

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第6566768号  
(P6566768)

(45) 発行日 令和1年8月28日(2019.8.28)

(24) 登録日 令和1年8月9日(2019.8.9)

(51) Int. Cl. F I  
**GO 1 B** 11/25 (2006.01) GO 1 B 11/25 H  
**GO 6 T** 1/00 (2006.01) GO 6 T 1/00 3 1 5

請求項の数 16 (全 17 頁)

(21) 出願番号	特願2015-150502 (P2015-150502)	(73) 特許権者	000001007 キヤノン株式会社 東京都大田区下丸子3丁目30番2号
(22) 出願日	平成27年7月30日(2015.7.30)	(74) 代理人	100126240 弁理士 阿部 琢磨
(65) 公開番号	特開2017-32335 (P2017-32335A)	(74) 代理人	100124442 弁理士 黒岩 創吾
(43) 公開日	平成29年2月9日(2017.2.9)	(72) 発明者	降旗 久義 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
審査請求日	平成30年7月20日(2018.7.20)	審査官	櫻井 仁

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 情報処理装置、情報処理方法、プログラム

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

複数の第1の特徴と、前記第1の特徴とは異なる第2の特徴とを含むパターンを計測対象物体に投影した状態で、撮像装置により撮像された撮像画像を取得する取得手段と、

前記撮像画像に基づいて、前記投影されるパターンに含まれる第1の特徴と前記撮像画像に含まれる第1の特徴とを対応づけることによって、前記撮像画像に含まれる第1の特徴を識別し、該識別された結果に基づいて前記撮像画像内の前記第1の特徴を含む領域における前記計測対象物体の形状情報の初期値を取得する初期値取得手段と、

前記撮像画像内の第1の領域の周囲の領域の形状情報の初期値に基づいて、前記第1の領域の形状情報の候補を設定する設定手段と、

前記第1の領域の前記形状情報の候補に基づいて前記パターンに前記第1の領域を投影して得られる領域を第2の領域として決定し、前記第1の領域と前記第2の領域との相関を、前記第1の領域に含まれる第2の特徴と前記第2の領域に含まれる第2の特徴とに基づいて評価する評価手段と、

前記評価手段で評価した相関に基づいて、前記第1の領域に対する形状情報を導出する導出手段とを備えることを特徴とする情報処理装置。

【請求項2】

更に、前記設定された第1の領域に対する形状情報の候補に基づいて、前記パターン内で、前記第1の領域に対応する前記第2の領域を決定する決定手段を備えることを特徴とする請求項1に記載の情報処理装置。

**【請求項 3】**

前記導出手段は、前記初期値取得手段で取得した形状情報の初期値に基づいて決定される、前記第 1 の領域と前記パターン内の領域との相関と、前記設定手段で設定した形状情報の候補に基づいて決定される、前記第 1 の領域と前記パターン内の領域との相関と、を比較し、前記設定手段で設定した形状情報の候補に基づいて決定される相関が高い場合に、前記第 1 の領域に対する形状情報の候補を導出することを特徴とする請求項 1 または 2 に記載の情報処理装置。

**【請求項 4】**

前記設定手段は、前記第 1 の領域から所定の方向にある基準領域に設定されている形状情報の初期値を、前記第 1 の領域に対する形状情報の候補として設定することを特徴とする請求項 1 乃至 3 のいずれか 1 項に記載の情報処理装置。

10

**【請求項 5】**

前記設定手段は、前記第 1 の領域に対する形状情報の初期値と前記基準領域に対する形状情報の初期値との間の変化量に基づいて前記第 1 の領域から所定の方向にある基準領域に対する形状情報の初期値を変化させた値を、前記第 1 の領域に対する形状情報の候補として設定することを特徴とする請求項 1 に記載の情報処理装置。

**【請求項 6】**

前記導出手段で導出された形状情報を初期値として、前記設定手段、前記評価手段、前記導出手段の処理を繰り返すことを特徴とする請求項 1 乃至 5 のいずれか 1 項に記載の情報処理装置。

20

**【請求項 7】**

前記評価手段は、前記撮像画像内の前記第 1 の領域内の輝度値と前記パターン内の第 2 の領域内の輝度値の差に基づいて、前記相関を評価することを特徴とする請求項 1 乃至 6 のいずれか 1 項に記載の情報処理装置。

**【請求項 8】**

前記形状情報は、前記計測対象物体までの距離を表す情報であることを特徴とする請求項 1 乃至 7 のいずれか 1 項に記載の情報処理装置。

**【請求項 9】**

前記形状情報は、前記計測対象物体の面の法線を表す情報を含むことを特徴とする請求項 1 乃至 8 のいずれか 1 項に記載の情報処理装置。

30

**【請求項 10】**

更に前記パターンは、前記第 1 の特徴を識別するための識別情報を含み、  
前記初期値取得手段は、前記撮像画像に含まれる識別情報に基づいて、前記投影されるパターンに含まれる前記第 1 の特徴と前記撮像画像に含まれる第 1 の特徴とを対応づけることによって、前記撮像画像に含まれる第 1 の特徴を識別することを特徴とする請求項 1 乃至 9 のいずれか 1 項に記載の情報処理装置。

**【請求項 11】**

前記第 1 の特徴は線であり、  
前記識別情報は前記線上または前記線の間配置され、  
前記第 2 の特徴は、前記線の間配置されることを特徴とする請求項 10 に記載の情報処理装置。

40

**【請求項 12】**

前記パターンに含まれる前記識別情報は、前記パターンに含まれる線の切れであることを特徴とする請求項 11 に記載の情報処理装置。

**【請求項 13】**

前記パターンに含まれる前記第 2 の特徴は、ドット形状であることを特徴とする請求項 1 乃至 12 のいずれか 1 項に記載の情報処理装置。

**【請求項 14】**

更に、前記パターンを前記計測対象物体に投影する投影手段と、  
前記パターンが投影された計測対象物体を撮像する撮像手段とを備えることを特徴とす

50

る請求項 1 乃至 1 3 のいずれか 1 項に記載の情報処理装置。

【請求項 1 5】

複数の第 1 の特徴と、前記第 1 の特徴とは異なる第 2 の特徴とを含むパターンを計測対象物体に投影した状態で、撮像装置により撮像された撮像画像を取得する取得工程と、

前記撮像画像に基づいて、前記投影されるパターンに含まれる第 1 の特徴と前記撮像画像に含まれる第 1 の特徴とを対応づけることによって、前記撮像画像に含まれる第 1 の特徴を識別し、該識別された結果に基づいて前記撮像画像内の前記線を含む領域における前記計測対象物体の形状情報の初期値を取得する初期値取得工程と、

前記撮像画像内の第 1 の領域の周囲の領域の形状情報の初期値に基づいて、前記第 1 の領域の形状情報の候補を設定する設定工程と、

前記第 1 の領域の前記形状情報の候補に基づいて前記パターンに前記第 1 の領域を投影して得られる領域を第 2 の領域として決定し、前記第 1 の領域と前記第 2 の領域との相関を、前記第 1 の領域に含まれる第 2 の特徴と前記第 2 の領域に含まれる第 2 の特徴とに基づいて評価する評価工程と、

前記評価工程で評価した相関に基づいて、前記第 1 の領域に対する形状情報を導出する導出工程とを備えることを特徴とする情報処理方法。

【請求項 1 6】

コンピュータを、請求項 1 乃至 1 4 のいずれか 1 項に記載の情報処理装置の各手段として機能させるためのプログラム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、パターンを投影した計測対象物体を撮影した画像に基づいて、計測対象物体表面の三次元形状を計測する技術に関する。

【背景技術】

【0002】

従来から、模様を含む照明パターンを投影し、それを観測した画像に基づいて距離計測を行う方法がある。ここでは、画像と照明パターンとの対応を計算し、三角測量の原理に基づいて距離を計算する。対応を求めるための計算では、画像上の各位置について照明パターン上の位置を変えてマッチングする位置の探索を行う。一般に探索の処理は、その探索範囲の広さに応じて、処理に時間がかかる。

特許文献 1 には、模様の要素としてドットを配置した照明パターンを用いる方法が開示されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【特許文献 1】米国特許出願公開第 2010 / 0118123 号明細書

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

特許文献 1 のパターンを使う場合、画像と照明パターンとの対応を探索する処理に時間がかかる。

【0005】

本発明は、以上の課題を鑑みたものであり、物体の三次元形状を高速に計測することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0006】

上記課題を解決するために、本願発明の情報処理装置は、複数の線と、前記線を識別するために該線上または線の間配置された識別情報と、前記複数の線の間配置された特徴を含むパターンを計測対象物体に投影した状態で、撮像装置により撮像された撮像画像

10

20

30

40

50

を取得する取得手段と、前記撮像画像に含まれる識別情報に基づいて、前記投影されるパターンに含まれる線と前記撮像画像に含まれる線とを対応づけることによって、前記撮像画像に含まれる線を識別し、該識別された結果に基づいて前記撮像画像内の前記線を含む領域における前記計測対象物体の形状情報の初期値を取得する初期値取得手段と、前記撮像画像内の第1の領域の周囲の領域の形状情報の初期値に基づいて、前記第1の領域の形状情報の候補を設定する設定手段と、前記第1の領域の前記形状情報の候補に基づいて前記パターンに前記第1の領域を投影して得られる領域を第2の領域として決定し、前記第1の領域と前記第2の領域との相関を、前記第1の領域に含まれる特徴と前記第2の領域に含まれる特徴とに基づいて評価する評価手段と、前記評価手段で評価した相関に基づいて、前記第1の領域に対する形状情報を導出する導出手段とを備える。

10

【発明の効果】

【0007】

本発明により、計測対象物体の三次元形状を高速に計測できる。

【図面の簡単な説明】

【0008】

【図1】第1の実施形態における情報処理装置で取得する照明パターンを示す図である。

【図2】第1の実施形態における情報処理装置の構成を示す図である。

【図3】第1の実施形態における情報処理のフローチャートである。

【図4】第1の実施形態における画像の例を表す。

【図5】第2の変形例において基準特徴のバリエーションを示す図である。

20

【図6】第3の変形例において模様の変形例を示す図である。

【図7】本発明の情報処理装置のハードウェア構成を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0009】

本発明にかかる各実施形態を説明するのに先立ち、各実施形態に示す情報処理装置が実装されるハードウェア構成について、図7を用いて説明する。

【0010】

図7は、本実施形態における情報装置のハードウェア構成図である。同図において、CPU710は、バス700を介して接続する各デバイスを統括的に制御する。CPU710は、読み出し専用メモリ(ROM)720に記憶された処理ステップやプログラムを読み出して実行する。オペレーティングシステム(OS)をはじめ、本実施形態に係る各処理プログラム、デバイスドライバ等はROM720に記憶されており、ランダムアクセスメモリ(RAM)730に一時記憶され、CPU710によって適宜実行される。また、入力I/F740は、外部の装置(表示装置や操作装置など)から情報処理装置1で処理可能な形式で入力信号として入力する。また、出力I/F750は、外部の装置(表示装置)へ表示装置が処理可能な形式で出力信号として出力する。

30

【0011】

(第1の実施形態)

本実施形態では、計測対象物体の形状情報を高速に計測する方法を説明する。

【0012】

40

本実施形態における形状情報とは、撮影装置の座標系を基準とした計測対象物の各部までの距離値を表わす。本実施形態で利用する照明パターン100は、図1に示すように、1本以上の線101(以降それぞれの線を基準特徴と呼ぶ)と、ドット102を要素とした模様とで構成される。また、基準特徴は、画像上で観測される基準特徴が、照明パターン100上の何れの基準特徴に属するかを識別するための識別情報103を持つ。本実施形態では、識別情報は線上の複数の切れ目である。

【0013】

本実施形態では、まず、計測対象物体を観測する画像上の基準特徴について、照明パターン100上で対応する位置を計算することで、基準特徴が投影されている計測対象物体上の形状情報を計測する。次に、画像上の各画像部位について、基準特徴上から計測した

50

形状情報に基づいて、形状情報の候補を設定する。次に、各画像部位に設定した形状情報の候補について、その画像部位を含む画像領域と、形状情報の候補に相当する照明パターン100上の対応部位を含む領域との相関に基づいて、画像部位と対応部位とが対応するかどうかを示す対応度合いを計算する。ここで、対応度合いとは、注目する画像部位を含む画像領域と、照明パターン100上の領域との相関の高さを表わす。対応度合いは、例えば、ブロックのマッチング等で計算する。最後に、各画像部位について対応度合いを計算した形状情報の候補のうち、対応度合いの高い形状情報の候補を、各画像部位の正しい形状情報として出力する。

#### 【0014】

本実施形態では、基準特徴から計算した形状情報から、各画像部位に形状情報の候補を設定する。設定した候補内で解を選択するため、探索範囲内のすべての形状情報を候補とした計算に比べ、計算量が少ない。これにより、計測対象物体の形状情報を高速に計測できる。

#### 【0015】

図2に、本実施形態の構成を示す。まず、本実施形態の情報処理装置200は、パターン取得部210、画像取得部220、基準形状情報推定部230、候補設定部240、候補評価部250、候補選択部260からなる。また、300は投影装置、400は撮像装置を表わす。また、500は計測対象物体を表す。

#### 【0016】

投影装置300は、照明パターン100の像を光により投影するプロジェクタである。投影装置300の焦点距離や主点位置、レンズ歪パラメータなどの内部パラメータ情報、撮像装置400に対する投影装置300の相対的な位置姿勢の情報は予め校正しておく。校正方法は公知であり、例えば以下の文献に示される方法で校正できる。

M, Kimura, "Projector Calibration using Arbitrary Planes and Calibrated Camera" Computer Vision and Pattern Recognition, CVPR, 2007.

撮像装置400は、濃淡画像を撮像するカメラである。撮像装置400の焦点距離や主点位置、レンズ歪パラメータなどの内部パラメータ情報は予め校正しておく。校正方法は公知であり、例えば以下の文献に示される方法で校正できる。

R. Y. Tsai, "A versatile camera calibration technique for high-accuracy 3D machine vision metrology using off-the-shelf TV cameras and lenses" IEEE Journal of Robotics and Automation, vol. RA-3, no. 4, 1987.

パターン取得部210は、計測対象物体500に投影するための照明パターン100の画像を取得する。取得するパターンは2次元の画像であり、図1に示すように、1つ以上の基準特徴(第1の特徴)と模様(第2の特徴)とで構成される。本実施形態では基準特徴は線であり、模様はドットである。ドットの配置方法は、例えば、所定の確率(A%)でランダムに配置する。線上に配置する識別情報(線上の切れ目)は、同一線上の隣り合う切れ目の間隔が $B + B$ となるように配置する。ここで  $B$  は [ - ~ ] の範囲で発生する一様乱数、 $B$  はユーザーが指定する固定値とする。なお、図1の照明パターン100について、背景を白、基準特徴および模様を黒として図示するが、パターンの光は、これを逆転して背景を低輝度、基準特徴および模様を高輝度に投影するものとする。

#### 【0017】

画像取得部220は、照明パターン100を投影した状態で計測対象物体500を撮像装置400で撮像した画像700(撮像画像)を取得する。図4は、取得した画像700の例を表わす。

#### 【0018】

基準形状情報推定部230は、基準特徴に含まれる前記符号に基づいて、画像700上

10

20

30

40

50

で観測される基準特徴に対応する照明パターン100上の位置を計算することにより、基準特徴が投影されている計測対象物体上の形状情報を計測する。本実施形態における形状情報とは、撮影装置の座標系を基準とした計測対象物の各部までの距離値を表わす。

【0019】

候補設定部240は、基準形状情報推定部230で推定された、画像700上の基準特徴の形状情報に基づいて、画像700上の各画像部位に、形状情報の候補を設定する。

【0020】

本実施形態において、画像700上の各画像部位とは、各画素を表わす。

【0021】

候補評価部250は、画像700上の各画像部位に設定した形状情報の候補について、その画像部位を含む画像領域と、形状情報の候補に相当する照明パターン100上の対応部位を含む領域との相関に基づいて、対応度合いを評価する。

10

【0022】

候補選択部260は、画像700上の各画像部位について、候補評価部250で対応度合いを計算した候補のうち、対応度合いの高い候補を、各画像部位の正しい形状情報として選択する。

【0023】

これらの各機能部は、CPU710が、ROM720に格納されたプログラムをRAM730に展開し、後述する各フローチャートに従った処理を実行することで実現されている。また例えば、CPU710を用いたソフトウェア処理の代替としてハードウェアを構成する場合には、ここで説明する各機能部の処理に対応させた演算部や回路を構成すればよい。

20

【0024】

次に、本実施形態の処理手順について説明する。図3は、本実施形態の処理手順を示すフローチャートである。

【0025】

(S610)

S610では、パターン取得部210は、照明パターン100の画像を取得する。そして、不図示のインターフェースを介して、投影装置300に送出する。投影装置300はパターン取得部210からパターンを取得し、取得したパターンを計測対象物体500を含む空間に投影する。撮像装置400は、投影装置300が取得したパターンを計測対象物体500を含む空間に投影している間に、該空間を撮像する。

30

【0026】

(S620)

S620では、画像取得部220は、計測対象物体500に照明パターン100を投影した像を撮像装置300で撮像した画像700を取得する。図4(a)は、取得した画像700の例を表わす。

【0027】

(S630)

S630では、基準形状情報推定部230は、画像700上で観測される基準特徴に対応する照明パターン100上の位置を計算することにより、計測対象物体の形状情報を推定(形状情報取得)する。

40

【0028】

まず、画像700から基準特徴の検出を行う。本実施形態では、基準特徴は線であるため、線の検出を行う。具体的には、画像700に対してソベルフィルタを適用して画像上の輝度値の極値(以降、検出点と呼ぶ)を検出する。次に、隣接する検出点をラベリングすることで、隣接する検出点が並んだ線として、基準特徴を検出する。

【0029】

次に、基準特徴である線に含まれる識別情報103(線上の切れ目)に基づいて、検出した基準特徴の対応付けを行う。ここで、基準特徴の対応付けとは、画像700上から検

50

出した基準特徴について、照明パターン100上で対応する基準特徴の位置を計算することを表わす。

【0030】

切れ目を利用した対応付け方法は公知であり、特開平1-274007号公報で示されている。具体的な方法としては、まず、画像700上から検出した各基準特徴について、同一基準特徴上の2つの切れ目を選択し、照明パターン100上に2つのエピポーラ線を計算する。ここで、画像700上から検出した基準特徴上の切れ目について、照明パターン100上で対応する位置は、照明パターン100上に計算したエピポーラ線上に存在する幾何特徴の切れ目であると推定する。この方法に基づき、検出した基準特徴が対応する位置は、切れ目から計算した2つのエピポーラ線と、照明パターン100上の基準特徴上の切れ目と、が一致する基準特徴を探索することで計算する。これにより、画像700上から検出した各基準特徴について、照明パターン100上で対応する位置を計算できる。

10

【0031】

次に、基準特徴の対応付け結果に基づいて、画像700上で観測される基準特徴の形状情報を推定する。形状情報(本実施形態では距離値)は、画像700上の基準特徴の位置と、対応する照明パターン100上の位置から、三角測量の原理に基づいて計算する。本実施形態では、基準特徴は線であるため、光切断法に基づく形状情報の計算方法と同様である。

【0032】

以降、画像700上から検出した基準特徴のうち、形状情報を推定した基準特徴上の部位を基準部位 $F_i$  ( $i = 1 \sim M$ )と表し、その形状情報を $S_i$ と表わす。ここで、添え字 $i$ は基準特徴上の各部位の番号を表わす。 $M$ は、形状情報を推定した部位の総数を表わす。また、基準部位 $F_i$ は画像700上の2次元座標を示すパラメータを持つ。形状情報 $S_i$ は、本実施形態では1次元の距離値( $D_i$ )を持つ。以上により、撮像画像内の基準特徴(線)を含む領域において形状情報を推定する(形状情報の初期値取得)。

20

【0033】

(S640)

候補設定部240は、基準形状情報推定部230で推定した基準部位 $F_i$ の形状情報 $S_i$ に基づいて、画像700上(撮像画像内)の各画像部位 $P_k$  ( $k = 1 \sim N$ )の形状情報の候補を設定する。

30

【0034】

本実施形態では、 $P_k$ は画像700上のすべての画素とする。また、添え字 $k$ は各画素の番号、 $N$ は画素の総数を表わす。また、基準部位 $P_i$ は画像700上の2次元座標を示すパラメータを持つ。

【0035】

ここでは、基準部位 $F_i$ の持つ形状情報 $S_i$ を周囲の画像部位 $P_k$ に伝播させ、画像部位 $P_k$ の形状情報の候補として設定する。具体的な処理内容は下記に示す。

【0036】

まず、候補を設定する基準とする基準部位 $F_i$ を選択する。本実施形態では、基準部位の番号 $i$ を変えて、 $0 \sim M$ まで順番に選択するものとする。

40

【0037】

次に、基準部位(基準領域) $F_i$ の周囲の画像部位 $P_k$ について、基準部位 $F_i$ の形状情報 $S_i$ に基づいて形状情報の候補を設定する。具体的には、基準部位 $F_i$ から所定範囲 $R$ の内側に存在する画像部位 $P_k$ について、その形状情報の候補を $S_{ki}$ としたとき、 $S_{ki} = S_i$ と設定する。所定範囲 $R$ の内側に複数の画像部位 $P_k$ がある場合、それぞれの画像部位について形状情報の候補として $S_i$ を設定する。

【0038】

以上の処理を、1つ以上の基準部位 $F_i$ について行う。本実施形態では、これを全ての基準部位 $F_i$  ( $i = 1 \sim M$ )について計算するものとする。複数の基準部位 $F_i$ を基準として候補を設定するため、1つの画像部位に複数の候補が設定される場合がある。

50

## 【 0 0 3 9 】

( S 6 5 0 )

候補評価部 2 5 0 は、候補設定部 2 4 0 で画像部位 P k ( 第 1 の領域 ) に設定した形状情報の候補について、その画像部位 P k を含む画像 7 0 0 上の領域と、形状情報に相当する照明パターン 1 0 0 上の対応部位を含む領域との相関に基づいて、対応度合いを計算する。画像上の各画像部位 P k の画像領域には、投影装置 3 0 0 から投影された基準特徴と模様とを含むため、領域の相関を計算することは、領域内の基準特徴と模様とが一致するかどうかを計算することを意味する。

## 【 0 0 4 0 】

まず、形状情報の候補を設定した画像部位 P k について、その形状情報の候補 S k i に基づいて照明パターン 1 0 0 上 ( パターン内 ) で対応する照明パターン 1 0 0 上の対応部位 Q k i を決定する。ここで、対応部位 Q k i は照明パターン 1 0 0 上の 2 次元座標を示すパラメータを持つ。対応部位 Q k i は、形状情報に含まれる距離値から、撮像装置 4 0 0 の座標系における 3 次元位置を計算し、撮像装置 4 0 0 と投影装置 3 0 0 の相対的な位置姿勢に基づいて、計算した 3 次元位置を照明パターン 1 0 0 上に投影することで計算できる。

10

## 【 0 0 4 1 】

次に、基準部位 P k と周囲の領域と、対応するパターン上の対応部位 Q k i の周囲の領域に基づいて、ブロックマッチングの要領で対応度合いを計算する。ここで、P k と Q k i の周囲の領域は、各位置を中心としたサイズ W の矩形ブロックとする。また、対応度合いは、SSD ( Sum of Squared Difference ) の逆数を設定する。つまり、SSD の値が小さい ( すなわち、ブロック間の差が少ない ) ほど、対応度合いは大きくなる。

20

## 【 0 0 4 2 】

( S 6 6 0 )

候補選択部 2 6 0 は、画像上の各画像部位 P k でそれぞれ対応度合いを計算した候補のうち、対応度合いの高い候補を、各画像部位 P k の正しい形状情報として選択する。本実施形態では、所定の閾値 T 以上の対応度合いを持つ候補を選択する。また、1 つの部位に複数の候補がある場合、閾値 T 以上の候補の中で最も対応度合いの高い候補を選択する。

## 【 0 0 4 3 】

以上述べたように、本実施形態では、基準特徴から計算した形状情報から、各画像部位に形状情報の候補を設定する。設定した候補内で解を選択するため、探索範囲内のすべての形状情報を候補とした計算に比べ、計算量が少ない。これにより、計測対象物体の形状情報を高速に計測 ( 導出 ) できる。

30

## 【 0 0 4 4 】

なお、本実施形態において、投影装置 3 0 0 は、2 次元の照明パターンを投影するものであればどのような装置でもよい。例えば、2 次元画像を投影する書画プロジェクタであってもよいし、光源とマスクパターンを組み合わせた装置であってもよい。また、投影するパターンは濃淡パターンでもよいし、カラーパターンでもよい。また、マスクパターンをセットする場合、パターンは物理的に投影装置 3 0 0 にセットするため、パターン取得部 2 1 0 からパターンを入力する必要はない。

40

## 【 0 0 4 5 】

前述の説明では、照明パターン上の基準特徴と模様は、照明パターン上の背景に比べて、高輝度に投影した。しかし、照明パターン上の基準特徴と模様は、照明パターン上の背景に比べて、輝度あるいは色の差があればどのような特徴でも良い。例えば、照明パターン上の基準特徴と模様は、パターン上の背景に比べて、低輝度に投影しても良い。パターンのパリエーションについては、第 4 の変形例に述べる。

## 【 0 0 4 6 】

パターンを取得する元は、情報処理装置 2 0 0 の持つ不図示の記憶領域から取得しても良いし、ネットワークを介して外部の情報源から取得しても良い。記憶領域としては、ハ

50

ードディスクでも良いし、RAMでも良い。

【0047】

また、画像取得部220で取得する画像は、照明パターンを計測対象物体に投影した状態で、撮像装置により撮像した2次元の画像であればどのような画像でもよい。例えば、濃淡画像でもよく、カラー画像でもよい。また、画像の取得方法については、撮像装置400から直接取得しても良いし、メモリ上に一旦格納した画像を後から取得するような構成であってもよい。

【0048】

形状情報を推定する画像部位は、第1の実施形態で示すように画像の画素でも良いし、画像を複数に分割したブロックでも良い。各部位の大きさや形状は同じでも良いし、変えても良い。

10

【0049】

前述の説明では、基準形状情報推定部230は、基準特徴上の点群のみ形状情報を出力した。これ以外に、基準特徴の間の点群の形状情報を補間により計算して、密な形状情報として出力してもよい。補間方法は、基準特徴上の形状情報に基づき、基準特徴間の形状情報を計算する方法であればどのような方法でもよい。例えば、画像上を複数の領域に分割し、各領域に存在する形状情報の平均的な値に基づいて、領域内の形状情報を補間してもよい。または、画像上で形状情報を推定した基準特徴上の点群について、近接する3点を結んで3角形のパッチを形成し、内部の画素を3点の形状情報から補間してもよい。また、基準特徴が線の場合、隣り合う2本の線について、その間の形状情報を線形補間によ

20

【0050】

また、本実施形態について、S640、S650、S660における、候補設定部240、候補評価部250、候補選択部260の処理を繰り返してもよい。この場合、候補選択部260で選択した画像部位の形状情報に基づいて、再度、候補設定部240で形状情報の候補を設定する。具体的には、1周目に候補選択部260までの処理が終わった後は、候補設定部240、候補評価部250、候補選択部260の順番で繰り返しを行う。繰り返しの2周目以降の候補設定部240では、基準部位の形状情報の代わりに、前の周に候補選択部260で選択した画像部位の形状情報を基準として、形状情報の候補を設定する。ここで、繰り返し回数は、どのような基準で設定してもよい。例えば、所定の回数でも良いし、候補選択部260で選択される形状情報の対応度合いが所定値以下になるまで繰り返してもよい。

30

【0051】

また、候補設定部240で設定する形状情報の候補は、1つ以上の基準部位Fiを基準として設定する。基準とする部位は、第1の実施形態に示すように全ての基準部位Fiでも良いし、一部の基準部位でもよい。また、S640、S650、S660における、候補設定部240、候補評価部250、候補評価部260の処理を繰り返す場合、繰り返すごとに基準とする基準部位を変えてもよい。例えば、1周目は $i = 1$ の基準部位Fiを基準とし、2周目は $i = 2$ の基準部位Fiを基準とするように、基準部位Fiの番号iの数字を変えて基準とする基準部位を選択してもよい。

40

【0052】

(第2の実施形態)

第2の実施形態では、形状情報として計測対象物体の距離値と面の向き(法線情報)を扱う方法を説明する。ここで、法線情報とは、画像700上で画素の位置変化に対する距離値の変化量を表す。具体的には、画像のx軸(横方向)に対する距離値の変化量をA、画像のy軸(縦方向)に対する距離値の変化量をBとして、2つのパラメータで法線情報

50

を表す。また、距離値はDと表わす。

【0053】

本実施形態では、基準形状情報推定部230と、候補設定部240、候補評価部250の処理について、第1の実施形態と処理が異なる。

【0054】

まず、基準形状情報推定部230では、画像700上で観測される基準特徴について、距離値と法線情報を推定する。距離値は、第1の実施形態に述べた方法で推定する。法線情報は、推定した距離値の空間的な変化に基づいて推定する。具体的には、例えば、基準特徴間の画素の距離値を補間した後、隣り合う画素の距離値の差をとることで、 $A_i$ 、 $B_i$ 値を設定する。以上述べたように、本変形例の基準形状情報推定部230では、基準部位 $F_i$ について、形状情報 $S_i$ として、3次元のデータ( $D_i$ 、 $A_i$ 、 $B_i$ )を推定する。

10

【0055】

次に、候補設定部240では、基準特徴から推定した距離値と法線情報に基づいて、画像上の各画像部位 $P_k$ に形状情報の候補を設定する。基準部位 $F_i$ から所定範囲 $R$ の内側に存在する画像部位 $P_k$ について、設定される形状情報の候補を $S_{ki} = (D_{ki}, A_{ki}, B_{ki})$ とする。また、基準部位 $F_i$ と画像部位 $P_k$ の画像700上での位置の差を $U_{ki}$ 、 $V_{ki}$ とする。ここで、 $U_{ki}$ は画像のx軸方向の差、 $V_{ki}$ は画像のy軸方向の差を表わす。距離値 $D_{ki}$ は、法線情報による距離値の変化を考慮して、 $D_{ki} = D_i + A_i \cdot U_{ki} + B_i \cdot V_{ki}$ として設定する。法線情報 $A_{ki}$ 、 $B_{ki}$ は、 $A_{ki} = A_i$ 、 $B_{ki} = B_i$ として設定する。また、第1の実施形態と同様に、所定範囲 $R$ の内側に複数の画像部位 $P_k$ がある場合、そのそれぞれについて形状情報の候補 $S_{ki}$ を設定する。ただし、前述したように法線情報による距離値の変化を考慮して設定する。

20

【0056】

次に、候補評価部250では、候補設定部240で画像部位 $P_k$ に設定した形状情報の候補について、その画像部位 $P_k$ を含む画像上の領域と、形状情報に相当する照明パターン100上の対応部位を含む領域との相関に基づいて、対応度合いを計算する。本変形例では、第1の実施形態と同様にブロックの相関を計算する。ただし、本実施形態では、計測対象物体の面の傾き(法線情報)に基づいて、ブロックを変形させて照明パターン100上に射影することで、より正確に画像700上の領域と照明パターン100上の領域の相関を計算する。これを行うために、ブロック内の各点について、対応する照明パターン100上の位置をそれぞれ計算する。具体的には、まず画像部位 $P_k$ を含む画像上のブロックを平面として考え、ブロック内の各画素の距離値をブロックの中心にある画像部位 $P_k$ の形状情報から計算する。ここで、ブロックの各画素の距離値は、画像部位 $P_k$ の距離値 $D_{ki}$ を基準として、法線情報 $A_{ki}$ 、 $B_{ki}$ による変化分を加えることで計算できる。次に、画像部位 $P_k$ を中心としたブロックの各画素の距離値に基づいて、照明パターン100上の位置を計算する。次に、この対応関係から、画像部位 $P_k$ を中心としたブロックの各画素について、対応する照明パターン100上の位置にある画素との差を計算する。最後に、各画素について計算した差の二乗和( $SSD$ )を計算し、対応度合いとして、第1の実施形態と同様に、 $SSD$ の逆数を設定する。

30

40

【0057】

上記以外の、パターン取得部210、画像取得部220、候補選択部260については、第1の実施形態と処理が同じであるため、説明は省略する。

【0058】

以上述べたように、本実施形態では、形状情報として距離値と法線情報を扱う。距離値に加え、法線情報を含めて計算するため、計測対象物の形状をより正確に計測できる。

【0059】

なお、本実施形態では、形状情報として距離値と法線情報を扱う。しかし、形状情報を構成する要素としては、計測対象物体の面の3次元空間中の位置を表す情報(以降、位置情報と呼ぶ)或いは、面の法線を表す情報(法線情報)であれば良い。ここで、位置情報

50

は、距離でも良いし、視差でも良いし、3次元の座標でも良い。法線情報は、画素の位置変化に対する距離値の変化量でも良いし、3次元のベクトルでも良い。

【0060】

形状情報は、位置情報と法線情報の両方でも良いし、一部でも良い。形状情報として、一部の要素のみを変数とする場合、それ以外の要素は固定値として計算しても良い。例えば、形状情報として、位置情報のみを変数として推定する場合、法線は撮影装置300の視線方向の反対方向であると仮定して、固定値として与えても良い。例えば、形状情報として、法線情報を変数として推定する場合、位置情報は計測対象物体の概略位置を規定値として与えても良い。

【0061】

(第1の変形例)

第1の変形例として、候補設定部240における形状情報の候補の設定方法のバリエーションについて説明する。

【0062】

基準形状情報推定部230で形状情報に基づいて、形状情報の候補を設定する画像部位Pkは、画像700上のどの画像部位Pkでも良い。第1の実施形態で示すように、形状情報を推定した部位Fiの周辺の所定範囲Rの範囲にある部位Pkに対して形状情報の候補を設定しても良いし、基準部位Fiの隣り合う部位、或いはその一部に対して、形状情報の候補を設定しても良い。例えば、基準部位Fiのx軸方向或いはy軸方向に隣接する部位について候補を設定しても良いし、離れた位置にある部位に候補を設定しても良い。

【0063】

また、S640、S650、S660における、候補設定部240、候補評価部250、第2の基準形状情報推定部260の処理を繰り返す場合、繰り返しごとに設定する候補の位置を変えても良い。例えば、1周目は注目する基準部位のx軸上でプラス方向の部位に形状情報の候補を設定し、2周目はx軸上でマイナス方向の部位に形状情報の候補を設定する方法でも良い。

【0064】

(第2の変形例)

第2の変形例として、基準形状情報推定部230における形状情報の推定方法と、基準特徴のバリエーションについて説明する。

【0065】

基準形状情報推定部230における基準特徴の識別方法は、画像上で観測される基準特徴について、照明パターン上で対応する位置を計算することで、形状情報を推定する方法であれば、どのような方法でも良い。

【0066】

例えば、基準特徴が線の場合、その検出方法としては、画像上で観測される線上の位置を線としてそれぞれラベリングされた状態で抽出できる方法であればどのような方法でもよい。ソベルフィルタによって検出したエッジをラベリングすることによって線を検出してもよいし、所定の閾値で2値化した画像を細線化することによって検出してもよい。

【0067】

次に、検出した線の対応付けを行う方法としては、画像上で観測される線が、照明パターン上で対応する位置を計算する方法であればどのような方法でもよい。例えば、第1の実施形態に示すように、照明パターン100上の線にランダムに切れ目を加え、画像上で観測される切れ目の位置に基づいて、線の対応位置を計算しても良い。また、照明パターン上の線に輝度、色、形状の少なくとも1つの符号を加え、画像上で観測される符号に基づいて線を識別しても良い。例えば、図5の照明パターン110に示すように、識別情報として線上に異なる輝度値を持つ符号(図5の111)を配置しても良い。また、符号は線上ではなく、線と線の間にあっても良い。また、図5の照明パターン120に示すように、識別情報として色の異なる線(図6の121)を投影し、画像上で観測される線の色に基づいて、対応する照明パターン121上の位置を計算しても良い。また、線の色では

10

20

30

40

50

なく、線と線の間の色を変化させても良い。また、照明パターンの線上の輝度値を変調させ、画像上で観測される線上の輝度の変化に基づいて、対応する照明パターン上の位置を計算しても良い。

#### 【0068】

また、基準特徴は、画像上で観測される基準特徴について、対応する照明パターン上の位置を計算できる特徴であれば、どのような特徴でも良い。第1の実施形態で示したように線でも良いし、線以外でも良い。例えば、図5の照明パターン130に示すように、照明パターン上の模様とは形状の異なるドット(図5の131)でも良い。この場合、基準形状情報推定部230でドット131の形状情報を計算するために必要になる、検出と対応付けの処理は次のように計算できる。ドット131の検出は、例えば画像を2値化した後、所定以上のサイズの領域を選択することで検出しても良いし、ドット形状のテンプレートマッチングによって検出しても良い。ドット131の対応付けは、照明パターンのエピポラ線上の各位置とのマッチングにより計算しても良いし、各ドットの色や形状を変え、その色や形状に基づいて計算しても良い。また、ドット以外の基準特徴として、多角形や任意の形状でも良い。なお、図5の照明パターンについて、背景を白、基準特徴および模様を黒として図示するが、パターンの光は、これを逆転して背景を低輝度、基準特徴および模様を高輝度に投影するものとする。

10

#### 【0069】

(第3の変形例)

第3の変形例として、照明パターン上の模様のバリエーションについて説明する。

20

#### 【0070】

照明パターン上の模様は、その模様の要素が基準特徴とは形状・サイズ・輝度・色の少なくとも一部が異なり、かつ照明パターン全体で無地でなければ良い。具体的には、第1の実施形態で示したように、ランダムに配置した複数のドットでも良いし、図6の140に示すように等間隔で配置するドットでも良い。また、図6の130に示すように、ドット以外の要素でも良い。また、模様の要素は、その輝度・色を一様に同じにしても良いし、照明パターンの部位ごとに異なる輝度・色を設定しても良い。また、図5の160に示すよう、ドットのような複数の要素で構成した模様ではなく、輝度・色の明暗を変調した模様でも良い。いずれの模様であっても、画像上の各部位について、照明パターン上で対応する位置との相関を取ることで、対応度合いが評価できる。なお、図6の照明パターンについて、背景を白、基準特徴および模様を黒として図示するが、パターンの光は、これを逆転して背景を低輝度、基準特徴および模様を高輝度に投影するものとする。

30

#### 【0071】

(第4の変形例)

第4の変形例として、候補評価部250における対応度合いの評価方法のバリエーションについて説明する。

#### 【0072】

対応度合いの評価方法は、候補設定部240で設定した形状情報の候補について、その画像部位を含む画像上の領域と、照明パターン上の対応部位を含む領域との相関に基づいて、画像部位と対応部位が対応するかどうかを示す対応度合いを計算する方法であれば、どのような方法でも良い。ピクセルマッチングでも良いし、ブロックマッチングでも良い。ブロックマッチングの場合、ブロックの相関は、第1の実施形態で示すようにSSDでも良いし、SAD(Sum of Absolute Difference)でも良い。また、ブロックの形状はどのような形状でも良い。四角形でもよいし、円形でも良い。また、ブロック内から特徴量を抽出し、その差に基づいて、対応度合いを計算しても良い。特徴量としては、ブロック内の輝度値の平均値や分散など統計値でも良いし、SIFT(Scale-Invariant Feature Transform)などに基づく特徴量でも良い。

40

#### 【0073】

また、ブロックマッチングの場合、第1の実施形態に示すように、画像部位Pkを中心

50

とするブロックについて、画像部位  $P_k$  の形状情報の候補  $S_{ki}$  に基づいて照明パターン上の位置  $Q_{ki}$  を計算することで、 $P_k$  を中心とした画像上の領域と  $Q_k$  を中心とした照明パターン上の領域との相関を計算する。この方法では、ブロックの中心位置について、対応する照明パターン上の位置を計算するが、第2の実施形態に示すように、ブロック内の各位置について、対応する照明パターン上の位置を計算し、その対応関係から画像と照明パターンとの相関を計算しても良い。

【0074】

(その他の実施形態)

また、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。

【0075】

即ち、上述した各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。

【0076】

また、このプログラム及び当該プログラムを記憶したコンピュータ読み取り可能な記憶媒体は、本発明に含まれる。

【0077】

<実施例の効果>

第1の実施形態では、基準特徴から計算した形状情報から、画像上の各画像部位に形状情報の候補を設定する。設定した候補内で解を選択するため、探索範囲内のすべての形状情報を候補とした計算に比べ、計算量が少ない。これにより、計測対象物体の形状情報を高速に計測できる。

【0078】

第2の実施形態では、形状情報として計測対象物体の面の3次元空間中の位置を表わす位置情報と、面の向きを表わす法線情報のパラメータを含む。位置情報に加え、法線情報を考慮することで、計測対象物の形状をより正確に計測できる。

【0079】

<定義>

本発明において、パターン取得部で取得する照明パターンは、模様と1つ以上の基準特徴とで構成される照明パターンであれば、どのような照明パターンでも良い。模様とは、基準特徴とは形状・サイズ・輝度・色の少なくとも一部が異なり、かつ照明パターン全体で無地でなければ良い。例えば、模様は、ランダムに配置した複数のドットでも良いし、図6の140に示すように等間隔で配置するドットでも良い。ドット以外の、任意の形状でも良いし、輝度・色の明暗を変調した模様でも良い。基準特徴は、基準形状情報において画像上で観測される基準特徴の位置と、照明パターン上で対応する位置を計算できる特徴であれば、どのような特徴でも良い。例えば、基準特徴は、線でも良いし、円や多角形など任意の形状でも良い。

【0080】

また、画像取得部で取得する画像は、照明パターンを計測対象物体に投影した状態で、撮像装置により撮像した2次元の画像であればどのような画像でもよい。2次元の画像であればどのような画像でもよい。例えば、濃淡画像でも良いし、カラー画像でも良い。また、画像の取得方法については、撮像装置から直接取得しても良いし、メモリ上に一旦格納した画像を装置に読み込む構成であっても良い。

【0081】

基準形状情報推定部における形状情報の推定方法は、画像上で観測される基準特徴について、照明パターン上で対応する位置を計算し、三角測量に基づいて形状情報を推定する方法であればどのような方法でも良い。ここで形状情報は、計測対象物体の面の3次元空間中の位置を表す情報と、面の法線を表す情報のうち少なくとも一部を含む情報である。3次元空間中の位置を表す情報は、距離でも良いし、視差でも良いし、3次元の座標でも良い。面の法線を表わす情報は、画素の位置変化に対する距離値の変化量でも良いし、3

10

20

30

40

50

次元のベクトルでも良い。また、画像上で観測される基準特徴の間の形状情報を補間して出力しても良い。

【0082】

候補設定部における形状情報の候補を設定する部位は、画像上のどの部位でも良い。例えば、基準形状情報推定部で推定した各形状情報について、画像上で近傍の部位について形状情報の候補を設定しても良いし、画像全体に形状情報の候補を設定しても良い。また、1つの部位について、複数の形状情報の候補を設定しても良い。また、本発明における候補設定部と、候補評価部と、候補選択部の処理を繰り返す場合、候補を設定する部位は繰り返し毎に変えても良い。

【0083】

候補評価部における対応度合いの評価方法は、候補設定部で設定した形状情報の候補について、その形状情報の候補に相当する画像上の領域と照明パターン上の領域との相関に基づいて、対応度合いを計算する方法であれば、どのような方法でも良い。例えば、画像上の領域とパターン上の領域の輝度値のSSD(Sum of Squared Difference)やSAD(Sum of Absolute Difference)に基づいて対応度合いを計算しても良いし、領域内の特徴量を抽出し、その差に基づいて対応度合いを計算しても良い。ここで、対応度合いとは、画像上で注目する領域と、照明パターン上の領域との相関の高さを表わす。

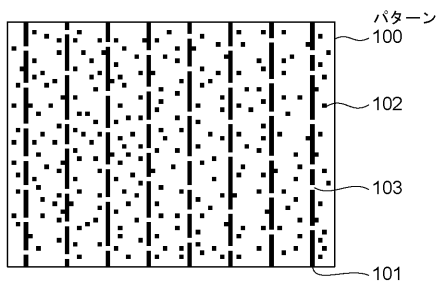
【0084】

候補選択部における形状情報の候補の選択方法は、対応度合いの高い形状情報の候補を選択する方法であればどのような方法でも良い。例えば、所定の閾値以上の対応度合いを持つ形状情報の候補を選択しても良いし、各部位に設定された形状情報の候補のうち対応度合いの最も高い形状情報の候補を選択しても良い。

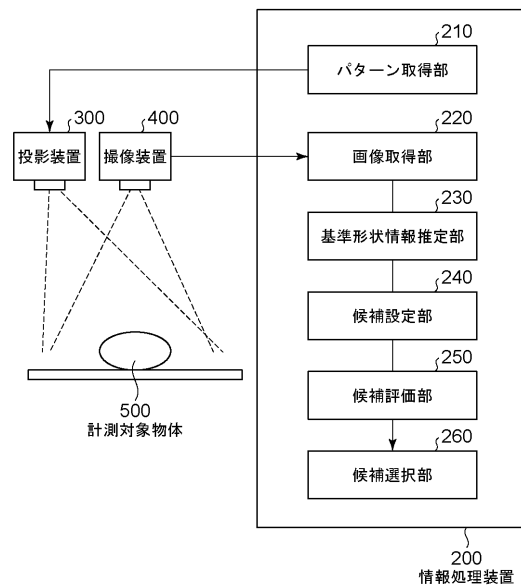
10

20

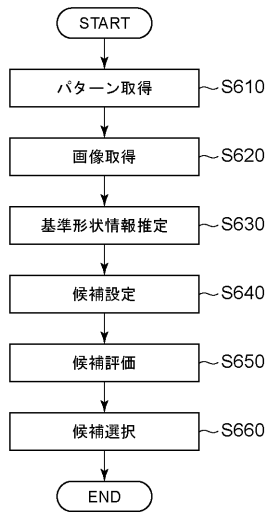
【図1】



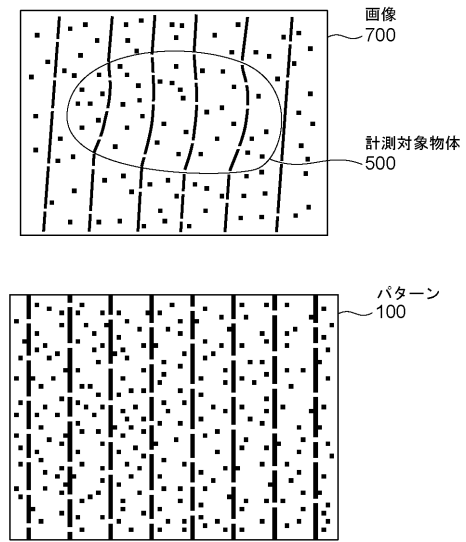
【図2】



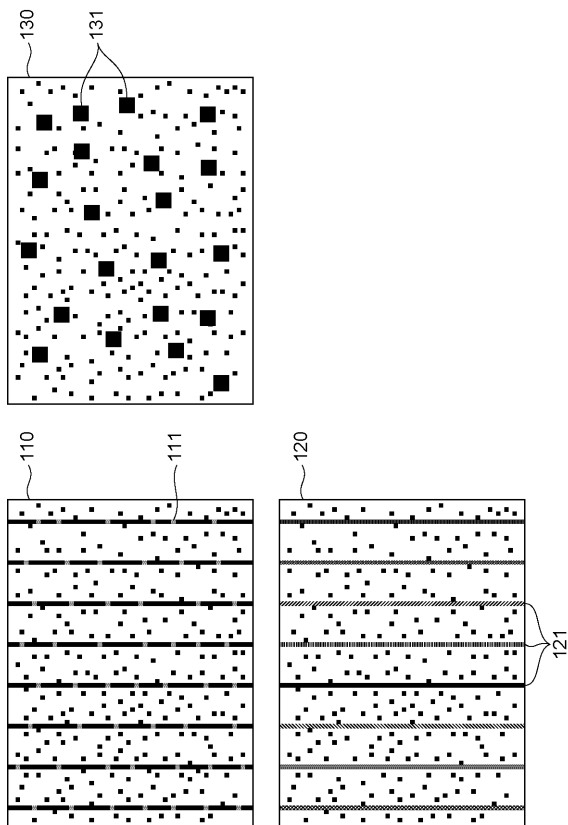
【図3】



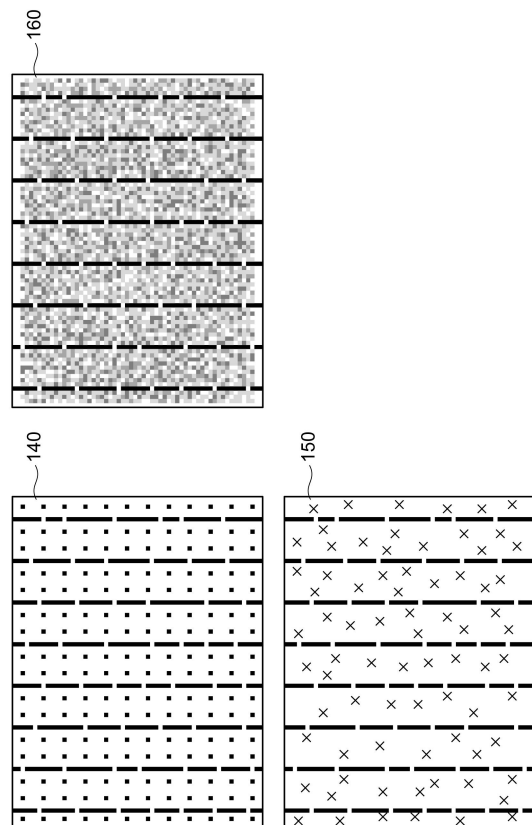
【図4】



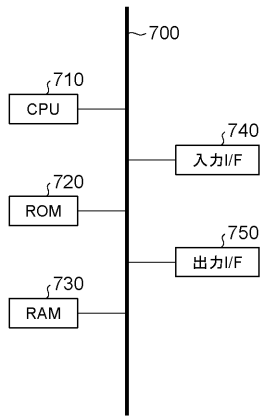
【図5】



【図6】



【 図 7 】



---

フロントページの続き

- (56)参考文献 特開2009-270915(JP,A)  
特開2013-088260(JP,A)  
国際公開第2014/020823(WO,A1)  
特開2009-020080(JP,A)  
特開平01-274007(JP,A)  
米国特許出願公開第2010/0118123(US,A1)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G01B 11/00 - 11/30  
G06T 1/00  
G06T 7/00