

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号  
特許第5567908号  
(P5567908)

(45) 発行日 平成26年8月6日 (2014. 8. 6)

(24) 登録日 平成26年6月27日 (2014. 6. 27)

(51) Int. Cl.

F I

GO 1 B 11/00 (2006. 01)

GO 1 B 11/26 (2006. 01)

GO 1 B 11/00 A

GO 1 B 11/26 H

請求項の数 14 (全 28 頁)

(21) 出願番号	特願2010-137680 (P2010-137680)	(73) 特許権者	000001007
(22) 出願日	平成22年6月16日 (2010. 6. 16)		キヤノン株式会社
(65) 公開番号	特開2011-27724 (P2011-27724A)		東京都大田区下丸子3丁目30番2号
(43) 公開日	平成23年2月10日 (2011. 2. 10)	(74) 代理人	100076428
審査請求日	平成25年6月17日 (2013. 6. 17)		弁理士 大塚 康德
(31) 優先権主張番号	特願2009-150323 (P2009-150323)	(74) 代理人	100112508
(32) 優先日	平成21年6月24日 (2009. 6. 24)		弁理士 高柳 司郎
(33) 優先権主張国	日本国 (JP)	(74) 代理人	100115071
			弁理士 大塚 康弘
		(74) 代理人	100116894
			弁理士 木村 秀二
		(74) 代理人	100130409
			弁理士 下山 治
		(74) 代理人	100134175
			弁理士 永川 行光

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 3次元計測装置、その計測方法及びプログラム

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

計測対象物体の3次元形状モデルを保持するモデル保持手段と、  
前記計測対象物体の3次元形状を示す情報に基づいて前記計測対象物体における距離計測用の領域を決定する決定手段と、  
前記計測対象物体に対して所定の照明パターンを照射する照明手段と、  
前記照明手段による照射が行なわれている状態で前記計測対象物体の画像を撮像する撮像手段と、  
前記撮像された画像内における前記距離計測用の領域に対応する領域に基づいて前記撮像手段から前記計測対象物体までの距離を示す距離情報を算出する距離算出手段と、  
前記撮像された画像内における前記距離計測用の領域に対応する領域以外から画像特徴を検出する検出手段と、  
前記画像特徴及び前記距離情報と前記3次元形状モデルとに基づいて前記計測対象物体の位置及び姿勢を算出する位置姿勢算出手段と  
を具備することを特徴とする3次元計測装置。

【請求項 2】

前記検出手段は、  
前記撮像された画像全体から画像特徴を検出した後、該検出した画像特徴のうち、前記距離計測用の領域に対応する領域以外から検出した画像特徴を出力し、  
前記距離算出手段は、

前記撮像された画像全体から距離情報を算出した後、該算出した距離情報のうち、前記距離計測用の領域に対応する領域から算出した距離情報を出力する

ことを特徴とする請求項 1 記載の 3 次元計測装置。

【請求項 3】

前記検出手段及び前記距離算出手段は、

前記撮像手段により撮像された 1 枚の画像に基づいて、前記画像特徴の検出及び前記距離情報の算出をそれぞれ行なう

ことを特徴とする請求項 1 又は 2 記載の 3 次元計測装置。

【請求項 4】

計測対象物体の 3 次元形状モデルを保持するモデル保持手段と、

前記計測対象物体の 3 次元形状を示す情報に基づいて前記計測対象物体における距離計測用の領域を決定する決定手段と、

前記計測対象物体に対して所定の照明パターンを照射する照明手段と、

前記照明手段による照射が行なわれている状態で前記計測対象物体の画像を撮像する撮像手段と、

前記撮像された画像内における前記距離計測用の領域に対応する領域に基づいて前記撮像手段から前記計測対象物体までの距離を示す距離情報を算出する距離算出手段と、

前記距離情報と前記 3 次元形状モデルとに基づいて前記計測対象物体の位置及び姿勢を算出する位置姿勢算出手段と

を具備し、

前記撮像手段は、

複数の撮像装置から構成され、

前記距離算出手段は、

前記複数の撮像装置により撮像された複数の画像内における前記距離計測用の領域に対応する領域から前記距離情報をそれぞれ算出し、

前記位置姿勢算出手段は、

前記算出された前記距離情報のそれぞれと前記 3 次元形状モデルとに基づいて前記計測対象物体の位置及び姿勢を算出する

ことを特徴とする 3 次元計測装置。

【請求項 5】

前記計測対象物体の 3 次元形状を示す情報は、距離センサにより取得された前記計測対象物体を含む距離画像であり、

前記決定手段は、

前記距離画像における各画素の距離情報に基づいて該距離画像を領域分割し、前記距離センサと前記撮像手段との間の相対的な位置及び姿勢を示す値を用いて当該分割された領域のいずれかを投影した投影像に基づいて前記距離計測用の領域を決定する

ことを特徴とする請求項 1 乃至 4 の何れか 1 項に記載の 3 次元計測装置。

【請求項 6】

前記決定手段は、

前記分割された領域の中から所定値以上の面積を持つ領域を投影した投影像に基づいて前記距離計測用の領域を決定する

ことを特徴とする請求項 5 記載の 3 次元計測装置。

【請求項 7】

前記決定手段は、

前記分割された領域の中からユーザにより指定された領域を投影した投影像に基づいて前記距離計測用の領域を決定する

ことを特徴とする請求項 5 記載の 3 次元計測装置。

【請求項 8】

前記決定手段は、

前記計測対象物体において濃淡変化が小さいと推定される領域を前記距離計測用の領域

10

20

30

40

50

に決定する

ことを特徴とする請求項 1 乃至 4 の何れか 1 項に記載の 3 次元計測装置。

【請求項 9】

計測対象物体の 3 次元形状モデルを保持するモデル保持手段と、

前記計測対象物体の位置及び姿勢の概略値を入力する入力手段と、

前記入力手段により入力された概略値を用いて前記 3 次元形状モデルを投影し、その投影像に基づいて前記計測対象物体における距離計測用の領域を決定する決定手段と、

前記決定手段により決定された領域に対して所定の照明パターンを照射する照明手段と

、  
前記照明手段による照射が行なわれている状態で前記計測対象物体の画像を撮像する撮像手段と、

前記撮像された画像内における前記距離計測用の領域に対応する領域に基づいて前記撮像手段から前記計測対象物体までの距離を示す距離情報を算出する距離算出手段と、

前記撮像された画像内における前記距離計測用の領域に対応する領域以外から画像特徴を検出する検出手段と

前記画像特徴及び前記距離情報と前記 3 次元形状モデルとに基づいて前記計測対象物体の位置及び姿勢を算出する位置姿勢算出手段と

を具備することを特徴とする 3 次元計測装置。

【請求項 10】

計測対象物体の 3 次元形状モデルを保持するモデル保持手段と、

前記計測対象物体の位置及び姿勢の概略値を入力する入力手段と、

前記入力手段により入力された概略値を用いて前記 3 次元形状モデルを投影し、その投影像に基づいて前記計測対象物体における距離計測用の領域を決定する決定手段と、

前記決定手段により決定された領域に対して所定の照明パターンを照射する照明手段と

、  
前記照明手段による照射が行なわれている状態で前記計測対象物体の画像を撮像する複数の撮像手段と、

前記撮像された複数の画像内における前記距離計測用の領域に対応する領域に基づいて前記撮像手段から前記計測対象物体までの距離を示す距離情報をそれぞれ算出する距離算出手段と、

前記複数の画像からそれぞれ算出された前記距離情報と前記 3 次元形状モデルとに基づいて前記計測対象物体の位置及び姿勢を算出する位置姿勢算出手段と

を具備することを特徴とする 3 次元計測装置。

【請求項 11】

計測対象物体の 3 次元形状モデルを保持するモデル保持手段と、

前記計測対象物体の位置及び姿勢の概略値を入力する入力手段と、

前記入力手段により入力された概略値を用いて前記 3 次元形状モデルを投影し、その投影像に基づいて前記計測対象物体における距離計測用の領域を決定する決定手段と、

前記計測対象物体に向けて所定の照明パターンを照射する照明手段と、

前記照明手段による照射が行なわれている状態で前記計測対象物体の画像を撮像する撮像手段と、

前記撮像された画像内における前記距離計測用の領域に対応する領域に基づいて前記撮像手段から前記計測対象物体までの距離を示す距離情報を算出するとともに、前記決定手段による決定結果に基づいて当該算出した距離情報を出力する距離算出手段と、

前記撮像された画像に基づいて前記計測対象物体の画像特徴を検出するとともに、前記決定手段による決定結果に基づいて当該検出した画像特徴を出力する検出手段と、

前記画像特徴及び前記距離情報と前記 3 次元形状モデルとに基づいて前記計測対象物体の位置及び姿勢を算出する位置姿勢算出手段と

を具備することを特徴とする 3 次元計測装置。

【請求項 12】

10

20

30

40

50

計測対象物体の３次元形状モデルを保持するモデル保持手段と、  
距離センサにより取得された前記計測対象物体を含む距離画像に基づいて前記計測対象物体における距離計測用の領域を決定する決定手段と、  
前記決定手段により決定された領域に対して所定の照明パターンを照射する照明手段と、

前記照明手段による照射が行なわれている状態で前記計測対象物体の画像を撮像する撮像手段と、

前記撮像された画像内における前記距離計測用の領域に対応する領域に基づいて前記撮像手段から前記計測対象物体までの距離を示す距離情報を算出する距離算出手段と、

前記撮像された画像内における前記距離計測用の領域に対応する領域以外から画像特徴を検出する検出手段と

前記画像特徴及び前記距離情報と前記３次元形状モデルとに基づいて前記計測対象物体の位置及び姿勢を算出する位置姿勢算出手段と

を具備し、

前記決定手段は、

前記距離画像における各画素の距離情報に基づいて該距離画像を領域分割し、前記距離センサと前記撮像手段との間の相対的な位置及び姿勢を示す値を用いて当該分割された領域のいずれかを投影した投影像に基づいて前記距離計測用の領域を決定する

ことを特徴とする３次元計測装置。

#### 【請求項１３】

計測対象物体の３次元形状モデルを用いて該計測対象物体の位置及び姿勢を計測する３次元計測装置の計測方法であって、

決定手段が、前記計測対象物体の３次元形状を示す情報に基づいて前記計測対象物体における距離計測用の領域を決定する工程と、

照明手段が、前記計測対象物体に対して所定の照明パターンを照射する工程と、

撮像手段が、前記照明手段による照射が行なわれている状態で前記計測対象物体の画像を撮像する工程と、

距離算出手段が、前記撮像された画像内における前記距離計測用の領域に対応する領域に基づいて前記撮像手段から前記計測対象物体までの距離を示す距離情報を算出する工程と、

検出手段が、前記撮像された画像内における前記距離計測用の領域に対応する領域以外から画像特徴を検出する検出工程と、

位置姿勢算出手段が、前記画像特徴及び前記距離情報と前記３次元形状モデルとに基づいて前記計測対象物体の位置及び姿勢を算出する工程と

を含むことを特徴とする計測方法。

#### 【請求項１４】

計測対象物体の３次元形状モデルを保持するモデル保持手段、前記計測対象物体に対して所定の照明パターンを照射する照明手段、前記照明手段による照射が行なわれている状態で前記計測対象物体の画像を撮像する撮像手段、を有するコンピュータを、

前記計測対象物体の３次元形状を示す情報に基づいて前記計測対象物体における距離計測用の領域を決定する決定手段、

前記撮像された画像内における前記距離計測用の領域に対応する領域に基づいて前記撮像手段から前記計測対象物体までの距離を示す距離情報を算出する距離算出手段、

前記撮像された画像内における前記距離計測用の領域に対応する領域以外から画像特徴を検出する検出手段、

前記画像特徴及び前記距離情報と前記３次元形状モデルとに基づいて前記計測対象物体の位置及び姿勢を算出する位置姿勢算出手段

として機能させるためのプログラム。

#### 【発明の詳細な説明】

#### 【技術分野】

## 【 0 0 0 1 】

本発明は、3次元計測装置、その計測方法及びプログラムに関する。

## 【 背景技術 】

## 【 0 0 0 2 】

近年、これまで人間が行なっていた複雑なタスクをロボットが代わりに行なうようになりつつある。複雑なタスクの代表例として、工業製品の組み立てが挙げられる。ここで、例えば、ロボットにおいて、ハンドなどのエンドエフェクタによって部品を把持する際には、部品とロボット（ハンド）との間の相対的な位置及び姿勢を計測し、その計測結果に基づいて移動計画を策定し、アクチュエータを制御する必要がある。このような位置及び姿勢の計測は、ロボットによる部品把持だけでなく、ロボットが自律移動する際の自己位置推定など様々な場面で必要とされている。

10

## 【 0 0 0 3 】

上述した位置及び姿勢の計測では、カメラから得られる2次元画像（濃淡画像・カラー画像）や距離センサから得られる距離画像が用いられる。非特許文献1では、物体の3次元形状モデルを線分の集合（ワイヤフレームモデル）で表し、2次元画像上で検出されるエッジに3次元の線分の投影像を当てはめることにより、物体の位置及び姿勢を計測する技術について言及されている。また、非特許文献2では、距離画像から得られる物体表面上の3次元点群に物体の3次元形状モデル（ポリゴンモデル）を当てはめることにより、物体の位置及び姿勢を計測する技術がについて言及されている。

## 【 0 0 0 4 】

20

距離画像を取得する方法としては、特別な照明を必要としないパッシブ計測と、計測のために特別なパターンを照射するアクティブ計測とが知られている。パッシブ計測では、一般に、2台以上のカメラによって物体を撮像し、それぞれの画像間の対応をもとに三角測量の原理に基づいて各画素の距離を算出する。アクティブ計測では、一般に、スリット光や2次元パターン光などを物体に照射し、三角測量の原理に基づいて距離の計測を行なう。また、アクティブ計測として、照射した光が物体上から反射して戻ってくるまでの時間を利用するTime-of-Flight (TOF) 方式も知られている。

## 【 0 0 0 5 】

さて、2次元画像を利用した位置及び姿勢の計測では、画像特徴と3次元形状モデルの投影像との“2次元画像上における”距離を最小化することにより計測が行なわれる。そのため、計測精度は必ずしも高いとはいえず、特に、カメラの奥行き方向の位置成分については精度が低い。一方、距離画像を利用した位置及び姿勢の計測では、3次元点群と3次元形状モデルの“3次元空間内における”距離を最小化することにより計測が行なわれる。そのため、2次元画像を利用する手法に比べて計測精度は高くなるが、物体（例えば、平面状の物体）の形状があまり特徴的でなければ、一部の自由度を精度良く計測できない。

30

## 【 0 0 0 6 】

そこで、2次元画像と距離画像とを相補的に利用して位置及び姿勢の計測精度を向上させることが望まれている。例えば、背景と物体との境界や面の切り替わりなど濃淡変化が激しい部分においては2次元画像上でエッジ（画像特徴）を多く検出できるため、2次元画像を用いれば良い。一方、画像特徴が検出され難い平坦な部分では距離を安定的に計測できるため、距離画像を用いれば良い。

40

## 【 0 0 0 7 】

このような技術に関連して、非特許文献3では、2次元画像上の特徴を奥行きが不定な3次元の点として扱い、物体の位置及び姿勢を計測する手法が開示されている。また、非特許文献4では、2次元画像から明示的な特徴検出は行わず、2次元の濃淡画像と距離画像との勾配情報を利用して位置及び姿勢を計測する手法が開示されている。

## 【 先行技術文献 】

## 【 非特許文献 】

## 【 0 0 0 8 】

50

【非特許文献1】T. Drummond and R. Cipolla, "Real-time visual tracking of complex structures," IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol.24, no.7, pp.932-946, 2002.

【非特許文献2】D. A. Simon, M. Hebert, and T. Kanade, "Real-time 3-D pose estimation using a high-speed range sensor," Proc. 1994 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA'94), pp.2235-2241, 1994.

【非特許文献3】Y. Hel-Or and M. Werman, "Pose estimation by fusing noisy data of different dimensions," IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol.17, no.2, pp.195-201, 1995.

【非特許文献4】日浦, 山口, 佐藤, 井口, "距離画像と濃淡画像の融合による任意形状物体の実時間追跡", 電子情報通信学会論文誌D-II, vol.J80-DII, no.11, pp.2904-2911, 1997.

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0009】

ロボットを用いて工業製品の組み立てを行なうことにより、組み立て作業の高速化が期待されている。例えば、ベルトコンベアーによって移動している物体の位置及び姿勢を計測したり、ロボットアーム上に計測装置を設置して当該装置を移動させながら物体の位置及び姿勢を計測したりすることが求められている。

【0010】

カメラやプロジェクターなどの単純な機器構成では、特別なパターンが照射されていない状態で撮像した画像と、距離計測用パターンが照射された状態で撮像した画像とを異なるタイミングで取得しなければならない。計測対象物体と計測装置とが相対的に静止していれば、これら2種類の画像が異なるタイミングで取得されても問題はない。

【0011】

しかし、計測対象物体又は計測装置自体が移動している場合に、これら2種類の画像が異なるタイミングで取得されたときには、2次元画像の取得時と距離画像の取得時における計測対象物体と計測装置との間の相対的な位置関係が変わってしまう。そのため、このような場合には、物体の位置及び姿勢の計測を精度良く行なうことができない。

【0012】

本発明は、上記課題に鑑みてなされたものであり、3次元計測装置と計測対象物体との間の位置及び姿勢の関係が高速に変化している場合であっても、装置構成を複雑化させずに、当該物体の位置及び姿勢の計測を精度良く行なえるようにした技術を提供する。

【課題を解決するための手段】

【0013】

上記課題を解決するため、本発明の一態様による3次元計測装置は、計測対象物体の3次元形状モデルを保持するモデル保持手段と、

前記計測対象物体の3次元形状を示す情報に基づいて前記計測対象物体における距離計測用の領域を決定する決定手段と、

前記計測対象物体に対して所定の照明パターンを照射する照明手段と、

前記照明手段による照射が行なわれている状態で前記計測対象物体の画像を撮像する撮像手段と、

前記撮像された画像内における前記距離計測用の領域に対応する領域に基づいて前記撮像手段から前記計測対象物体までの距離を示す距離情報を算出する距離算出手段と、

前記撮像された画像内における前記距離計測用の領域に対応する領域以外から画像特徴を検出する検出手段と、

前記画像特徴及び前記距離情報と前記3次元形状モデルとに基づいて前記計測対象物体の位置及び姿勢を算出する位置姿勢算出手段と

を具備する。

【発明の効果】

## 【 0 0 1 4 】

本発明によれば、３次元計測装置と計測対象物体との間の位置及び姿勢の関係が高速に変化している場合であっても、装置構成を複雑化させずに、当該物体の位置及び姿勢の計測を精度良く行なえる。

## 【図面の簡単な説明】

## 【 0 0 1 5 】

【図 1】実施形態 1 に係わる 3 次元計測装置 1 の構成の一例を示す図。

【図 2】3 次元形状モデルの定義方法の一例を説明するための図。

【図 3】実施形態 1 に係わる 3 次元計測装置 1 の処理の流れの一例を示すフローチャート。

10

【図 4】距離計測用の照明領域を決定する際の処理の概要を説明するための図。

【図 5】計測対象物体に照明が照射される概要の一例を示す図。

【図 6】エッジ検出方法の概要の一例を説明するための図。

【図 7】位置姿勢算出処理の流れの一例を示すフローチャート。

【図 8】線分の投影像と検出されたエッジとの関係の一例を示す図。

【図 9】実施形態 2 に係わる 3 次元計測装置 1 の構成の一例を示す図。

【図 10】実施形態 2 に係わる 3 次元計測装置 1 の処理の流れの一例を示すフローチャート。

【図 11】実施形態 3 に係わる 3 次元計測装置 1 の構成の一例を示す図。

【図 12】実施形態 3 に係わる 3 次元計測装置 1 の処理の流れの一例を示すフローチャート。

20

【図 13】実施形態 4 に係わる 3 次元計測装置 1 の構成の一例を示す図。

【図 14】実施形態 4 に係わる 3 次元計測装置 1 の処理の流れの一例を示すフローチャート。

【図 15】実施形態 4 に係わるユーザインターフェースの一例を示す図。

## 【発明を実施するための形態】

## 【 0 0 1 6 】

以下、本発明の一実施の形態について添付図面を参照して詳細に説明する。

## 【 0 0 1 7 】

（実施形態 1）

30

図 1 は、本発明の一実施の形態に係わる 3 次元計測装置 1 の構成の一例を示す図である。

## 【 0 0 1 8 】

3 次元計測装置 1 は、3 次元形状モデル保持部 110 と、概略値入力部 120 と、照明領域決定部 130 と、照明部 140 と、撮像部 150 と、画像特徴検出部 160 と、距離算出部 170 と、位置姿勢算出部 180 とを具備して構成される。

## 【 0 0 1 9 】

3 次元形状モデル保持部 110 は、3 次元情報（本実施形態においては、物体の位置及び姿勢）の計測対象となる物体（以下、計測対象物体、又は単に物体と呼ぶ場合もある）の 3 次元形状モデルデータ（以下、3 次元形状モデルと呼ぶ）を保持する。

40

## 【 0 0 2 0 】

ここで、図 2 を用いて、本実施形態に係わる 3 次元形状モデルの定義方法の一例について説明する。3 次元形状モデルは、点の集合や各点を結んで構成される面の情報、面を構成する線分の情報によって定義される。本実施形態に係わる 3 次元形状モデルは、図 2（a）に示すように、計測対象物体 10 を示す点 P1 ～ 点 P14 の 14 点から構成される。点 P1 ～ 点 P14 は、図 2（c）に示すように、3 次元座標値により表される。また、本実施形態に係わる 3 次元形状モデルは、図 2（b）に示すように、線分 L1 ～ L16 により構成されている。線分 L1 ～ L16 は、図 2（d）に示すように、線分を構成する点の ID（識別子）により表される。なお、ここでは図示を省略するが、3 次元形状モデルは、面の情報も保持する。各面は、各面を構成する点の ID により表される。3 次元形状モ

50

デルは、照明領域の決定処理や、物体（計測対象物体 1 0）の位置及び姿勢の計測処理に用いられる。

#### 【 0 0 2 1 】

概略値入力部 1 2 0 は、3 次元計測装置 1 に対する物体の位置及び姿勢の概略情報（以下、概略値と呼ぶ）を入力する。本実施形態において、3 次元計測装置 1 に対する物体の位置及び姿勢とは、撮像部 1 5 0 を基準とした物体の位置及び姿勢を示すが、必ずしも撮像部 1 5 0 を基準にする必要はない。例えば、撮像部 1 5 0 の座標系に対する物体の相対的な位置及び姿勢が既知であり、且つその位置及び姿勢が変化しないのであれば、3 次元計測装置 1 におけるその他の部分を基準としても良い。また、本実施形態においては、物体の位置及び姿勢の概略値として、3 次元計測装置 1 が当該物体から過去（例えば、直前）に計測した計測値を用いる。物体の位置及び姿勢の概略値は、必ずしもこのような値である必要はない。例えば、過去に計測した物体の位置及び姿勢の計測値に対して時系列フィルタリング処理（例えば、線形フィルタ、カルマンフィルタ）を実施し、物体の運動速度や角速度を推定する。そして、その推定結果に基づいて物体の位置及び姿勢を予測した値を概略値としても良い。また、センサから得られる物体の位置及び姿勢を概略値としても良い。ここで、センサは、物体の位置及び姿勢を 6 自由度で計測できればよく、その方式（例えば、磁気式、光学式、超音波式）は、特に問わない。なお、物体の置かれているおおよその位置や姿勢が予め分かっているのであれば、その値を概略値として用いても良い。物体の位置及び姿勢の概略値は、照明領域の決定処理や、物体の位置及び姿勢の計測処理に用いられる。

10

20

#### 【 0 0 2 2 】

照明領域決定部 1 3 0 は、物体との距離を測るため、物体に向けて照明を（局所的に）照射する照明領域（以下、距離計測用の領域と呼ぶ場合もある）を決定する。具体的には、概略値入力部 1 2 0 により入力された計測対象物体の位置及び姿勢の概略値を用いて、3 次元形状モデル保持部 1 1 0 により保持された計測対象物体の 3 次元形状モデルを投影する。そして、その投影像に基づいて照明領域（本実施形態においては、領域の単位は画素を指す）を決定する。距離計測用の照明は、例えば、撮像部 1 5 0 により撮像される画像内において、濃淡変化が小さく、画像特徴（例えば、エッジ）が検出され難い領域に対して行なわれる。

#### 【 0 0 2 3 】

照明部 1 4 0 は、照明領域決定部 1 3 0 により決定された照明領域（距離計測用の領域）に向けて所定の照明パターン（構造化光）を照射する。照明部 1 4 0 による照明は、照明装置を用いて行なわれる。照明装置は、局所的な照明が行なえるとともに、その照明パターンを変更できればよく、照明装置としては、例えば、液晶プロジェクタが挙げられる。液晶プロジェクタでは、照明パターンの表示色を画素単位で制御することができる。液晶プロジェクタの内部パラメータ（例えば、焦点距離、主点位置、レンズ歪み）は、予め校正しておけば良い。なお、照明装置は、液晶プロジェクタに限られず、例えば、DMD（デジタルミラーデバイス）や、LCOSを用いたプロジェクタであっても良い。

30

#### 【 0 0 2 4 】

撮像部 1 5 0 は、計測対象物体から画像特徴検出用の画像と距離計測用の画像とを 1 枚の画像として同時に撮像する。この場合、計測対象物体と 3 次元計測装置 1 との間の位置及び姿勢の関係が高速に変化している場合であっても、その物体の 3 次元情報の計測を高精度に行なえる。撮像部 1 5 0 による撮像は、距離計測を行なう領域に対しては、照明部 1 4 0 により局所的に照明が行なわれた状態で行なわれる。なお、撮像部 1 5 0 の内部パラメータ（例えば、焦点距離、主点位置、レンズ歪み）は、例えば、上述した液晶プロジェクタの内部パラメータ同様に予め校正しておけば良い。また、撮像部 1 5 0 と照明部 1 4 0 との間の相対的な位置及び姿勢を示す値についても予め校正しておけば良い。これにより、撮像部 1 5 0 により撮像された画像上の構造化光を用いて三角測量を行なうことができる。

40

#### 【 0 0 2 5 】

50



画像特徴検出部 160 は、撮像部 150 により撮像された画像から計測対象物体を示す画像特徴を検出する。画像特徴検出部 160 による画像特徴の検出は、画像内における距離計測用の領域から行なわれる。なお、本実施形態においては、画像特徴としてエッジを検出する。

#### 【0026】

距離算出部 170 は、撮像部 150 の視点位置から計測対象物体までの距離（距離情報）を算出（計測）する。距離の算出は、撮像部 150 により撮像された画像内の所定領域（距離計測用の領域）に基づいて行なわれる。撮像部 150 の視点位置から計測対象物体までの距離は、例えば、距離計測用の領域内に位置する画素に対して三角測量を実施することにより算出する。なお、三角測量では、例えば、撮像部 150 及び照明部 140 の内部パラメータと、撮像部 150 と照明部 140 との間の相対的な位置及び姿勢を示す値とに基づいて計算処理が実施される。

10

#### 【0027】

位置姿勢算出部 180 は、位置姿勢算出処理を実施し、計測対象物体に係わる 3 次元情報（すなわち、計測対象物体の位置及び姿勢）を算出（計測）する。この 3 次元情報の計測は、例えば、画像特徴検出部 160 により検出された画像特徴と、距離算出部 170 により計測された距離情報とに基づいて行なわれる。

#### 【0028】

以上が、3 次元計測装置 1 の構成の一例についての説明である。なお、3 次元計測装置 1 には、コンピュータが内蔵されている。コンピュータには、CPU 等の主制御手段、ROM (Read Only Memory)、RAM (Random Access Memory)、HDD (Hard Disk Drive) 等の記憶手段が具備される。また、コンピュータにはその他、ボタンやディスプレイ又はタッチパネル等の入出力手段、ネットワークカード等の通信手段等も具備されていても良い。なお、これら各構成部は、バス等により接続され、主制御手段が記憶手段に記憶されたプログラムを実行することで制御される。

20

#### 【0029】

ここで、図 3 を用いて、図 1 に示す 3 次元計測装置 1 により計測対象物体の位置及び姿勢を計測する際の処理の流れの一例について説明する。

#### 【0030】

##### (S1010)

3 次元計測装置 1 は、概略値入力部 120 において、計測対象物体に係わる 3 次元情報の概略情報（すなわち、3 次元計測装置 1 に対する物体の位置及び姿勢の概略値）を入力する。本実施形態においては、上述した通り、物体の位置及び姿勢の概略値として、3 次元計測装置 1 が当該物体から過去（例えば、直前）に計測した計測値を用いる。

30

#### 【0031】

##### (S1020)

3 次元計測装置 1 は、照明領域決定部 130 において、照明領域（距離計測用の領域）を決定する。上述した通り、照明領域は、計測対象物体の 3 次元形状モデルと、計測対象物体の位置及び姿勢の概略値とに基づいて決められる。また、上述した通り、距離計測用の照明は、濃淡変化が小さく、画像特徴（エッジ）が検出され難い領域に対して行なわれる。

40

#### 【0032】

ここで、照明領域決定部 130 による距離計測用の領域の決定処理について説明する。距離計測用の領域の決定に際しては、計測対象物体の面を画像上に描画（投影）し、その背景部分と物体部分とを切り分ける。この描画は、例えば、撮像部 150 の内部パラメータと、計測対象物体の位置及び姿勢の概略値とに基づいて行なわれる。

#### 【0033】

ここで、照明領域決定部 130 は、まず、撮像部 150 が撮像する画像と同一サイズのマスク画像を用意し、そのマスク画像の全ての画素の値を 0 で初期化する。次に、照明領域決定部 130 は、グラフィックスハードウェアを用いて、計測対象物体の位置及び姿勢

50

の概略値に基づいて当該物体の３次元形状モデルの画像（３次元形状モデル画像）を描画する。このとき、３次元形状モデル画像内の背景は、黒く描画し、また、物体の面は、白く描画する（図４（ａ））。そして、その描画した画像内における白い画素については、マスク画像の値を１に書き換える。また、照明領域決定部１３０は、グラフィックスハードウェアを用いて、３次元形状モデル画像内の物体の線分を黒く描画する（図４（ｂ））。ここで、照明領域決定部１３０は、３次元形状モデル画像内において黒く、また、その対応するマスク画像における値が１である画素について、マスク画像の値を０に書き換える。

#### 【００３４】

最後に、照明領域決定部１３０は、マスク画像において値が１となる所定の画素の値を０に書き換える。具体的には、マスク画像において、画素の値が０となる画素の近傍（所定範囲内）にあり、その値が１となる画素の値を１から０に書き換える（図４（ｃ））。

#### 【００３５】

ここで、照明領域決定部１３０は、上述した処理により得られたマスク画像内で１の値を持つ画素を照明領域（すなわち、距離計測用の領域）に決定する。なお、撮像部１５０と照明部１４０との間の相対的な位置及び姿勢には、オフセットがある。そのため、両者の幾何学的関係を用いて、撮像部１５０により撮像された画像内における各画素の位置を、照明部１４０による照明パターンにおける各画素の位置に変換する必要がある。具体的には、照明領域決定部１３０は、グラフィックスハードウェアを用いて、計測対象物体をＺバッファ上に描画する。そして、マスク画像の値が１である画素の（撮像部１５０を基準とした）３次元座標値を、当該画素の座標とＺバッファとの値を用いて算出する。その後、照明領域決定部１３０は、撮像部１５０と照明部１４０との間の相対的な位置及び姿勢を示す値と、照明部１４０の内部パラメータとに基づいて、当該求めた３次元座標値を照明パターンの座標（距離計測用の領域を示す座標）に変換する。

#### 【００３６】

なお、ここでは、グラフィックスハードウェアを用いて３次元形状モデルの投影像（線分及び面）を描画する場合について説明したが、これに限られず、ＣＰＵ等により描画を行なっても良い。

#### 【００３７】

##### （Ｓ１０３０）

３次元計測装置１は、照明部１４０において、Ｓ１０２０のマスク処理において決定された距離計測用の領域に対して所定の照明パターン（構造化光）を局所的に照射する。上述した通り、この照明は、液晶プロジェクタ等の照明装置を制御することにより行なわれる。この処理では、図５に示すように、距離計測用の領域（画素単位）に構造化光（この場合、マルチスリット光）が照射される。すなわち、画面全体ではなく、Ｓ１０２０のマスク処理により決定された領域（距離計測用の領域）のみに照射が行なわれる。

#### 【００３８】

なお、本実施形態においては、構造化光としてマルチスリット光を用いる場合を例に挙げて説明するが、構造化光は、これに限られず、複数回の撮像を必要としないのであれば、他の手段を用いても良い。距離計測用の照明が照射されない領域（すなわち、画像特徴検出用の領域）は、環境光により十分な明るさが得られればよく、特別な光を照射する必要はない。環境光により十分な明るさが得られないのであれば、例えば、均一な白色光が照射されるように照明パターンを変更すれば良い。

#### 【００３９】

##### （Ｓ１０４０）

３次元計測装置１は、撮像部１５０において、計測対象物体の画像を撮像する。上述した通り、この撮像では、画像特徴検出用の画像と距離計測用の画像とが１枚の画像として同時に撮像される。なお、この撮像は、距離計測を行なう領域に対して局所的に照明が行なわれた状態で行なわれる。

#### 【００４０】

10

20

30

40

50

( S 1 0 5 0 )

3次元計測装置1は、画像特徴検出部160において、撮像部150により撮像された画像から画像特徴の検出を行なう。本実施形態においては、上述した通り、画像特徴としてエッジを検出する。例えば、非特許文献1に開示された技術を用いてエッジの検出を行なう。ここで、図6を用いて、本実施形態に係わるエッジ検出方法の概要の一例について説明する。エッジ検出では、まず、撮像された計測対象物体の画像に対して投影する投影像(線分)を求める。投影像は、S1010で入力された計測対象物体の位置及び姿勢の概略値に基づいて求められる。次に、投影された各線分上において、等間隔に制御点を設定する。そして、投影された線分の法線方向に平行で且つ制御点を通過する線分(以下、探索ライン)上からエッジを1次元探索する(図6(a))。エッジは、画素値の濃度勾配の極値となる(図6(b))。場合によっては、探索ライン上から複数のエッジが検出されることがある。この場合、本実施形態においては、「L. Vacchetti, V. Lepetit, and P. Fua, "Combining edge and texture information for real-time accurate 3D camera tracking," Proc. ISMAR04, pp.48-57, 2004」に開示された技術を用いる。すなわち、この文献に開示された方法を用いて複数検出されたエッジを仮説として保持する。このようにして各制御点に対応したエッジを探索し、後述するS1070における処理において、3次元の線分をエッジにあてはめる。なお、各制御点の画像を1画素単位で量子化した座標が、距離計測用の領域(画素)に相当する場合、該当する画素のエッジ検出は行わない。

10

【0041】

20

( S 1 0 6 0 )

3次元計測装置1は、距離算出部170において、撮像部150により撮像された画像に基づいて距離を算出(計測)する。具体的には、距離計測用の領域(画素)に基づいて距離を算出する。距離は、上述した通り、三角測量により算出される。距離の算出に際しては、照明部140により照射された領域(画像における画素の位置)と、撮像部150により撮像された画像上における当該領域に対応する位置とが用いられる。また、これ以外にも、照明部140及び撮像部150の内部パラメータや、撮像部150と照明部140との間の相対的な位置及び姿勢を示す値も用いられる。

【0042】

距離算出部170では、距離計測を行なった後、撮像された画像内における計測対象物体を、撮像部150の座標系で3次元座標値を持つ点群データに変換する。3次元座標値は、撮像された画像内の計測対象物体における各点の位置に対応する視線ベクトルに距離情報を乗算することにより算出される。

30

【0043】

( S 1 0 7 0 )

3次元計測装置1は、位置姿勢算出部180において、計測対象物体に係わる3次元情報(3次元計測装置1に対する計測対象物体の位置及び姿勢)を算出(計測)する。

【0044】

次に、図7を用いて、図3のS1070における位置姿勢算出処理について詳述する。この処理では、ガウス-ニュートン(Gauss-Newton)法により反復演算し、計測対象物体の位置及び姿勢(以下、sで表す)の概略値を補正する。これにより、計測対象物体の位置及び姿勢を算出する。なお、位置姿勢算出処理は、ガウス-ニュートン法に限られない。例えば、より計算がロバストであるLevenberg-Marquardt法を用いてもよいし、よりシンプルな方法である最急降下法を用いても良い。また、共役勾配法やICCG法など、他の非線形最適化計算手法を用いても良い。

40

【0045】

ここでは、検出されたエッジと投影される3次元形状モデルの線分との間の画像上(2次元平面上)での距離、点群データを構成する点と投影される3次元形状モデルの面との間の撮像部150の座標系(三次元空間中)での距離、の総和(2乗和)を最小化する。これにより、計測対象物体に対する位置及び姿勢を最適化する。より具体的には、1次の

50

テイラー展開により、２次元画像上での点及び直線の符号付距離と、３次元空間中での点及び平面の符号付距離とをそれぞれ、物体の位置及び姿勢の微小変化を示す１次関数として表現する。そして、符号付距離が０になるような位置及び姿勢の微小変化に係わる線形の連立方程式を立式して解く。これにより、物体の位置及び姿勢の微小変化を求め、この値を補正する処理を繰り返す。

【００４６】

(Ｓ１２１０)

３次元計測装置１は、位置姿勢算出部１８０において、まず、初期化処理を行なう。この初期化処理では、例えば、図３のＳ１０１０で得られた計測対象物体の位置及び姿勢の概略値を入力する。

10

【００４７】

(Ｓ１２２０)

３次元計測装置１は、位置姿勢算出部１８０において、エッジ及び点群データと、３次元形状モデルとを対応付けする。この処理では、まず、Ｓ１２１０で得られた計測対象物体の位置及び姿勢の概略値に基づいて３次元形状モデルの各線分を画像へ投影し、投影された３次元形状モデルの各面を撮像部１５０の座標系へ座標変換する。そして、エッジ及び点群データと、３次元形状モデルとを対応付けする。エッジが、各制御点に対応して複数検出された場合には、複数検出されたエッジのうち、投影された線分に対して画像上で最も近いエッジを制御点に対応付ける。この対応付けは、Ｓ１２１０で得られた計測対象物体の位置及び姿勢の概略値に基づいて行なう。また、点群データについては、撮像部１５０の座標系における各点の３次元座標に基づいて３次元形状モデル中の最も近接する面を探索し対応付ける。

20

【００４８】

(Ｓ１２３０)

３次元計測装置１は、位置姿勢算出部１８０において、線形連立方程式を解くための係数行列と誤差ベクトルとを算出する。ここで、係数行列の各要素は、Ｓ１２１０で得られた概略値の微小変化に対する一次の偏微分係数である。エッジについては、画像座標の偏微分係数を算出し、点群データについては、３次元座標の偏微分係数を算出する。また、エッジの誤差ベクトルは、投影された線分と検出されたエッジとの間の２次元平面上（画像）での距離であり、点群データの誤差ベクトルは、点群データを構成する点と３次元形状モデルの面との３次元空間中での距離である。

30

【００４９】

ここで、図８は、線分の投影像と検出されたエッジとの関係の一例を示す図である。この場合、画像の水平方向を $u$ 軸とし、垂直方向を $v$ 軸としている。ある制御点（投影された各線分を画像上で等間隔に分割した点）の画像上での位置を $(u_0, v_0)$ と表し、当該制御点が属する線分 $L$ の画像上での傾きを $(u$ 軸に対する傾き)と表す。傾きは、線分 $L$ の両端の３次元座標を $s$ に基づいて画像上に投影し、画像上での両端の座標を結んだ直線の傾きとして算出する。線分 $L$ の画像上での法線ベクトルは $(\sin, -\cos)$ となる。また、制御点と対応する点の座標を $(u', v')$ とする。ここで、点 $(u', v')$ を通り、傾きがである直線上の点 $(u, v)$ は、

40

$$u \sin \theta - v \cos \theta = d \quad (\text{数1})$$

と表せる( $\theta$ は定数)。ここで、

$$d = u' \sin \theta - v' \cos \theta$$

(定数)とした。

【００５０】

制御点の画像上での位置は、計測対象物体の位置及び姿勢により変化する。計測対象物体の位置及び姿勢は、６自由度である。すなわち、 $s$ は６次元ベクトルであり、計測対象物体の位置を表す３つの要素と、姿勢を表す３つの要素とからなる。姿勢を表す３つの要素は、例えば、オイラー角による表現や、方向が回転軸を表し大きさが回転角を表す３次

50

元ベクトルなどによって表現される。制御点の座標  $(u, v)$  は、 $(u_0, v_0)$  の近傍で 1 次のテイラー展開によって「数 2」のように近似できる。但し、 $s_i$  ( $i = 1, 2, \dots, 6$ ) は、 $s$  の各成分の微小変化を表す。

$$\begin{aligned} u &\approx u_0 + \sum_{i=1}^6 \frac{\partial u}{\partial s_i} \Delta s_i \\ v &\approx v_0 + \sum_{i=1}^6 \frac{\partial v}{\partial s_i} \Delta s_i \end{aligned} \quad (\text{数2})$$

【 0 0 5 1 】

10

正しい  $s$  によって得られる画像上での制御点の位置は、「数 1」が表す直線上にあると仮定できる。「数 2」によって近似される  $u, v$  を「数 1」に代入することにより、「数 3」が得られる。

$$\sin \theta \sum_{i=1}^6 \frac{\partial u}{\partial s_i} \Delta s_i - \cos \theta \sum_{i=1}^6 \frac{\partial v}{\partial s_i} \Delta s_i = d - r \quad (\text{数3})$$

ただし、

$$r = u_0 \sin \theta - v_0 \cos \theta$$

(定数)とした。

20

【 0 0 5 2 】

撮像部 1 5 0 の座標系における 3 次元座標は、計測対象物体の位置及び姿勢  $s$  によって計測対象物体の座標系における 3 次元座標  $(x, y, z)$  に変換することができる。S 1 2 1 0 で得た概略値により、ある点が計測対象物体の座標系の点  $(x_0, y_0, z_0)$  に変換されたとする。 $(x, y, z)$  は、計測対象物体の位置及び姿勢により変化するため、 $(x_0, y_0, z_0)$  の近傍で 1 次のテイラー展開によって「数 4」のように近似できる。

$$\begin{aligned} x &\approx x_0 + \sum_{i=1}^6 \frac{\partial x}{\partial s_i} \Delta s_i \\ y &\approx y_0 + \sum_{i=1}^6 \frac{\partial y}{\partial s_i} \Delta s_i \\ z &\approx z_0 + \sum_{i=1}^6 \frac{\partial z}{\partial s_i} \Delta s_i \end{aligned} \quad (\text{数4})$$

30

【 0 0 5 3 】

S 1 2 2 0 において、点群データ中のある点に対応付けられた 3 次元形状モデルの面の計測対象物体の座標系における方程式を「 $ax + by + cz = e$  ( $a^2 + b^2 + c^2 = 1$ 、 $a, b, c, e$  は定数)」とする。正しい  $s$  によって変換された  $(x, y, z)$  は、平面の方程式「 $ax + by + cz = e$  ( $a^2 + b^2 + c^2 = 1$ )」を満たすと仮定する。「数 4」を平面の方程式に代入すると「数 5」が得られる。

40

$$a \sum_{i=1}^6 \frac{\partial x}{\partial s_i} \Delta s_i + b \sum_{i=1}^6 \frac{\partial y}{\partial s_i} \Delta s_i + c \sum_{i=1}^6 \frac{\partial z}{\partial s_i} \Delta s_i = e - q \quad (\text{数5})$$

ただし、

$$q = ax_0 + by_0 + cz_0$$

(定数)とした。

【 0 0 5 4 】

「数 3」は、S 1 2 2 0 で対応付けが行なわれた全てのエッジについて成り立つ。また

50

、「数 5」は、S 1 2 2 0 で対応付けが行なわれた全ての点群データについて成り立つ。そのため、「数 6」のような  $s_i$  に係わる線形連立方程式が成り立つ。

$$\begin{bmatrix} \sin \theta_1 \frac{\partial u_1}{\partial s_1} - \cos \theta_1 \frac{\partial v_1}{\partial s_1} & \sin \theta_1 \frac{\partial u_1}{\partial s_2} - \cos \theta_1 \frac{\partial v_1}{\partial s_2} & \cdots & \sin \theta_1 \frac{\partial u_1}{\partial s_6} - \cos \theta_1 \frac{\partial v_1}{\partial s_6} \\ \sin \theta_2 \frac{\partial u_2}{\partial s_1} - \cos \theta_2 \frac{\partial v_2}{\partial s_1} & \sin \theta_2 \frac{\partial u_2}{\partial s_2} - \cos \theta_2 \frac{\partial v_2}{\partial s_2} & \cdots & \sin \theta_2 \frac{\partial u_2}{\partial s_6} - \cos \theta_2 \frac{\partial v_2}{\partial s_6} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_1 \frac{\partial x_1}{\partial s_1} + b_1 \frac{\partial y_1}{\partial s_1} + c_1 \frac{\partial z_1}{\partial s_1} & a_1 \frac{\partial x_1}{\partial s_2} + b_1 \frac{\partial y_1}{\partial s_2} + c_1 \frac{\partial z_1}{\partial s_2} & \cdots & a_1 \frac{\partial x_1}{\partial s_6} + b_1 \frac{\partial y_1}{\partial s_6} + c_1 \frac{\partial z_1}{\partial s_6} \\ a_2 \frac{\partial x_2}{\partial s_1} + b_2 \frac{\partial y_2}{\partial s_1} + c_2 \frac{\partial z_2}{\partial s_1} & a_2 \frac{\partial x_2}{\partial s_2} + b_2 \frac{\partial y_2}{\partial s_2} + c_2 \frac{\partial z_2}{\partial s_2} & \cdots & a_2 \frac{\partial x_2}{\partial s_6} + b_2 \frac{\partial y_2}{\partial s_6} + c_2 \frac{\partial z_2}{\partial s_6} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta s_1 \\ \Delta s_2 \\ \Delta s_3 \\ \Delta s_4 \\ \Delta s_5 \\ \Delta s_6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} d_1 - r_1 \\ d_2 - r_2 \\ \vdots \\ e_1 - q_1 \\ e_2 - q_2 \\ \vdots \end{bmatrix} \quad (\text{数6})$$

10

【 0 0 5 5 】

ここで、「数 6」を「数 7」のように表す。

$$J \Delta s = E \quad (\text{数7})$$

【 0 0 5 6 】

「数 6」の線形連立方程式の係数行列 J を算出するための偏微分係数の算出は、例えば、非特許文献 1 に開示された技術を用いて行なう。

【 0 0 5 7 】

( S 1 2 4 0 )

「数 7」をもとに、行列 J の一般化逆行列  $(J^T \cdot J)^{-1} \cdot J^T$  を用いて補正值  $s$  を求める。ここで、エッジや点群データには、誤検出などによる外れ値が多いため、次に述べるようなロバスト推定手法を用いる。一般に、外れ値であるエッジ（又は点群データ）では、誤差  $d - r$ （ $e - q$ ）が大きくなる。そのため、「数 6」、「数 7」の連立方程式に対する寄与度が大きくなり、その結果得られる  $s$  の精度が低下してしまう。そこで、誤差  $d - r$ （ $e - q$ ）が大きいデータに対しては小さな重みを与え、誤差  $d - r$ （ $e - q$ ）が小さいデータに対しては大きな重みを与える。重みは、例えば、「数 8」に示すような T u k e y の関数により与える。

20

$$w(d-r) = \begin{cases} \left(1 - ((d-r)/c_1)^2\right)^2 & |d-r| \leq c_1 \\ 0 & |d-r| > c_1 \end{cases}$$

$$w(e-q) = \begin{cases} \left(1 - ((e-q)/c_2)^2\right)^2 & |e-q| \leq c_2 \\ 0 & |e-q| > c_2 \end{cases} \quad (\text{数8})$$

30

$c_1$ 、 $c_2$  は、定数である。なお、重みを与える関数は、T u k e y の関数である必要はなく、誤差の大きいデータに対して小さな重みを与え、誤差小さいデータに対して大きな重みを与える関数であれば特に問わない。そのため、例えば、H u b e r の関数などを用いても良い。

【 0 0 5 8 】

各データ（エッジ又は点群データ）に対応する重みを  $w_i$  とする。ここで、「数 9」のように重み行列 W を定義する。

40

$$W = \begin{bmatrix} w_1 & & 0 \\ & w_2 & \\ & & \ddots \\ 0 & & & w_{N_c} \end{bmatrix} \quad (\text{数9})$$

【 0 0 5 9 】

重み行列 W は、対角成分以外は全て 0 の正方行列であり、対角成分には重み  $w_i$  が入る。この重み行列 W を用いて、「数 7」を「数 10」のように変形する。

$$\mathbf{WJ}\Delta\mathbf{s} = \mathbf{WE} \quad (\text{数10})$$

【 0 0 6 0 】

「数 1 1」のように「数 1 0」を解くことにより補正值  $s$  を求める。

$$\Delta\mathbf{s} = (\mathbf{J}^T \mathbf{WJ})^{-1} \mathbf{J}^T \mathbf{WE} \quad (\text{数11})$$

( S 1 2 5 0 )

3次元計測装置 1 は、S 1 2 4 0 で算出された補正值  $s$  により、S 1 2 1 0 で得た概略値を補正する。これにより、計測対象物体の位置及び姿勢を算出する。

【 0 0 6 1 】

( S 1 2 6 0 )

3次元計測装置 1 は、収束しているか否かの判定を行なう。収束していれば、この処理は終了し、そうでなければ、再度、S 1 2 2 0 の処理に戻る。なお、収束しているか否かは、補正值  $s$  がほぼ 0 である場合や、誤差ベクトルの二乗和の補正前と補正後の差がほぼ 0 である場合に収束したと判定する。

【 0 0 6 2 】

以上説明したように実施形態 1 によれば、計測対象物体の位置及び姿勢の概略値と、計測対象物体の 3 次元形状モデルとに基づいて局所的に照明を照射し、その状態で計測対象物体を撮像する。そして、その撮像された画像に対して画像特徴の検出と距離情報の検出を実施し、その結果に基づいて計測対象物体に係わる 3 次元情報を算出する。すなわち、画像特徴検出用の画像（2 次元画像）と距離計測用の画像（3 次元画像）とを相補的に利用して計測対象物体の位置及び姿勢を計測する。

【 0 0 6 3 】

これにより、計測対象物体の表面属性や構造に左右されず、当該物体に係わる 3 次元情報の計測を高精度に行なうことができる。また、3 次元計測装置の構成も複雑化しない。

【 0 0 6 4 】

更に、画像特徴検出用の画像と距離計測用の画像とを 1 枚の画像として撮像するため、3 次元計測装置と計測対象物体との間の位置及び姿勢の関係が高速に変化している場合であっても、当該物体に係わる 3 次元情報の計測を高精度に行なえる。また、計測処理の高速化も図れる。

【 0 0 6 5 】

なお、上述した実施形態 1 では、画像特徴検出用の画像と距離計測用の画像とを 1 枚の画像として同時に取得する場合について説明したが、画像特徴検出用の画像と距離計測用の画像とを別々に撮像しても良い。例えば、3 次元計測装置と計測対象物体とが共に静止しているのであれば、それぞれが異なるタイミングで撮像された画像を用いても、上述した処理が行なえる。

【 0 0 6 6 】

( 実施形態 2 )

次に、実施形態 2 について説明する。実施形態 2 においては、複数の撮像装置を用いて、計測対象物体の各部から距離情報を取得し、その距離情報に基づいて計測対象物体の位置及び姿勢の計測を行なう場合について説明する。

【 0 0 6 7 】

図 9 は、実施形態 2 に係わる 3 次元計測装置 1 の構成の一例を示す図である。なお、実施形態 1 における図 1 と同一の符号が付してあるものは同様の機能を有する。ここでは、実施形態 1 との相違点について重点的に説明する。

【 0 0 6 8 】

3 次元計測装置 1 は、3 次元形状モデル保持部 1 1 0 と、概略値入力部 1 2 0 と、照明領域決定部 1 3 0 と、照明部 1 4 0 と、撮像部 1 5 0 と、距離算出部 1 7 0 と、位置姿勢算出部 1 8 0 とを具備して構成される。すなわち、実施形態 1 の構成から画像特徴検出部 1 6 0 が除かれている。

## 【0069】

ここで、撮像部150は、複数の撮像装置190から構成される。各撮像装置190の内部パラメータ（例えば、焦点距離、主点位置）や、各撮像装置190同士の幾何学的関係は、予め校正しておく。照明部140の内部パラメータも予め校正しておく。各撮像装置同士の幾何学的関係は、既知のパターン（例えば、格子模様の描かれた平面パターン）を撮像し、その撮像された画像の対応点をもとにEssential行列を算出し、そのEssential行列を位置及び姿勢に分解することにより校正すれば良い。

## 【0070】

距離算出部170は、撮像部150により撮像された画像に基づいて計測対象物体における点の距離（距離情報）を算出（計測）する。距離の算出は、画像上の大多数の画素について行なっても良いし、例えば、Harris検出器といった特徴点検出器により検出される特徴点のみについて行なっても良い。すなわち、複数の撮像装置の間で対応付けることができるのであれば、いかなる点を距離の算出対象としても良い。

10

## 【0071】

位置姿勢算出部180は、画像特徴の検出結果を用いずに、計測対象物体の位置及び姿勢を算出（計測）する。すなわち、実施形態2においては、距離算出部170により算出された距離情報に基づいて計測対象物体の位置及び姿勢を算出する。具体的には、距離算出部170により算出された距離情報に3次元形状モデルをあてはめることにより、計測対象物体の位置及び姿勢を算出する。

20

## 【0072】

ここで、図10を用いて、実施形態2に係わる3次元計測装置1により計測対象物体の位置及び姿勢を計測する際の処理の流れの一例について説明する。

## 【0073】

（S2010）

3次元計測装置1は、概略値入力部120において、計測対象物体に係わる3次元情報の概略値（すなわち、3次元計測装置1に対する物体の位置及び姿勢の概略値）を入力する。このS2010における処理は、実施形態1を説明した図3のS1010の処理と同様となる。

## 【0074】

（S2020）

3次元計測装置1は、照明領域決定部130において、照明領域（すなわち、距離計測用の領域）を決定する。このS2020における処理は、実施形態1を説明した図3のS1020の処理と同様となる。

30

## 【0075】

（S2030）

3次元計測装置1は、照明部140において、S2020で決定された距離計測用の領域に対して所定の照明パターン（構造化光）を照射する。距離計測用の照明は、例えば、撮像部150により撮像される画像内において、濃淡変化が小さく、画像特徴が検出され難い領域に対して行なわれる。このS2030における処理は、実施形態1を説明した図3のS1030の処理と同様となる。なお、実施形態1と同様に、距離計測用の照明が照射されない領域（すなわち、画像特徴検出用の領域）は、環境光により十分な明るさが得られればよく、特別な光を照射する必要はない。環境光により十分な明るさが得られないのであれば、例えば、均一な白色光が照射されるように照明パターンを変更すれば良い。

40

## 【0076】

（S2040）

3次元計測装置1は、撮像部150を構成する複数の撮像装置190により計測対象物体の画像を撮像する。なお、この撮像は、距離計測を行なう領域に対して局所的に照明が行なわれた状態で行なわれる。

## 【0077】

（S2050）

50



3次元計測装置1は、距離算出部170において、撮像部150により撮像された画像に基づいて距離（距離情報）を算出（計測）する。実施形態2においては、撮像された画像から特徴点の検出は行わず、基準とする撮像装置190が撮像する画像の全画素について距離算出を行なう。距離の算出に際しては、各撮像装置190で撮像された画像間で各画素の対応付けが必要となる。距離計測用の領域においては、構造化光（例えば、マルチスリット光）の投影像を時系列に追跡し、画像間における各画素の対応付けを行なう。照明が照射されない領域については、例えば、エピポーラ拘束により決定されるエピポーラ線上の点に対して画素値のブロックマッチングを実施し、画像間における各画素を対応付ければ良い。なお、画像間における各画素の対応付けは、これに限られない。例えば、

10

【0078】

（S2060）

3次元計測装置1は、位置姿勢算出部180において、計測対象物体に係わる3次元情報（3次元計測装置1に対する計測対象物体の位置及び姿勢）を算出（計測）する。ここでは、S2050で算出された距離情報を3次元座標値を持つ点群データに変換し、点群データに3次元形状モデルをあてはめるべく、計測対象物体の位置及び姿勢を算出する。この処理では、まず、点群データの各点に対して、3次元形状モデル中の最も近接する面を選択し、それぞれを対応付ける。そして、各点と対応する面との距離の総和が最小化するように、計測対象物体の位置及び姿勢の概略値に対して補正を繰り返し行なう。これにより、計測対象物体の位置及び姿勢を算出する。なお、S2060における位置姿勢算出処理は、基本的には、実施形態1を説明した図3のS1070の処理と同様となる。相違点としては、画像特徴に関する処理を行わない点である。そのため、ここではその詳細な説明については省略する。

20

【0079】

以上説明したように実施形態2によれば、画像特徴の検出処理を行わずに、複数の撮像装置から得られる距離情報に基づいて計測対象物体に係わる3次元情報の計測を行なう。具体的には、計測対象物体中の濃淡変化の乏しい領域を照明し、計測対象物体の各部から満遍なく距離情報を取得する。これにより、実施形態1と同様に、計測対象物体の表面属性や構造に左右されず、当該物体に係わる3次元情報の計測を高精度に行なうことができる。また、3次元計測装置の構成も複雑化しない。

30

【0080】

（実施形態3）

次に、実施形態3について説明する。上述した実施形態1及び2においては、距離計測用の領域に対して局所的に照明を行なう場合（照明制御）について説明した。これに対して、実施形態3においては、照明制御を行わずに、上述した実施形態1及び2と同等の処理を行なう場合について説明する。

40

【0081】

図11は、実施形態3に係わる3次元計測装置1の構成の一例を示している。なお、実施形態1における図1と同一の符号が付してあるものは同様の機能を有する。ここでは、実施形態1との相違点について重点的に説明する。

【0082】

3次元計測装置1は、3次元形状モデル保持部110と、概略値入力部120と、領域決定部230と、照明部140と、撮像部150と、画像特徴検出部160と、距離算出部170と、位置姿勢算出部180とを具備して構成される。すなわち、実施形態1の構成から照明領域決定部130が除かれ、領域決定部230が新たに設けられている。

【0083】

50

領域決定部 230 は、距離計測に用いる領域（本実施形態においては、領域の単位は画素を指す）を決定する。この領域は、3次元形状モデル保持部 110 に保持された計測対象物体の3次元形状モデルと、概略値入力部 120 により入力された計測対象物体の位置及び姿勢の概略値とに基づき決められる。すなわち、撮像部 150 が撮像する画像内の各領域を判定し、距離計測用の領域を決定する。なお、距離計測を行なうと決められた領域以外から画像特徴の検出が行なわれることになる。

【0084】

画像特徴検出部 160 は、撮像部 150 により撮像された画像から計測対象物体を示す画像特徴を検出する。なお、実施形態 3 においては、画像特徴検出部 160 は、対象となる領域を特に限定せずに画像特徴の検出を行なう。画像特徴検出部 160 により検出された画像特徴は、領域決定部 230 の決定結果に基づいて取捨選択される。

10

【0085】

距離算出部 170 は、計測対象物体における一つ以上の点の距離を算出する。ここでは、構造化光（マルチスリット光）を物体に照射して撮像された画像内におけるスリットの投影像と、照明部 140 及び撮像部 150 の幾何学的関係とを用いて、スリット光が照射された領域の距離を三角測量により算出する。距離の算出は、対象となる領域を特に限定せずに行なう。距離算出部 170 により算出された距離情報は、領域決定部 230 の決定結果に基づいて取捨選択される。

【0086】

位置姿勢算出部 180 は、計測対象物体に係わる3次元情報（すなわち、計測対象物体の位置及び姿勢）を算出する。この3次元情報の算出は、例えば、画像特徴検出部 160 により検出された画像特徴と、距離算出部 170 により算出された距離情報とに基づいて行なわれる。

20

【0087】

ここで、図 12 を用いて、実施形態 3 に係わる3次元計測装置 1 により計測対象物体の位置及び姿勢を計測する際の処理の流れの一例について説明する。

【0088】

（S3010）

3次元計測装置 1 は、概略値入力部 120 において、計測対象物体に係わる3次元情報の概略値（すなわち、3次元計測装置 1 に対する物体の位置及び姿勢の概略値）を入力する。本実施形態においては、物体の位置及び姿勢の概略値として、3次元計測装置 1 が当該物体から過去（例えば、直前）に計測した計測値を用いる。

30

【0089】

（S3020）

3次元計測装置 1 は、領域決定部 230 において、撮像部 150 が撮像する画像の各領域に対して距離情報に用いるか、画像特徴に用いるかを決定する。なお、この領域は、3次元形状モデル保持部 110 に保持された計測対象物体の3次元形状モデルと、概略値入力部 120 により入力された計測対象物体の位置及び姿勢の概略値とに基づいて決められる。領域の決定方法は、実施形態 1 を説明した図 3 の S1020 と同様であるのでその詳細な説明については省略する。

40

【0090】

（S3030）

3次元計測装置 1 は、撮像部 150 において、計測対象物体の画像を撮像する。

【0091】

（S3040）

3次元計測装置 1 は、画像特徴検出部 160 において、撮像部 150 により撮像された画像に基づいて画像特徴の検出を行なう。ここでは、実施形態 1 と同様に、画像特徴としてエッジを検出する。実施形態 1 においては、距離計測を行なうと決定された領域（画素）に対してはエッジの検出を行なわなかったが、実施形態 3 においては、画像全体からエッジの検出を行なう。その点を除いては、実施形態 1 を説明した図 3 の S1050 と同様

50

であるのでその詳細な説明については省略する。なお、上述した通り、画像全体からエッジ検出を行なった後、領域決定部 230 の決定結果に基づいてその検出されたエッジの取捨選択が行なわれる。エッジの取捨選択では、各制御点の画像を 1 画素単位で量子化した座標が、S3020 で距離計測を行なうと決定された領域（画素）に相当する場合、該当する画素のエッジの検出結果を削除する。

【0092】

（S3050）

3次元計測装置 1 は、距離算出部 170 において、計測対象物体における点の距離の算出（計測）を行なう。上述したように、マルチスリット光を物体に照射した画像を撮像し、その撮像された画像におけるスリットの投影像と、照明部 140 及び撮像部 150 の幾何学的関係とを用いてスリット光が照射された領域の距離を三角測量により算出する。距離の算出は、対象となる領域を特に限定せずに行なう。上述した通り、画像全体から距離の算出が行なわれた後、領域決定部 230 の決定結果に基づいてその検出された距離情報の取捨選択が行なわれる。距離情報の取捨選択では、まず、計測された距離を距離算出部 170 の座標系における 3次元座標に変換した後、更に、その座標値を撮像部 150 の座標系に変換し、その結果を画像へ投影する。そして、投影された画像座標を 1 画素単位で量子化した座標が、S3020 で距離情報を用いると決定された領域（画素）の座標以外の領域であれば、該当する距離計測の結果を削除する。

【0093】

（S3060）

3次元計測装置 1 は、位置姿勢算出部 180 において、計測対象物体に係わる 3次元情報（3次元計測装置 1 に対する計測対象物体の位置及び姿勢）を算出（計測）する。この算出は、S3040 で検出された画像特徴と、S3050 で算出された距離情報とに基づいて行なわれる。なお、計測対象物体の位置姿勢算出処理は、実施形態 1 を説明した図 3 の S1070 と同様であるのでその詳細な説明については省略する。

【0094】

以上説明したように実施形態 3 によれば、照明制御を行わずに、上述した実施形態 1 及び 2 と同様の結果を得ることができる。これにより、実施形態 1 及び 2 と同様に、計測対象物体の表面属性や構造に左右されず、当該物体に係わる 3次元情報の計測を高精度に行なうことができる。また、3次元計測装置の構成も複雑化しない。

【0095】

なお、上述した実施形態 3 では、撮像された画像全体に対して画像特徴の検出や距離情報の算出を行なった後、領域決定部 230 による決定結果に基づいてエッジの検出結果や距離計測の結果を取捨選択していたが、これに限られない。例えば、領域決定部 230 の決定結果に基づいて必要となる領域のみから画像特徴を検出したり、距離情報を算出したりするようにしても良い。この場合、画像全体に対して画像特徴の検出や距離情報の算出を行なう必要がなくなるので、処理の高速化が期待できる。

【0096】

（実施形態 4）

次に、実施形態 4 について説明する。上述した実施形態 1～3 においては、計測対象物体の三次元形状モデルを用いて距離計測用の領域を決定する場合について説明した。これに対して、実施形態 4 においては、計測対象物体の三次元形状モデルを用いずに、距離計測用の領域を決定する場合について説明する。

【0097】

図 13 は、実施形態 4 に係わる 3次元計測装置 1 の構成の一例を示している。なお、実施形態 1 における図 1 と同一の符号が付してあるものは同様の機能を有する。ここでは、実施形態 1 との相違点について重点的に説明する。

【0098】

3次元計測装置 1 は、実施形態 1 の構成に加えて、3次元形状情報取得部 200 が新たに設けられる。3次元形状情報取得部 200 は、外部に設けられた距離センサ 300 と接

10

20

30

40

50

続されている。

#### 【0099】

3次元形状情報取得部200は、計測対象物体の3次元形状を示す情報を取得する。本実施形態においては、計測対象物体の3次元形状を示す情報として、距離センサ300から距離画像（計測対象物体及びその周辺の3次元形状）を取得する。ここで、距離センサ300は、例えば、シーン中に固定されている。距離センサ300は、距離画像を計測できれば良く、いかなる方式を採用しても良い。例えば、距離計測時に照明を行なうアクティブ式であっても良いし、複数の撮像装置を利用するパッシブ式であっても良い。また、例えば、Time-of-Flight方式などの三角測量を利用しない方式を採用しても良い。

10

#### 【0100】

なお、距離センサ300と撮像部150との間の相対的な位置及び姿勢を示す値は、既知であるものとする。例えば、撮像部150がロボットアームに搭載されている場合には、ロボット座標系における距離センサ300の位置及び姿勢を予め求めておく。3次元計測装置1においては、計測に際してロボットから出力される動きパラメータを用いて、ロボット座標系における撮像部150の位置及び姿勢を算出し、距離センサ300と撮像部150との間の相対的な位置及び姿勢を示す値に変換する。

#### 【0101】

照明領域決定部130は、距離センサ300から得られる距離画像に基づいて距離計測用の領域を決定する。より具体的には、距離画像における各画素の距離情報に基づいて距離画像を領域分割し、当該分割された領域の中から距離計測用の領域を決定する。

20

#### 【0102】

次に、図14を用いて、実施形態4に係わる3次元計測装置1により計測対象物体の位置及び姿勢を計測する際の処理の流れの一例について説明する。なお、実施形態4に係わる3次元計測装置1の全体的な動作は、実施形態1を説明した図3と同様となるため、ここでは相違する点（S1020の領域決定処理）について説明する。

#### 【0103】

##### （S4010）

領域決定処理では、まず、3次元計測装置1は、3次元形状情報取得部200において、距離センサ300から距離画像を取得する。なお、距離センサ300における距離画像の取得は、3次元計測装置1からの指示に基づいて行なわれても良いし、距離センサ300側で独立して行なっておき、最新の距離画像を3次元形状情報取得部200側に渡すようにしても良い。

30

#### 【0104】

##### （S4020）

次に、3次元計測装置1は、照明領域決定部130において、距離画像を領域分割する。領域分割では、隣り合う画素を比較し、距離が大きく変化しない画素群を一つの領域としてまとめる。これにより、距離画像を複数の領域に分割する。領域分割は、例えば、「X. Jiang and H. Bunke, "Range Image Segmentation: Adaptive Grouping of Edges into Regions," Proc. ACCV '98, pp.299-306, 1998.」に開示された技術を用いて行なえば良い。なお、距離計測の対象となる領域は、一定以上（所定値以上）の面積を持つ領域が対象となる。

40

#### 【0105】

##### （S4030）

次に、3次元計測装置1は、照明領域決定部130において、S4020で距離計測の対象となった領域を、距離センサ300と撮像部150との間の相対的な位置及び姿勢を示す値を用いて撮像部150の画像と同サイズのマスク画像に投影する。ここでは、実施形態1で説明した通り、マスク画像の各画素は0で初期化しておき、領域が投影された画素の値を1に変更する。全ての対象領域の投影が終われば、マスク画像上で値が1となっている画素の座標を、当該座標及び距離情報に基づいて撮像部150を基準とした3次元

50

座標に変換する。具体的には、距離センサ 300 と撮像部 150 との間の相対的な位置及び姿勢を示す値を用いて、距離センサ 300 により取得された距離画像を撮像部 150 の座標系における距離画像に変換する。そして、当該変換後の距離画像内の各画素における座標及び距離情報に基づいて 3 次元座標を生成（変換）する。その後、撮像部 150 と照明部 140 との間の相対的な位置及び姿勢を示す値と、照明部 140 の内部パラメータとに基づいて、当該求めた 3 次元座標を照明パターンの座標（距離計測用の領域を示す座標）に変換する。

#### 【0106】

3 次元計測装置 1 は、照明部 140 において、上述した処理で決められた距離計測用の領域に対して所定の照明パターン（構造化光）を照射する。なお、以降の処理については、実施形態 1 と同様の流れとなるため、その説明については省略する。

#### 【0107】

以上説明したように実施形態 4 によれば、計測対象物体の 3 次元形状モデルを用いず、外部のセンサ（他の視点）から得られた距離画像を用いて距離計測用の領域を決定する。この場合にも、上述した実施形態 1 ～ 3 と同様の結果を得ることができる。

#### 【0108】

##### （実施形態 5）

次に、実施形態 5 について説明する。上述した実施形態 1 ～ 4 においては、距離計測を行なう領域を計算により自動的に算出する場合について説明した。これに対して、実施形態 5 においては、ユーザによるマニュアル操作に基づいて決定する場合について説明する。なお、実施形態 5 に係わる 3 次元計測装置 1 の構成は、実施形態 4 を説明した図 13 と同様の構成となるため、ここでは、その図示については省略し、実施形態 4 と相違する点について簡単に説明する。

#### 【0109】

実施形態 4 においては、距離センサ 300 により取得された距離画像に対して領域分割処理を実施し、距離計測用の領域を決定していた。これに対して、実施形態 5 では、ユーザによるマニュアル操作に基づいて、距離センサ 300 により取得された距離画像に対して領域分割を実施し、距離計測用の領域を決定する。

#### 【0110】

ユーザによるマニュアル操作は、例えば、図 15 に示すユーザインタフェース 400 を用いて行なわれる。領域 410 には、距離センサ 300 により取得された距離画像が表示されている。ユーザは、例えば、マウスを用いて、領域 410 内から距離計測用の領域を指定する。全ての領域の指定が済むと、ユーザは、マウスを用いて、OK ボタン 420 を押下する。これにより、ユーザによる距離計測用の領域の指定が完了する。なお、ユーザにより Cancel ボタン 430 が押下された場合には、領域の指定が解除される。

#### 【0111】

ユーザのマニュアル操作に基づいて領域が指定されると、3 次元計測装置 1 は、実施形態 4 と同様にして照明領域を決定する。具体的には、ユーザにより距離画像上で指定された各領域を、距離センサ 300 と撮像部 150 との間の相対的な位置及び姿勢を示す値を用いて撮像部 150 の画像と同サイズのマスク画像に投影する。なお、マスク画像の各画素は 0 で初期化しておき、領域が投影された画素の値を 1 に変更する。全ての対象領域の投影が終われば、マスク画像上で値が 1 となっている画素の座標を、当該座標及び距離情報に基づいて撮像部 150 を基準とした 3 次元座標に変換する。具体的には、距離センサ 300 と撮像部 150 との間の相対的な位置及び姿勢を示す値を用いて、距離センサ 300 により取得された距離画像を撮像部 150 の座標系における距離画像に変換する。そして、当該変換後の距離画像内の各画素における座標及び距離情報に基づいて 3 次元座標を生成（変換）する。その後、撮像部 150 と照明部 140 との間の相対的な位置及び姿勢を示す値と、照明部 140 の内部パラメータとに基づいて、当該求めた 3 次元座標を照明パターンの座標（距離計測用の領域を示す座標）に変換する。これにより、距離計測用の領域が決定する。

## 【0112】

以上説明したように実施形態5によれば、ユーザのマニュアル操作に基づいて距離計測用の領域を決定する。この場合にも、上述した実施形態1～4と同様の結果を得ることができる。これにより、自動的に実施された領域分割処理の結果が不適切であったとしても、距離計測用の領域を適切に決定することができる。

## 【0113】

以上が本発明の代表的な実施形態の一例であるが、本発明は、上記及び図面に示す実施形態に限定することなく、その要旨を変更しない範囲内で適宜変形して実施できるものである。

## 【0114】

## (変形実施形態1)

また、上述した実施形態1～5では、マルチスリット光を物体に照射し、スリット光が照射された領域の距離を三角測量により算出する場合について説明したが、距離の算出方法は、この方法に限定されない。例えば、マルチスリット光以外の照明パターン（例えば、単一や複数のスポット光、単一のスリット光、ランダムドットパターン、局所的な平面パターン、空間コード化パターン）を物体に照射し、三角測量により距離を算出するようにしてもよい。また、距離の算出は、三角測量以外にも、例えば、照明光を物体に照射してから戻ってくるまでの飛行時間を用いて距離を計測する「Time-of-Flight」方式を用いてもよい。また、例えば、人為的に光を投影して距離計測を行なうアクティブ計測ではなく、複数のカメラによって計測対象物体を撮像し、ステレオ法によって距離の算出を行なうパッシブな計測を行なってもよい。その他、計測対象物体の位置及び姿勢の算出に用いるのに足る精度で距離の算出が行なえるのであれば、特にその方法は問わない。

## 【0115】

## (変形実施形態2)

また、上述した実施形態1～5では、撮像部（例えば、カメラ）150の画像面において、マスク画像を作成し、撮像部150と照明部140との間の相対的な位置及び姿勢を示す値を用いて照明パターン（距離計測用の領域）を決めていた。しかし、距離計測用の領域の決定の仕方（照明パターンの作成方法）は、これに限られない。例えば、撮像部150に対する計測対象物体の位置及び姿勢の概略値を照明部140に対する位置及び姿勢に変換し、照明パターンに相当する画像上に3次元形状モデルや領域分割結果を直接投影することによって照明パターンを作成しても良い。この場合、予め校正済みの撮像部150と照明部140との間の相対的な位置及び姿勢と、照明部140の内部パラメータとを用いて3次元形状モデルや領域分割結果を画像上に投影すれば良い。

## 【0116】

## (変形実施形態3)

上述した実施形態1～3では、計測対象物体の位置及び姿勢の概略値に基づいて3次元形状モデルを画像上に投影し、その投影結果に基づいて距離計測用の領域や、距離計測結果を用いるべき領域を決定していたが、この処理を変形して実施しても良い。これらの領域の決定に際して、計測対象物体の位置及び姿勢の計測精度や、計測対象物体の運動を鑑みても良い。例えば、カルマンフィルタに計測された物体の位置及び姿勢を時系列データとして入力することにより得られる物体の位置及び姿勢の共分散行列を精度の指標として利用しても良い。すなわち、3次元形状モデルを構成する線分の端点を投影する際に、共分散行列の一定の範囲（例えば3）に相当する画像上での領域（楕円領域）を算出し、線分ごとに両端点の楕円領域を包含するような領域を設定する。そして、その包含領域では距離の計測は行なわない、又は、距離計測結果を用いないようにする。また、同様にカルマンフィルタを利用し、物体の速度・角速度を推定することにより、物体の位置及び姿勢の概略値が得られた時刻と現在の時刻の差をもとに現在の物体の位置及び姿勢を予測し、その結果に基づいて上述した領域の決定処理を行なっても良い。

## 【0117】

(変形実施形態 4)

上述した実施形態 1、3～5 では、画像特徴としてエッジ検出する場合について説明したが、画像特徴はエッジに限られない。例えば、非特許文献 1 に開示されるように、Harris の検出器を用いて画像から特徴点を検出し、その特徴点に 3 次元形状モデルの点をあてはめることにより物体の位置及び姿勢を算出しても良い。この場合、距離計測用の（照明）領域の決定に際しては、特徴点の情報を用いる。具体的には、過去に撮像された画像から特徴点を検出し、その特徴点の検出結果に基づいて物体の位置及び姿勢を算出する。そして、その算出結果に基づいて 3 次元形状モデルを画像上に投影し、その投影像上にある特徴点を選択する。その選択された特徴点の画像座標から一定距離以内では、距離計測用の照明を照射しないように照明パターン（距離計測用の領域）を変更する。

10

【0118】

(変形実施形態 5)

上述した実施形態 1～5 では、エッジ、特徴点などの画像特徴が検出され易い領域を判定し、それ以外の領域を距離計測用の領域として決めていたが、この照明領域の決定の仕方はこれに限られない。始めに、濃淡変化に乏しい領域を判定し、その領域を距離計測用の領域として決めても良い。すなわち、物体の位置及び姿勢の概略値に基づいて 3 次元形状モデルを構成する各面を描画し、これらの領域について距離計測用の照明を照射するよう決定しても良い。また、3 次元形状モデルを構成する各面について、予め濃淡変化に乏しいか否かの情報を持たせても良い。この場合、物体の位置及び姿勢の概略値に基づいて 3 次元形状モデルを描画し、濃淡変化に乏しい面に相当する領域に距離計測用の照明を照射する旨の決定を行なう。以上が、変形実施形態についての説明である。

20

【0119】

なお、本発明は、例えば、システム、装置、方法、プログラム若しくは記録媒体等としての実施態様を採ることもできる。具体的には、複数の機器から構成されるシステムに適用してもよいし、また、一つの機器からなる装置に適用しても良い。

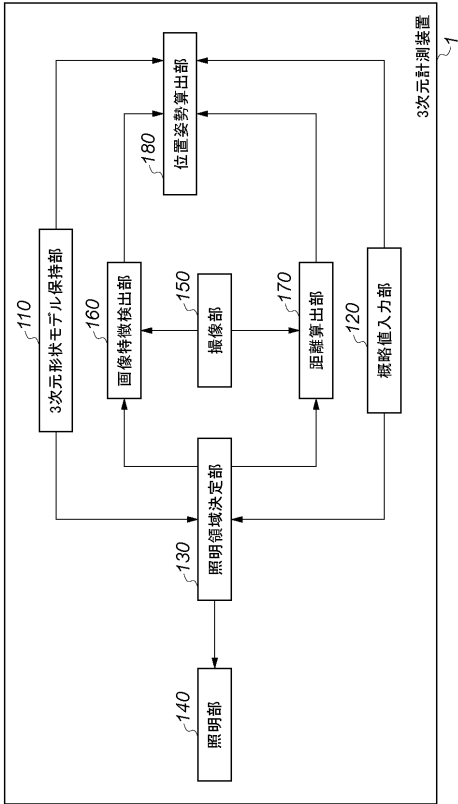
【0120】

(その他の実施形態)

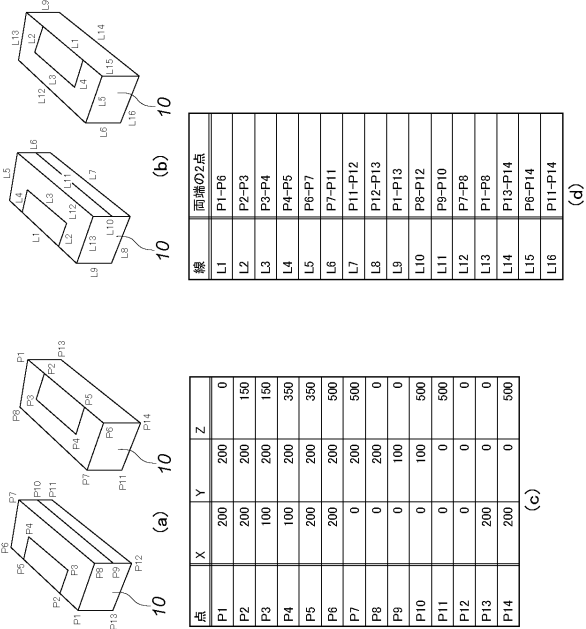
本発明は、以下の処理を実行することによっても実現される。即ち、上述した実施形態の機能を実現するソフトウェア（プログラム）を、ネットワーク又は各種記憶媒体を介してシステム或いは装置に供給し、そのシステム或いは装置のコンピュータ（又は CPU や MPU 等）がプログラムを読み出して実行する処理である。

30

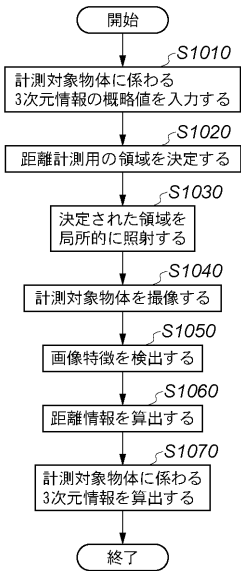
【図 1】



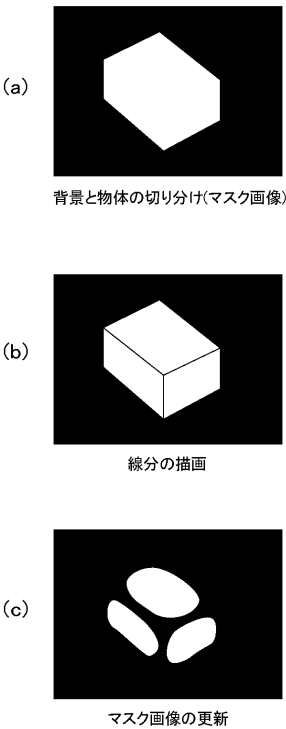
【図 2】



【図 3】

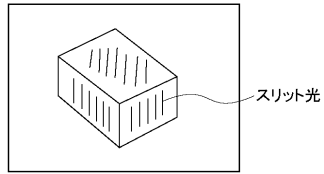


【図 4】

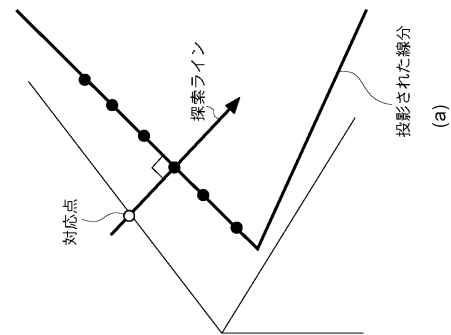
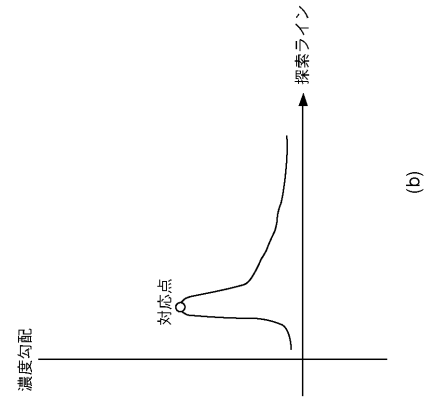




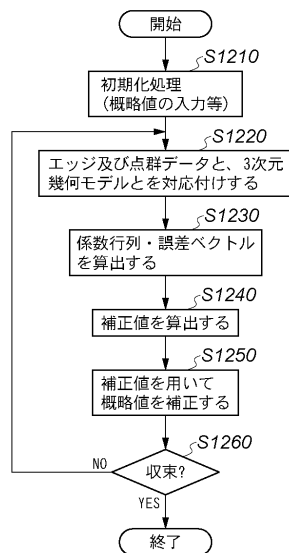
【図 5】



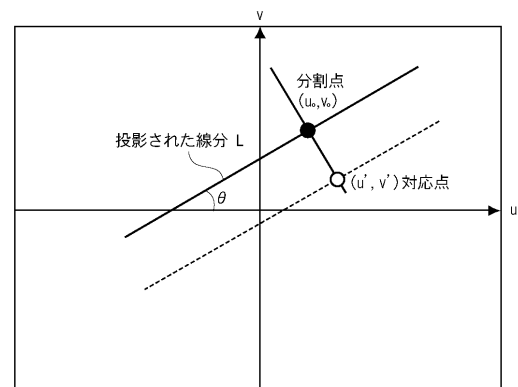
【図 6】



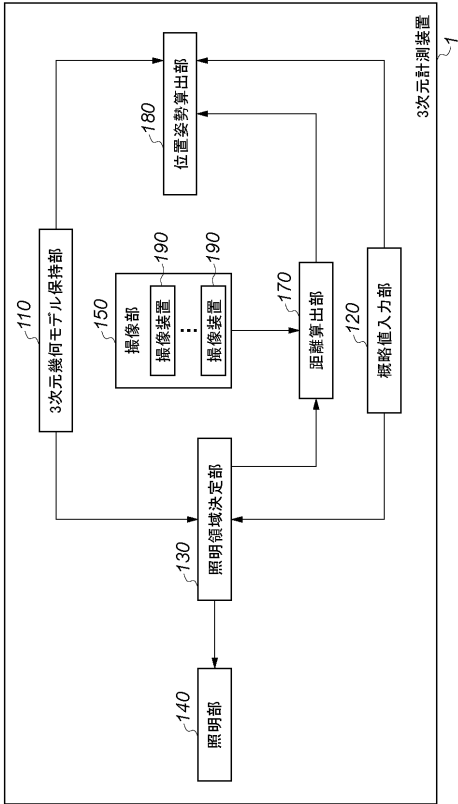
【図 7】



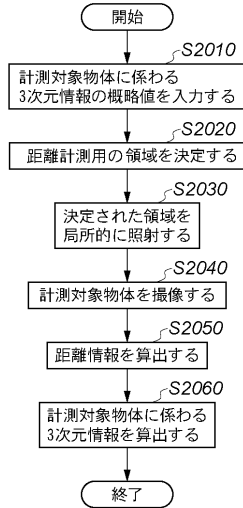
【図 8】



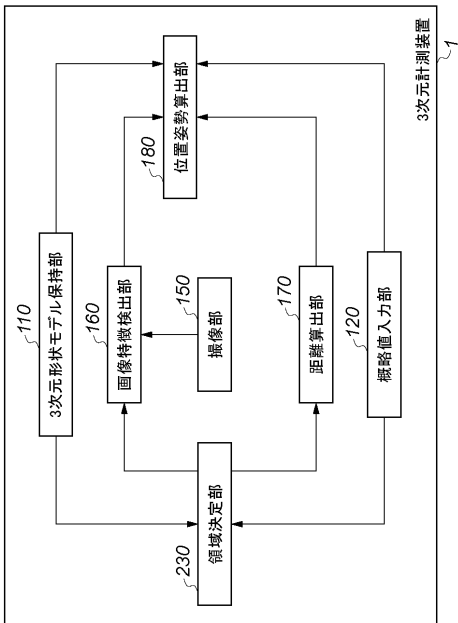
【図 9】



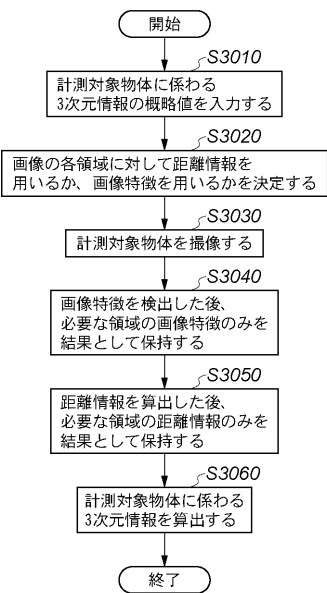
【図 10】



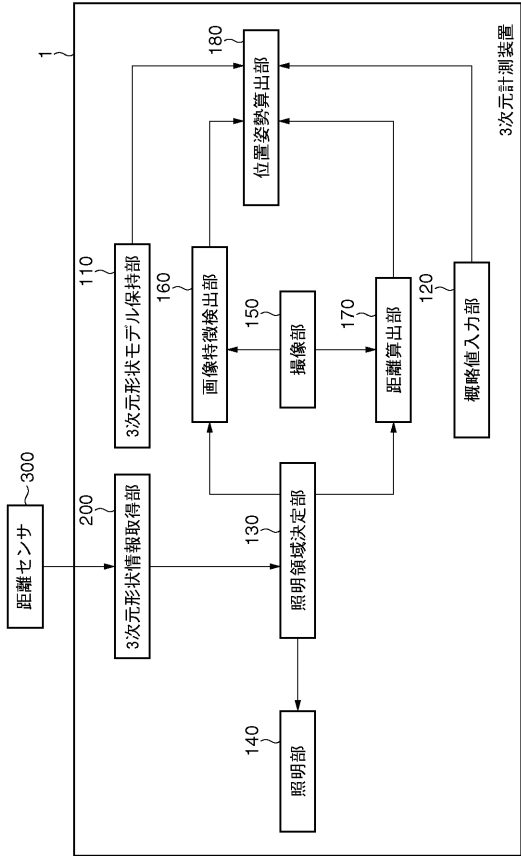
【図 11】



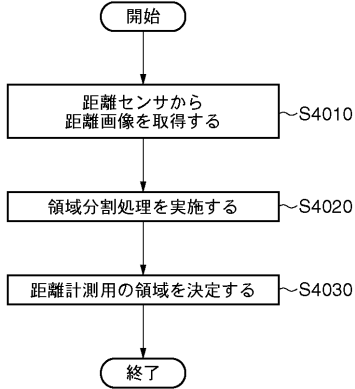
【図 12】



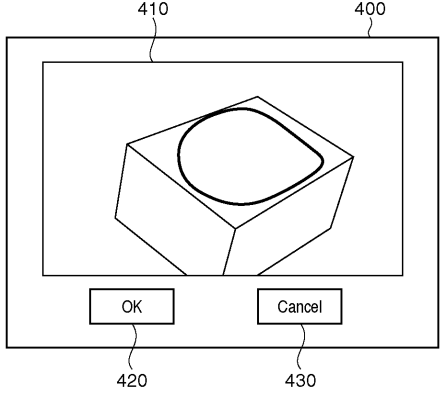
【図 1 3】



【図 1 4】



【図 1 5】



---

フロントページの続き

- (72)発明者 小竹 大輔  
東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キヤノン株式会社内
- (72)発明者 内山 晋二  
東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キヤノン株式会社内

審査官 須中 栄治

- (56)参考文献 特開2009-014415(JP,A)  
特開2009-129189(JP,A)  
特開2008-046750(JP,A)  
特開2006-300929(JP,A)  
特開2001-143073(JP,A)  
国際公開第2006/120759(WO,A1)  
特開2008-217544(JP,A)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)  
G01B11/00-11/30  
G06T1/00-1/40; 3/00-9/40