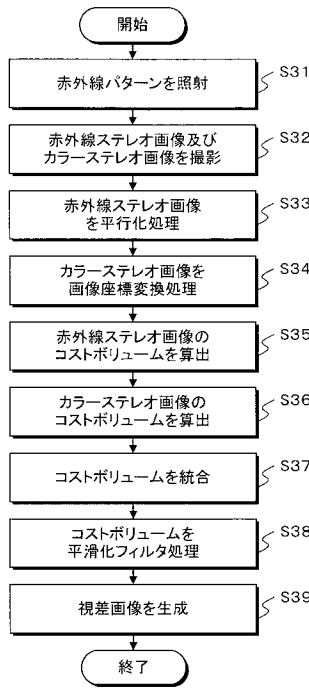
【 図 7 】



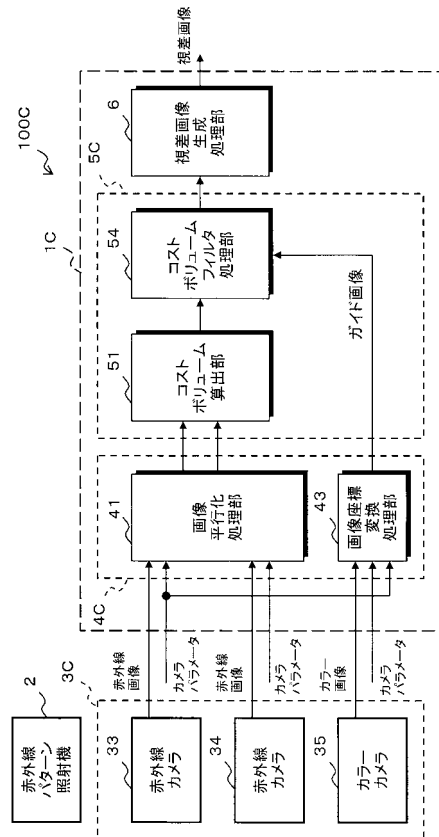
【 図 8 】



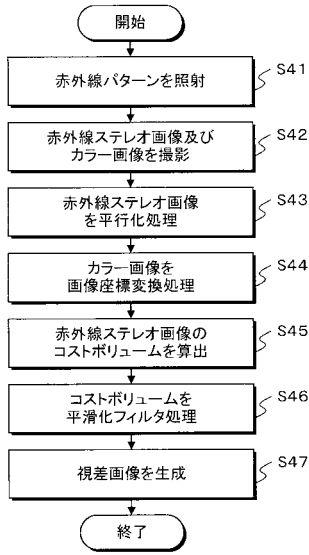
【 図 9 】



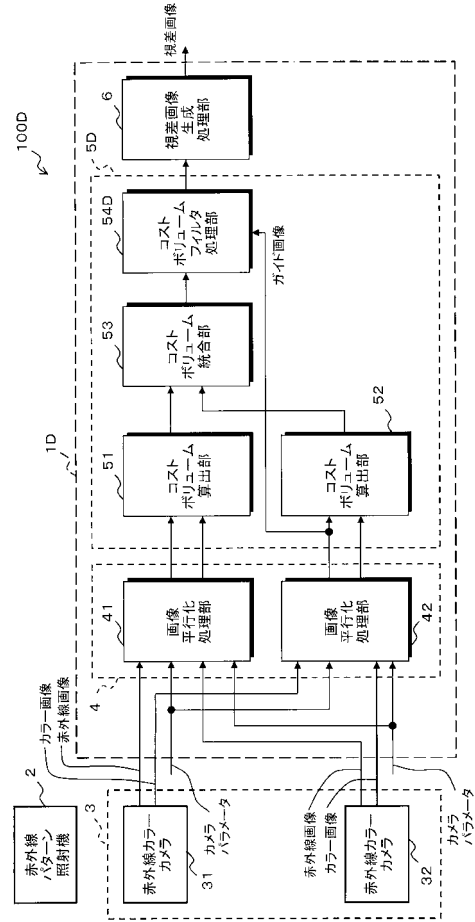
【 図 10 】



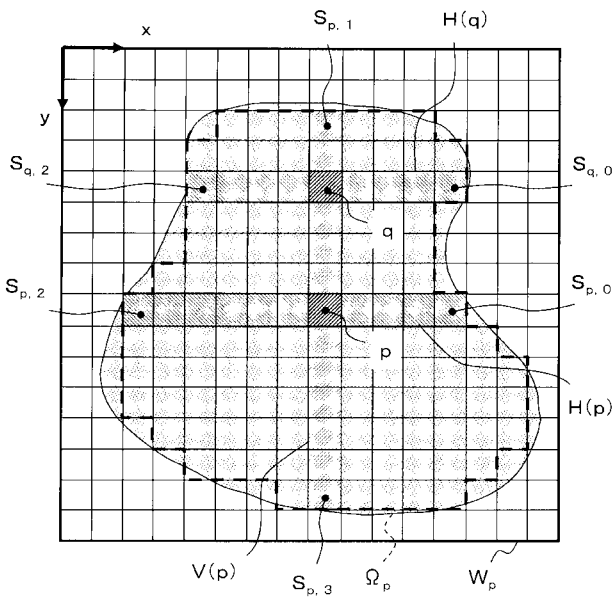
【図 1 1】



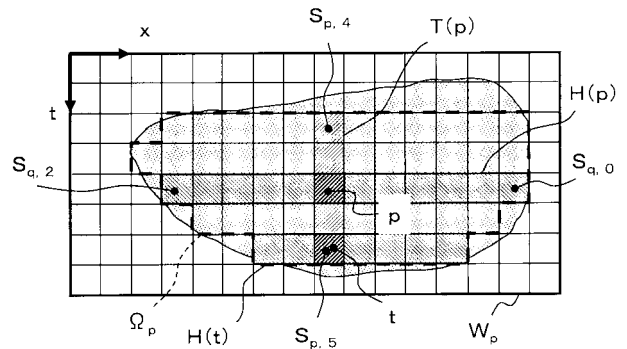
【図 1 2】



【図 1 3】



【図 1 4】



---

フロントページの続き

(72)発明者 片山 美和

東京都世田谷区砧一丁目10番11号 日本放送協会放送技術研究所内

(72)発明者 岩舘 祐一

東京都世田谷区砧一丁目10番11号 日本放送協会放送技術研究所内

Fターム(参考) 2H059 AA10 AA18

2H100 CC02

5C061 AB04 AB06 AB08

5C122 DA16 DA30 EA67 FA04 FH04 FH23 HB01