

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2017年7月20日(20.07.2017)



(10) 国際公開番号
WO 2017/122640 A1

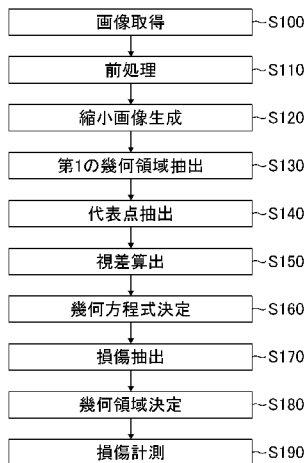
- (51) 国際特許分類:
G06T 7/00 (2017.01) *G01B 11/30* (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2017/000500
- (22) 国際出願日: 2017年1月10日(10.01.2017)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願 2016-005940 2016年1月15日(15.01.2016) JP
- (71) 出願人: 富士フイルム株式会社(FUJIFILM CORPORATION) [JP/JP]; 〒1068620 東京都港区西麻布2丁目26番30号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者: 野中 俊一郎(NONAKA, Shunichiro); 〒1070052 東京都港区赤坂9丁目7番3号 富士フイルム株式会社内 Tokyo (JP). 藏之下 正志(KURANOSHITA, Masashi); 〒2220033 神奈川県横浜市中区新横浜2丁目10番23号 富士フイルムソフトウェア株式会社内 Kanagawa (JP).
- (74) 代理人: 松浦 憲三(MATSUURA, Kenzo); 〒1630223 東京都新宿区西新宿二丁目6番1号 新宿住友ビル23階 私書箱第176号 新都市国際特許事務所 Tokyo (JP).
- (81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
- (84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE,

[続葉有]

(54) Title: MEASUREMENT DEVICE AND MEASUREMENT METHOD

(54) 発明の名称: 計測装置及び計測方法

[図3]



- S100 Acquisition of images
S110 Preprocessing
S120 Generation of reduced images
S130 Extraction of first geometric area
S140 Extraction of representative points
S150 Calculation of parallax values
S160 Determination of geometric equation
S170 Extraction of damage
S180 Determination of geometric area
S190 Measurement of damage

(57) Abstract: The purpose of the present invention is to provide a measurement device and a measurement method such that two-dimensional information or three-dimensional information about a measured object can be calculated quickly and with high precision. A measurement device pertaining to an embodiment of the present invention is equipped with: an image acquisition unit for acquiring multiple images obtained by photographing the same photographic subject from multiple viewpoints; a reduced image generation part for generating multiple reduced images by reducing the size of each of the multiple images; a geometric area extraction part for extracting a first geometric area, that is, a geometric area in the multiple reduced images, on the basis of parallax values obtained by means of block-matching of the multiple reduced images and the positions of pixels in the multiple reduced images; a geometric equation determination part for determining a geometric equation representing a second geometric area, that is, a geometric area in the multiple reduced images which corresponds to the first geometric area, on the basis of the extracted first geometric area; and a measurement part for calculating two-dimensional information or three-dimensional information about the measured object included in the photographic subject by using the determined geometric equation.

(57) 要約:

[続葉有]

WO 2017/122640 A1



ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, 添付公開書類:

MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK,
SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ,
GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

本発明は計測対象の２次元情報または３次元情報を高速かつ高精度に算出できる計測装置及び計測方法を提供することを目的とする。本発明の一態様に係る計測装置は、同一の被写体を複数の視点から撮影して得られた複数の画像を取得する画像取得部と、複数の画像をそれぞれ縮小して複数の縮小画像を生成する縮小画像生成部と、複数の縮小画像をブロックマッチングして得られた視差と複数の縮小画像の画素位置とに基づいて、複数の縮小画像における幾何領域である第１の幾何領域を抽出する幾何領域抽出部と、抽出した第１の幾何領域に基づいて、複数の画像における幾何領域であって第１の幾何領域に対応する幾何領域である第２の幾何領域を表す幾何方程式を決定する幾何方程式決定部と、決定した幾何方程式を用いて、被写体に含まれる計測対象の２次元情報または３次元情報を算出する計測部と、を備える。

明 細 書

発明の名称：計測装置及び計測方法

技術分野

[0001] 本発明は物体の計測を行う装置及び方法に関し、特に画像を用いて計測を行う装置及び方法に関する。

背景技術

[0002] 近年、撮像装置で取得した画像に基づいて物体の2次元情報または3次元情報を取得する画像計測が行われている。例えば特許文献1には、ロボットシステムにおいて、ステレオ画像から求めた3次元データをサンプリングした点に基づいて床等の平面を抽出して、抽出した平面に基づいて障害物を検知することが記載されている。また例えば特許文献2には、自車両外の環境を認識する車外環境認識装置において、ステレオ画像をパターンマッチングして得られた視差に基づいて特定物を特定し、特定結果に基づいて追跡対象を選択することが記載されている。

先行技術文献

特許文献

[0003] 特許文献1：特開2008-9999号公報

特許文献2：特開2013-178664号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0004] しかしながら特許文献1では、左右のステレオ画像をマッチング処理することにより3次元データを求めているので、画像全体について3次元データを取得するには時間が掛かってしまう。また、サンプリングデータは1つの基準点と、基準点から所定の距離内に存在する他の2点とからなるため、画像に複数の平面が含まれる場合、異なる平面に属する点をサンプリングしてしまうおそれがある。また特許文献2では、特定物の特定において相対距離によってブロックをグループ化しているため、「特定物」単位でしかグルー

プ化ができず、計測対象の属する「面」の特定が困難である。このように従来の技術は、計測対象の２次元情報または３次元情報を高速かつ高精度に算出できるものではなかった。

[0005] 本発明はこのような事情に鑑みてなされたもので、計測対象の２次元情報または３次元情報を高速かつ高精度に算出できる計測装置及び計測方法を提供することを目的とする。

課題を解決するための手段

[0006] 上述した目的を達成するため、本発明の第１の態様に係る計測装置は、同一の被写体を複数の視点から撮影して得られた複数の画像を取得する画像取得部と、複数の画像をそれぞれ縮小して複数の縮小画像を生成する縮小画像生成部と、複数の縮小画像をブロックマッチングして得られた視差と複数の縮小画像の画素位置とに基づいて、複数の縮小画像における幾何領域である第１の幾何領域を抽出する幾何領域抽出部と、抽出した第１の幾何領域に基づいて、複数の画像における幾何領域であって第１の幾何領域に対応する幾何領域である第２の幾何領域を表す幾何方程式を決定する幾何方程式決定部と、決定した幾何方程式を用いて、被写体に含まれる計測対象の２次元情報または３次元情報を算出する計測部と、を備える。

[0007] 第１の態様に係る計測装置では、縮小画像のブロックマッチングに基づいて第１の幾何領域を抽出し、抽出した第１の幾何領域に基づいて、縮小前の画像における第２の幾何領域を表す幾何方程式を決定し、この幾何方程式を用いて計測を行うので、縮小前の画像のブロックマッチングの範囲を狭めて処理を高速に行うことができ、また異なる幾何領域を分離識別して高精度に計測を行うことができる。このように、第１の態様に係る計測装置では計測対象の２次元情報または３次元情報を高速かつ高精度に算出することができる。

[0008] なお第１の態様では、縮小画像の縮小度を１種類とすることができる。この場合縮小度が異なる複数種類の縮小画像を用いる必要が無く、処理を高速に行うことができる。また第１の態様において２次元情報及び３次元情報の

例としては計測対象の位置、長さ、幅及び面積を挙げることができるが、これらの例に限定されるものではない。なお、第1の態様において幾何領域とは同一の平面または曲面に属する被写体の領域であって同一の幾何方程式によって表される領域を意味するものとする。幾何領域は同一の被写体について1つ以上の任意の数だけ存在してよい。

[0009] 第2の態様に係る計測装置は第1の態様において、幾何領域抽出部は第1の幾何領域を表す幾何方程式を決定し、決定した第1の幾何領域を表す幾何方程式に基づいて第1の幾何領域を抽出する。第2の態様は、縮小画像において第1の幾何領域を抽出する方法の一例を規定するものである。

[0010] 第3の態様に係る計測装置は第1または第2の態様において、幾何領域抽出部は、第1の幾何領域との距離が閾値以下である画素を第1の幾何領域に属する画素として抽出する。第3の態様は、第1の幾何領域に属する画素を抽出する基準を示すものである。

[0011] 第4の態様に係る計測装置は第1から第3の態様のいずれか1つにおいて、第2の幾何領域から抽出した複数の代表点について視差を算出し、複数の代表点の画素位置と複数の代表点について算出した視差とに基づいて第2の幾何領域を表す幾何方程式を決定する。第4の態様によれば、縮小前の画像について代表点の抽出及び視差の算出を行い、これに基づいて幾何方程式を決定するので、計測対象の2次元情報または3次元情報を高精度に算出することができる。なお、第4の態様において抽出する代表点の数は、幾何領域の種類（平面か曲面か、曲面であればどのような曲面か）に応じて異なっていてよい。

[0012] 第5の態様に係る計測装置は第4の態様において、幾何方程式決定部は、複数の縮小画像のブロックマッチングの結果に基づいて複数の画像のブロックマッチング範囲を設定し、設定した範囲内で複数の画像のブロックマッチングを行うことにより複数の代表点の視差を求める。第5の態様によれば、縮小画像のブロックマッチング結果に基づいて複数の画像（縮小前の画像）のブロックマッチング範囲を設定するので、縮小前の画像を用いて代表点の

視差を高精度に求めつつマッチングを高速に行うことができ、計測対象の2次元情報または3次元情報を高速かつ高精度に算出することができる。

[0013] 第6の態様に係る計測装置は第1から第5の態様のいずれか1つにおいて、計測部は計測対象を示す画素が第2の幾何領域の内のいずれの幾何領域に属するか判定し、判定した幾何領域を表す幾何方程式と計測対象を示す画素の画素位置とに基づいて2次元情報または3次元情報を算出する。上述のように、本発明に係る計測装置では第2の幾何領域について幾何方程式を求めるので、第6の態様では計測対象が第2の幾何領域の内のいずれの幾何領域に属するかを判定した上で2次元情報または3次元情報を算出する。

[0014] 第7の態様に係る計測装置は第6の態様において、計測部は判定した幾何領域を表す幾何方程式と計測対象を示す画素の画素位置とに基づいて計測対象を示す画素の視差を算出し、算出した視差に基づいて2次元情報または3次元情報を算出する。第7の態様は計測対象を示す画素の視差に基づいて2次元情報または3次元情報を算出すること、及びそのような視差の算出手法を規定するものである。

[0015] 第8の態様に係る計測装置は第1から第7の態様のいずれか1つにおいて、幾何領域抽出部は複数の画像をグレースケール画像に変換する画像処理と複数の画像を平行化する画像処理とのうち少なくとも1つの画像処理を行い、少なくとも1つの画像処理を行った画像に対して複数の縮小画像を生成する。第8の態様はいわゆる「前処理」の内容を規定するもので、このような画像処理を行った画像に対して縮小画像を生成することで、計測対象の2次元情報または3次元情報を高速かつ高精度に算出することができる。

[0016] 第9の態様に係る計測装置は第1から第8の態様のいずれか1つにおいて、幾何方程式決定部は、平面、円筒面、及び球面のいずれかを表す幾何方程式を決定する。第9の態様は、被写体を構成する面として典型的である平面、円筒面、及び球面のいずれかを表す幾何方程式を決定することを規定したものである。

[0017] 第10の態様に係る計測装置は第1から第9の態様のいずれか1つにおい

て、被写体はコンクリート構造物であり、計測対象はコンクリート構造物の損傷である。コンクリート構造物には損傷が発生し、発生した損傷の形状及び大きさは時間の経過と共に変化していくが、第10の態様に係る計測装置をそのようなコンクリート構造物の損傷の計測に適用することにより、計測対象（即ち損傷）の2次元情報または3次元情報を高速かつ高精度に算出できる。なおコンクリート構造物の例としては橋梁、トンネル、道路、及びビルを挙げることができ、損傷の例としてはひび割れ及び遊離石灰を挙げることができるが、第10の態様が適用可能なコンクリート構造物及び損傷はこれらの例に限定されるものではない。

[0018] 第11の態様に係る計測装置は第1から第10の態様のいずれか1つにおいて、複数の画像を取得する光学系を備える。第11の態様が備える光学系は、撮影レンズ及び撮像素子を含む光学系を複数の視点のそれぞれに対応して複数備えたステレオ光学系とすることができる。

[0019] 上述した目的を達成するため、本発明の第12の態様に係る計測方法は同一の被写体を複数の視点から撮影して得られた複数の画像を取得する画像取得工程と、複数の画像をそれぞれ縮小して複数の縮小画像を生成する縮小画像生成工程と、複数の縮小画像をブロックマッチングして得られた視差と複数の縮小画像の画素位置とに基づいて、複数の縮小画像における幾何領域である第1の幾何領域を抽出する幾何領域抽出工程と、抽出した第1の幾何領域に基づいて、複数の画像における幾何領域であって第1の幾何領域に対応する幾何領域である第2の幾何領域を表す幾何方程式を決定する幾何方程式決定工程と、決定した幾何方程式を用いて、被写体に含まれる計測対象の2次元情報または3次元情報を算出する計測工程と、を備える。第12の態様に係る計測方法では、第1の態様と同様に計測対象の2次元情報または3次元情報を高速かつ高精度に算出することができる。

発明の効果

[0020] 以上説明したように、本発明の計測装置及び計測方法によれば、計測対象の2次元情報または3次元情報を高速かつ高精度に算出することができる。

図面の簡単な説明

[0021] [図1]図 1 は、本発明の計測装置及び計測方法の適用対象の例である橋梁を示す図である。

[図2]図 2 は、本発明の一実施形態に係る計測装置の構成を示すブロック図である。

[図3]図 3 は、本発明の一実施形態に係る計測方法の処理を示すフローチャートである。

[図4]図 4 は、左右画像間に垂直方向のずれが存在する様子を示す概念図である。

[図5]図 5 は、左右画像を平行化する様子を示す概念図である。

[図6]図 6 は、左右の縮小画像を示す図である。

[図7]図 7 は、縮小画像をブロックマッチングする様子を示す図である。

[図8]図 8 は、ブロックマッチングにより抽出された幾何領域を示す図である。

[図9]図 9 は、縮小画像の幾何領域で抽出された代表点の例を示す図である。

[図10]図 10 は、縮小前の画像で抽出された代表点の例を示す図である。

[図11]図 11 は、ひび割れを計測する様子を示す図である。

発明を実施するための形態

[0022] 以下、添付図面を参照しつつ、本発明に係る計測装置及び計測方法の実施形態について説明する。

[0023] 図 1 は、本発明に係る計測装置及び計測方法の適用対象の一例である橋梁 1（コンクリート構造物）の構造を示す斜視図である。図 1 に示す橋梁 1 は主桁 3 を有し、主桁 3 は接合部 3 A で接合されている。主桁 3 は橋台や橋脚の間に渡され、床版 2 上の車輛等の荷重を支える部材である。また、主桁 3 の上部には車輛等が走行するための床版 2 が打設されている。床版 2 は鉄筋コンクリート製のものが一般的である。なお橋梁 1 は、床版 2 及び主桁 3 の他に図示せぬ横桁、対傾構、及び横構等の部材を有する。

[0024] <画像の取得>

橋梁 1 の損傷を計測する場合、検査員はデジタルカメラ 104（図 2 参照）を用いて橋梁 1 を下方から撮影し（図 1 の C 方向）、検査範囲について画像を取得する。撮影は、橋梁 1 の延伸方向（図 1 の A 方向）及びその直交方向（図 1 の B 方向）に適宜移動しながら行う。なお橋梁 1 の周辺状況により検査員の移動が困難な場合は、橋梁 1 に沿って移動可能な移動体にデジタルカメラ 104 を設置して撮影を行ってもよい。このような移動体には、デジタルカメラ 104 の昇降機構及び／またはパン・チルト機構を設けてもよい。なお移動体の例としては車輜、ロボット、及び飛翔体を挙げることができるが、これらに限定されるものではない。

[0025] <計測装置の構成>

図 2 は、本実施形態に係る計測装置 100 の概略構成を示すブロック図である。計測装置 100 は、画像取得部 102、画像処理部 108（縮小画像生成部、幾何領域抽出部、代表点抽出部、視差算出部、幾何方程式決定部、判定部、計測部）、記録部 110、表示部 112、及び操作部 114 を備え、互いに接続されていて、必要な情報を送受信できるようになっている。

[0026] 各部の機能は、例えば CPU（Central Processing Unit）等の制御デバイスがメモリに記憶されたプログラムを実行することで実現できる。また、画像入力部 106 は無線通信用アンテナ及び入出力インタフェース回路を含み、記録部 110 は HDD（Hard Disk Drive）等の非一時的記録媒体を含んで構成される。また表示部 112 は液晶ディスプレイ等の表示デバイスを含み、操作部 114 はキーボード等の入力デバイスを含む。なおこれらは本発明に係る計測装置の構成の一例を示すものであり、他の構成を適宜採用し得る。

[0027] 上述のようにデジタルカメラ 104 を用いて撮影された画像は、無線通信により画像入力部 106 に入力されて、画像処理部 108 により計測処理（後述）が行われる。デジタルカメラ 104 及び画像入力部 106 は画像取得部 102 を構成する。なお、デジタルカメラ 104 は左目画像取得用の左画像用光学系 104L と右目画像取得用の右画像用光学系 104R とを備え、

これら光学系により同一の被写体（本実施形態では橋梁 1）を複数の視点から撮影できる。左画像用光学系 104L 及び右画像用光学系 104R は、図示せぬ撮影レンズ及び撮像素子を備える。撮像素子の例としては CCD（Charge Coupled Device）型の撮像素子及び CMOS（Complementary Metal-Oxide Semiconductor）型の撮像素子を挙げることができる。撮像素子の受光面上には R（赤）、G（緑）、または B（青）のカラーフィルタが設けられており、各色の信号に基づいて被写体のカラー画像を取得することができる。

[0028] <計測処理の手順>

次に、上述した構成の計測装置 100 を用いた被写体の計測について説明する。図 3 は本実施形態に係る計測処理の手順を示すフローチャートである。なお、本実施形態ではコンクリート構造物である橋梁 1 の床版 2 に生じたひび割れを計測する場合について説明する。

[0029] <画像取得>

まず、上述のようにデジタルカメラ 104 で撮影した橋梁 1 のステレオ画像を、無線通信により画像入力部 106 に入力する（ステップ S100；画像取得工程）。橋梁 1 の画像は検査範囲に応じて複数入力され、また入力する画像には、デジタルカメラ 104 により撮影日時の情報が付加されている。なお入力画像の撮影日時は必ずしも全ての画像において同一である必要はなく、複数日に亘っていてもよい。画像は複数の画像を一括して入力してもよいし、一度に 1 つの画像を入力するようにしてもよい。なお、橋梁 1 の画像は無線通信でなく各種メモリカード等の非一時的記録媒体を介して入力するようにしてもよいし、既に撮影され記録されている画像のデータをネットワーク経由で入力してもよい。

[0030] このようにして入力した左画像 iL0 及び右画像 iR0 の例を図 4 に示す。図 4 では、橋梁 1 において 3 つの平面が交差する部分（隅部分）を撮影した場合の画像の例を示している。3 つの平面は境界線 E1、E2、及び E3 で交差し、これら境界線 E1、E2、及び E3 は点 E0 で一致している。なお左画像 iL0 及び右画像 iR0 において、図 4 の左右方向を水平方向 u と

し、上下方向を垂直方向 v とする。なお左画像 $iL0$ 及び右画像 $iR0$ のチャンネル数及び画像サイズは特に限定されるものではないが、例えば4, 800ピクセル（水平方向 u ） $\times$ 3, 200ピクセル（垂直方向 v ）のカラー画像（3チャンネル）とすることができる。また、左画像 $iL0$ 及び右画像 $iR0$ は複数の画像を編集及び／または合成した画像（例えば、計測範囲の一部を撮影した画像を合成して生成した、計測範囲全体を示す画像）であってもよい。

[0031] <前処理>

本実施形態において、左画像 $iL0$ 及び右画像 $iR0$ はカラー画像であり、また図4に示すように垂直方向 v に距離 δ ずれているものとする。そこで画像処理部108は、後述する縮小画像の生成等に先立って、ステップS110において左画像 $iL0$ 及び右画像 $iR0$ をグレースケール画像に変換する。また画像処理部108は、ステップS110において左画像 $iL0$ 及び／または右画像 $iR0$ を垂直方向 v にシフトして、上述した距離 δ のずれを補正（平行化）する。これらの前処理を行って得られた画像の例（左画像 $iL1$ 及び右画像 $iR1$ ）を図5に示す。本実施形態に係る計測装置100及び計測方法では、このような前処理を行うことで高精度な計測を行うことができる。

[0032] <縮小画像生成>

次に、画像処理部108は、前処理後の画像である左画像 $iL1$ 及び右画像 $iR1$ に基づいて縮小画像を生成する（ステップS120；縮小画像生成工程）。縮小の度合いは特に限定されないが、例えば左画像 $iL1$ 及び右画像 $iR1$ の水平方向 u 及び垂直方向 v をそれぞれ16分の1に縮小して、300ピクセル（水平方向 u ） $\times$ 200ピクセル（垂直方向 v ）の縮小画像を生成することができる。この縮小画像を左画像 $iL2$ 及び右画像 $iR2$ とする（図6参照）。なお、ステップS120で生成する縮小画像は1種類でよい。即ち、縮小度の異なる画像（例えば、8分の1、4分の1、及び2分の1等）を複数生成しなくてよい。

[0033] <幾何領域抽出>

次に、画像処理部 108 は左画像 $i_L 2$ 及び右画像 $i_R 2$ に基づいて橋梁 1 の幾何領域（第 1 の幾何領域）を抽出する（ステップ S 130；幾何領域抽出工程）。ステップ S 130 の処理には、ブロックマッチングによる視差の算出、画素位置及び視差に基づく幾何方程式決定、及び決定した幾何方程式に基づく幾何領域の抽出が含まれる。以下、これらの処理について説明する。

[0034] <ブロックマッチング>

ブロックマッチングは、左画像 $i_L 2$ 及び右画像 $i_R 2$ のうち一方の画像（基準画像）において複数の画素を含むブロックを設定し、他方の画像（比較画像）においてこのブロックと同じ形状及びサイズのブロックを設定して、比較画像におけるブロックを 1 画素ずつ水平方向 u に移動させて、各位置で 2 つのブロックについての相関値を算出することにより行う。図 7 の例では、基準画像を左画像 $i_L 2$ 、比較画像を右画像 $i_R 2$ とし、左画像 $i_L 2$ で設定したブロック A_L と同形状及び同サイズのブロック A_R を 1 画素ずつ水平方向 u に移動させる。なお、ステップ S 110 の前処理において左右画像を平行化しているので、ブロック A_L の位置が決まれば、ブロックマッチングの際はブロック A_R を水平方向 u に移動させるだけでよい。前処理において左右画像を平行化していない場合、ブロックマッチングでは、水平方向 u への移動を垂直方向 v の位置をずらしながら繰り返す。

[0035] このようにブロック A_R を移動させながら相関値を算出し、ブロック A_L の位置に対し相関値が最も低くなる（即ち、相関が最も高くなる）ブロック A_R の位置が特定されたら、ブロック A_L における注目画素（例えば中央の画素）と、特定された位置におけるブロック A_R の対応画素（例えば中央の画素）との間の距離を視差として算出する。そして、このような処理を基準画像である左画像 $i_L 2$ の全画素について実行して、各画素位置について視差を求め、視差画像を生成する。なお視差の算出において、相関値の算出方法としては、例えば SAD（Sum of Absolute Difference）、SSD（Sum of Squared Difference）などがある。

f Squared intensity Difference)、NCC (Normalized Cross Correlation) 等の手法を挙げることができる。

[0036] <幾何方程式の決定及び幾何領域の抽出>

本実施形態において、画像処理部108はRANSAC (RANdom SAMple Consensus) アルゴリズムを用いて平面抽出(第1の幾何領域の抽出)を行う。RANSACアルゴリズムは、ランダムにサンプリングしたデータ(平面であれば3個)を用いたモデルパラメータ(平面を表すパラメータ)の算出と、算出したパラメータの正しさの評価とを、最適な評価値が得られるまで繰り返すアルゴリズムである。以下、具体的な手順を説明する。

[0037] (ステップS1)

上述したブロックマッチングにより作成した視差画像から、ランダムに3点抽出する。例えば、図9において点 $f_1(u_1, v_1, w_1)$ 、 $f_2(u_2, v_2, w_2)$ 、及び $f_3(u_3, v_3, w_3)$ が抽出されたものとする。ここで抽出する点は、各幾何領域の幾何方程式を決定するための点であり、想定される幾何領域の種類(平面、円筒面、及び球面等)に応じて抽出する点の数を変えてよい。例えば平面であれば、3点以上(ただし、同一直線上にないものとする)の代表点を抽出する。なお、画像の水平方向座標を u_i 、垂直方向座標を v_i 、視差(距離方向)を w_i で表す(i は点番号を表す1以上の整数)。

[0038] (ステップS2)

次に、抽出した点 f_1 、 f_2 、 f_3 から平面方程式(幾何方程式)を決定する。3次元空間(u 、 v 、 w)における平面方程式 F は一般に以下の(式1)で表される(a 、 b 、 c 、 d は定数)。

[0039]
$$F = a \times u + b \times v + c \times w + d \quad \dots \text{(式1)}$$

(ステップS3)

視差画像の全ての画素(u_i 、 v_i 、 w_i)に対して、(式1)の平面方程式 F で表される平面までの距離を算出する。距離が閾値以下なら、その画素は平面方程式 F で表される平面上に存在すると判断する。

[0040] (ステップS4)

平面方程式Fで表される平面上に存在する画素数が現在の最適解についての画素数よりも多ければ、平面方程式Fを最適解とする。

[0041] (ステップS5)

ステップS1～S4を決められた回数繰り返す。

[0042] (ステップS6)

得られた平面方程式を解として1つの平面を決定する。

[0043] (ステップS7)

ステップS6までで決定した平面上の画素を処理対象(平面の抽出対象)から除外する。

[0044] (ステップS8)

ステップS1～S7を繰り返し、抽出した平面が一定数を超えるか、残った画素が規定数より少なくなれば終了する。

[0045] 上述の手順により、縮小画像から幾何領域(第1の幾何領域)を抽出することができる。図8の例では、3つの幾何領域(平面)G1, G2, 及びG3が抽出されたものとする。本実施形態に係る計測装置100及び計測方法では、このように異なる幾何領域を分離識別して高精度に計測を行うことができる。

[0046] なお、ここでは幾何領域が平面の場合の幾何方程式(平面方程式)について説明したが、被写体の形状に応じて円筒面(円柱面)あるいは球面等、他の種類の幾何領域を表す幾何方程式を決定するようにしてもよい。これは、橋脚やトンネル等の構造物の形状は、平面だけでなく円筒面または球面により表されることも多いからである。具体的には、中心軸がz軸であり半径がrの円柱は以下の(式2)で表され(zは任意の値)、中心が座標系の原点であり半径がrの円柱は以下の(式3)で表される。

[0047] $x^2 + y^2 = r^2$... (式2)

$x^2 + y^2 + z^2 = r^2$... (式3)

<代表点の抽出及び代表点の視差>

ステップS 1 3 0までの処理により縮小画像が幾何領域ごとにグループ化されているが、計測を高精度に行うため、次に、以下の手順により縮小前の画像について平面方程式を求める。

[0048] 画像処理部108は、まず、縮小前の画像から同一の幾何領域に属する点（代表点）を複数抽出する（ステップS 1 4 0）。図10の例では、縮小前の画像である左画像i L 1において、上述した幾何領域G 1に対応する幾何領域G 1 A（第2の幾何領域）から代表点f 4, f 5, f 6を抽出している。図10において、幾何領域G 1 A, G 2 A, 及びG 3 A（第2の幾何領域）は上述した幾何領域G 1, G 2, 及びG 3（第1の幾何領域）にそれぞれ対応している。

[0049] 次に、抽出された代表点f 4, f 5, f 6について視差を算出する（ステップS 1 5 0）。上述したように縮小画像のブロックマッチングにより視差が算出されているので、縮小画像のブロックマッチングの結果に基づいて、縮小前の画像である左画像i L 1と右画像i R 1とのブロックマッチング範囲を設定し、設定した範囲内で左画像i L 1及び右画像i R 1のブロックマッチングを行う。なお、ステップS 1 5 0でのブロックマッチングは抽出した代表点について行えばよく、全画素を対象とする必要はない。これによりブロックマッチングの対象及び範囲を絞って高速に処理を行いつつ、縮小前の画像について高精度に視差を算出することができる。

[0050] <幾何方程式の決定>

そして画像処理部108は、代表点の画素位置及びステップS 1 5 0で算出した視差に基づいて平面方程式を推定する（ステップS 1 6 0；幾何方程式決定工程）。この処理は、縮小画像についての平面方程式推定と同様に行うことができる。このようにして1つの幾何領域について平面方程式を決定したら、全ての幾何領域（平面）についてステップS 1 4 0～S 1 6 0の処理を繰り返し、平面方程式を求める。なおステップS 1 4 0～S 1 6 0において、縮小画像の処理について説明したように、RANSACアルゴリズムにより代表点の抽出と平面方程式の推定とを繰り返すようにしてもよい。

[0051] <損傷の抽出>

本実施形態では橋梁 1 の損傷（ひび割れ）を計測する場合を想定しているので、画像（例えば左画像 i L 1 または右画像 i R 1）からひび割れを抽出する（ステップ S 1 7 0）。ひび割れの抽出は種々の手法により行うことができるが、例えば特許 4 0 0 6 0 0 7 号公報に記載されたひび割れ検出方法を用いることができる。この方法は、対比される 2 つの濃度に対応したウェーブレット係数を算定すると共に、該 2 つの濃度をそれぞれ変化させた場合のそれぞれのウェーブレット係数を算定してウェーブレット係数テーブルを作成し、ひび割れ検出対象であるコンクリート表面を撮影した入力画像をウェーブレット変換することによってウェーブレット画像を作成する工程と、ウェーブレット係数テーブル内において、局所領域内の近傍画素の平均濃度と注目画素の濃度に対応するウェーブレット係数を閾値として、注目画素のウェーブレット係数と該閾値とを比較することによりひび割れ領域とひび割れでない領域を判定する工程とからなるひび割れ検出方法である。

[0052] ひび割れの抽出は、下記の非特許文献 1 に記載の方法を用いて行うこともできる。非特許文献 1 に記載の方法では、閾値未満の輝度値を有する画素で構成された領域をパーコレーションされた領域（パーコレーション領域）とし、そのパーコレーション領域の形状に応じて閾値を順次更新し、表面画像よりひび割れの検出を行っている。なお、パーコレーション法とは一般に自然界における水の浸透（パーコレーション）を模して領域を順次拡大させる方法である。

[0053] [非特許文献 1] Tomoyuki Yamaguchi, 「A Study on Image Processing Method for Crack Inspection of Real Concrete Surfaces」、MAJOR IN PURE AND APPLIED PHYSICS, GRADUATE SCHOOL OF SCIENCE AND ENGINEERING, WASEDA UNIVERSITY、2 0 0 8 年 2 月

なお本実施形態では幾何方程式の決定後にひび割れを抽出する態様について説明しているが、ひび割れの抽出は前処理（ステップ S 1 1 0）から幾何方程式の決定（ステップ S 1 6 0）までの処理と並行して、あるいはこれら

の処理に先立って行うようにしてもよい。ひび割れ C_r が抽出された場合の例を図10に示す。ひび割れ C_r は、端点 P_1 から端点 P_2 へ至るひび割れである。

[0054] <幾何領域の判定>

ひび割れ C_r を計測するには、まずひび割れ C_r が属する幾何領域を判定する（ステップS180；計測工程）。本実施形態ではステップS160までの処理により幾何領域が抽出されているので、画素位置と幾何領域との関係は特定されており、画像処理部108はこの関係に基づいてひび割れ C_r が属する幾何領域を判定することができる。図11の例では、ひび割れ C_r は幾何領域 G_1A に属すると判定される。また、ひび割れ C_r を示す画像（例えば左画像 i_L1 または右画像 i_R1 ）を表示部112に表示し、ユーザが操作部114を介して入力した結果に基づいて幾何領域を判定するようにしてもよい。この場合具体的には、ユーザはマウス等のポインティングデバイスにより表示部112の表示画面上で計測対象であるひび割れ C_r の端点 P_1 、 P_2 を指定し、画像処理部108が「端点 P_1 、 P_2 は幾何領域 G_1A に属する」と判定する。

[0055] <損傷の計測>

ステップS180でひび割れ C_r が属する幾何領域が決定されたら、ステップS160までの処理で決定した幾何方程式（平面方程式）を用いて、ひび割れ C_r の2次元情報または3次元情報を算出する（ステップS190；計測工程）。2次元情報または3次元情報の例としては位置、長さ、幅、及び面積を挙げることができるが、算出する項目はこれらの例に限定されるものではなく、被写体及び計測対象の性質に応じて体積や断面積等他の項目を算出するようにしてもよい。

[0056] ひび割れ C_r の長さを算出する場合、端点 P_1 、 P_2 の画素位置と、幾何領域 G_1A の平面方程式とに基づいて、端点 P_1 、 P_2 における視差を算出する。具体的には、端点 P_1 、 P_2 の (u, v) 座標及び幾何領域 G_1A の平面方程式から、ブロックマッチングを行うことなく端点 P_1 、 P_2 の視差

(w座標に対応)を求めることができる。そして、必要に応じ端点P₁, P₂の(u, v, w)座標をデジタルカメラ104の位置及び撮影方向に基づいて実空間の(x, y, z)座標に変換し、以下の(式4)により長さL(端点P₁, P₂の距離)を求める。なおひび割れC_rが曲線状のひび割れである場合は、ひび割れC_rを複数の区間に分割して各区間が直線と見なせるようにし、各区間の長さを積算することでひび割れC_rの長さを求めることができる。

[0057]
$$L = \{ (x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2 + (z_1 - z_2)^2 \}^{1/2} \dots (\text{式4})$$

ただし、端点P₁, P₂の実空間内の座標はそれぞれ(x₁, y₁, z₁), (x₂, y₂, z₂)であるものとする。

[0058] 以上説明したように、本実施形態に係る計測装置100及び計測方法では、縮小画像のブロックマッチングに基づいて同一の幾何領域を抽出するので処理を高速に行うことができ、またこれにより異なる幾何領域を分離識別して高精度に計測を行うことができる。また、縮小前の画像から抽出した代表点について縮小画像のブロックマッチングに基づいて設定した範囲でブロックマッチングを行うことにより視差を算出し、算出した視差に基づいて幾何方程式を決定することで、高速かつ高精度に処理を行うことができる。このように、本実施形態に係る計測装置100及び計測方法によれば、計測対象の2次元情報または3次元情報を高速かつ高精度に算出することができる。

[0059] 以上で本発明の実施形態に関して説明してきたが、本発明は上述した実施形態に限定されず、本発明の精神を逸脱しない範囲で種々の変形が可能である。

符号の説明

- [0060] 1 橋梁
2 床版
3 主桁
3A 接合部

1 0 0 計測装置

1 0 2 画像取得部

1 0 4 デジタルカメラ

1 0 4 L 左画像用光学系

1 0 4 R 右画像用光学系

1 0 6 画像入力部

1 0 8 画像処理部

1 1 0 記録部

1 1 2 表示部

1 1 4 操作部

A L ブロック

A R ブロック

E 1 境界線

E 2 境界線

F 平面方程式

G 1 幾何領域

G 1 A 幾何領域

G 2 幾何領域

G 2 A 幾何領域

G 3 幾何領域

G 3 A 幾何領域

u 水平方向

P 1 端点

P 2 端点

S 1 ~ S 8 幾何方程式決定及び幾何領域抽出を行うステップ

S 1 0 0 ~ S 1 9 0 計測方法を構成するステップ

v 垂直方向

f 4 代表点

f 5 代表点

f 6 代表点

i L 0 左画像

i L 1 左画像

i L 2 左画像

i R 0 右画像

i R 1 右画像

i R 2 右画像

δ 距離

請求の範囲

- [請求項1] 同一の被写体を複数の視点から撮影して得られた複数の画像を取得する画像取得部と、
- 前記複数の画像をそれぞれ縮小して複数の縮小画像を生成する縮小画像生成部と、
- 前記複数の縮小画像をブロックマッチングして得られた視差と前記複数の縮小画像の画素位置とに基づいて、前記複数の縮小画像における幾何領域である第1の幾何領域を抽出する幾何領域抽出部と、
- 前記抽出した第1の幾何領域に基づいて、前記複数の画像における幾何領域であって前記第1の幾何領域に対応する幾何領域である第2の幾何領域を表す幾何方程式を決定する幾何方程式決定部と、
- 前記決定した幾何方程式を用いて、前記被写体に含まれる計測対象の2次元情報または3次元情報を算出する計測部と、
- を備える計測装置。
- [請求項2] 前記幾何領域抽出部は前記第1の幾何領域を表す幾何方程式を決定し、前記決定した前記第1の幾何領域を表す幾何方程式に基づいて前記第1の幾何領域を抽出する請求項1に記載の計測装置。
- [請求項3] 前記幾何領域抽出部は、前記第1の幾何領域との距離が閾値以下である画素を前記第1の幾何領域に属する画素として抽出する請求項1または2に記載の計測装置。
- [請求項4] 前記幾何方程式決定部は、前記第2の幾何領域から抽出した複数の代表点について視差を算出し、前記複数の代表点の画素位置と前記複数の代表点について算出した視差とに基づいて前記第2の幾何領域を表す幾何方程式を決定する請求項1から3のいずれか1項に記載の計測装置。
- [請求項5] 前記幾何方程式決定部は、前記複数の縮小画像のブロックマッチングの結果に基づいて前記複数の画像のブロックマッチング範囲を設定し、前記設定した範囲内で前記複数の画像のブロックマッチングを行

うことにより前記複数の代表点の視差を求める請求項 4 に記載の計測装置。

[請求項6] 前記計測部は前記計測対象を示す画素が前記第 2 の幾何領域の内のいずれの幾何領域に属するか判定し、前記判定した幾何領域を表す幾何方程式と前記計測対象を示す画素の画素位置とに基づいて前記 2 次元情報または前記 3 次元情報を算出する請求項 1 から 5 のいずれか 1 項に記載の計測装置。

[請求項7] 前記計測部は前記判定した幾何領域を表す幾何方程式と前記計測対象を示す画素の画素位置とに基づいて前記計測対象を示す画素の視差を算出し、前記算出した視差に基づいて前記 2 次元情報または前記 3 次元情報を算出する請求項 6 に記載の計測装置。

[請求項8] 前記幾何領域抽出部は前記複数の画像をグレースケール画像に変換する画像処理と前記複数の画像を平行化する画像処理とのうち少なくとも 1 つの画像処理を行い、前記少なくとも 1 つの画像処理を行った画像に対して前記複数の縮小画像を生成する請求項 1 から 7 のいずれか 1 項に記載の計測装置。

[請求項9] 前記幾何方程式決定部は、平面、円筒面、及び球面のいずれかを表す幾何方程式を決定する請求項 1 から 8 のいずれか 1 項に記載の計測装置。

[請求項10] 前記被写体はコンクリート構造物であり、前記計測対象は前記コンクリート構造物の損傷である請求項 1 から 9 のいずれか 1 項に記載の計測装置。

[請求項11] 前記複数の画像を取得する光学系を備える請求項 1 から 10 のいずれか 1 項に記載の計測装置。

[請求項12] 同一の被写体を複数の視点から撮影して得られた複数の画像を取得する画像取得工程と、

前記複数の画像をそれぞれ縮小して複数の縮小画像を生成する縮小画像生成工程と、

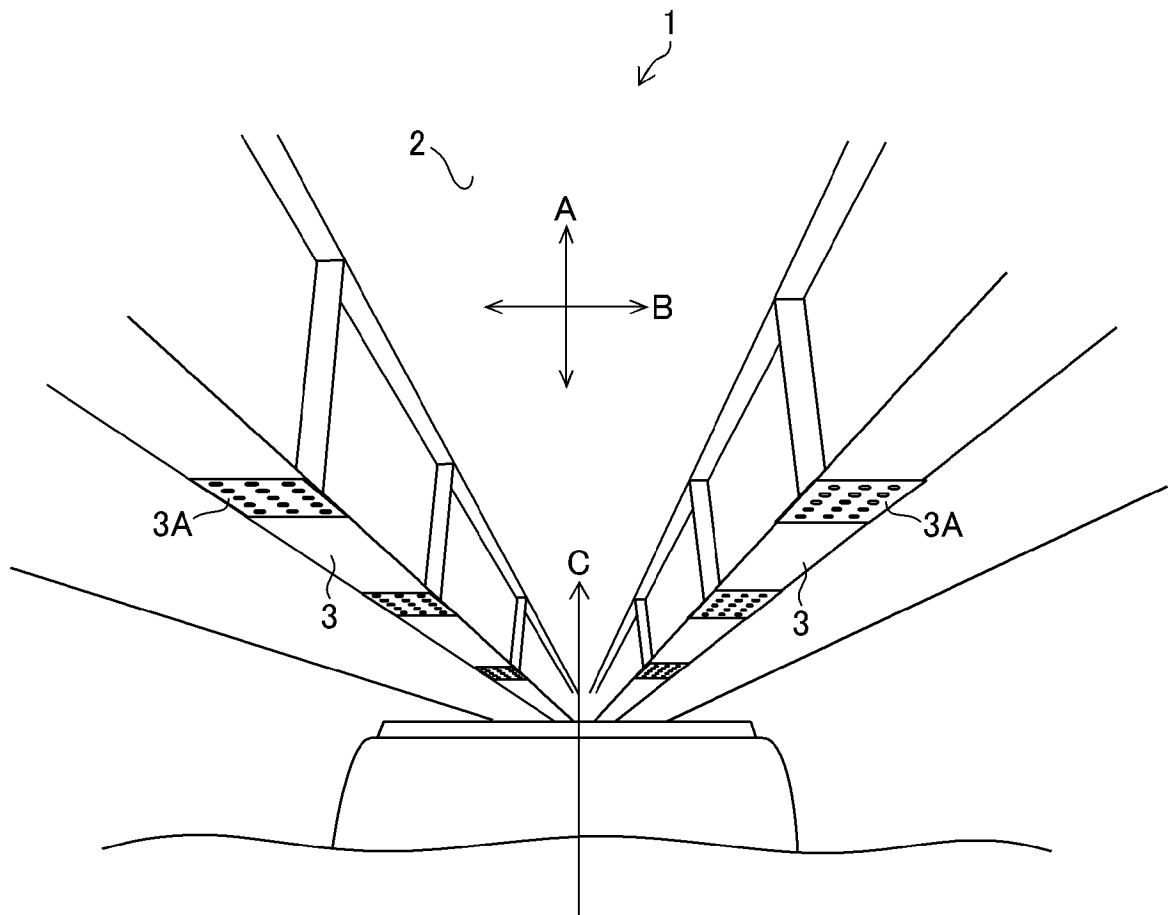
前記複数の縮小画像をブロックマッチングして得られた視差と前記複数の縮小画像の画素位置とに基づいて、前記複数の縮小画像における幾何領域である第1の幾何領域を抽出する幾何領域抽出工程と、

前記抽出した第1の幾何領域に基づいて、前記複数の画像における幾何領域であって前記第1の幾何領域に対応する幾何領域である第2の幾何領域を表す幾何方程式を決定する幾何方程式決定工程と、

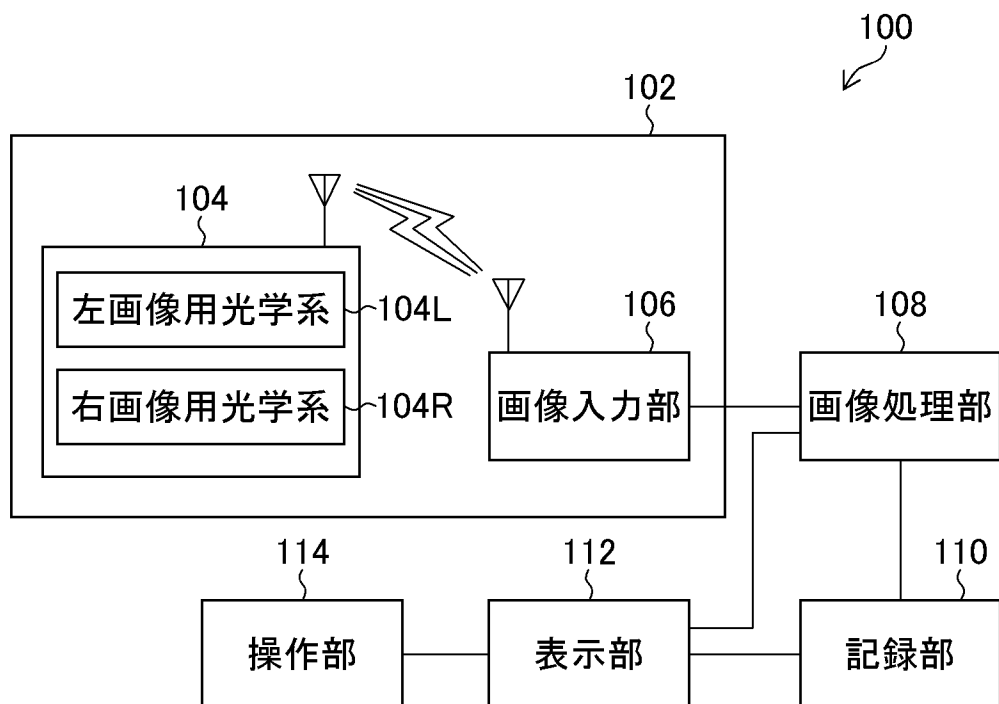
前記決定した幾何方程式を用いて、前記被写体に含まれる計測対象の2次元情報または3次元情報を算出する計測工程と、

を備える計測方法。

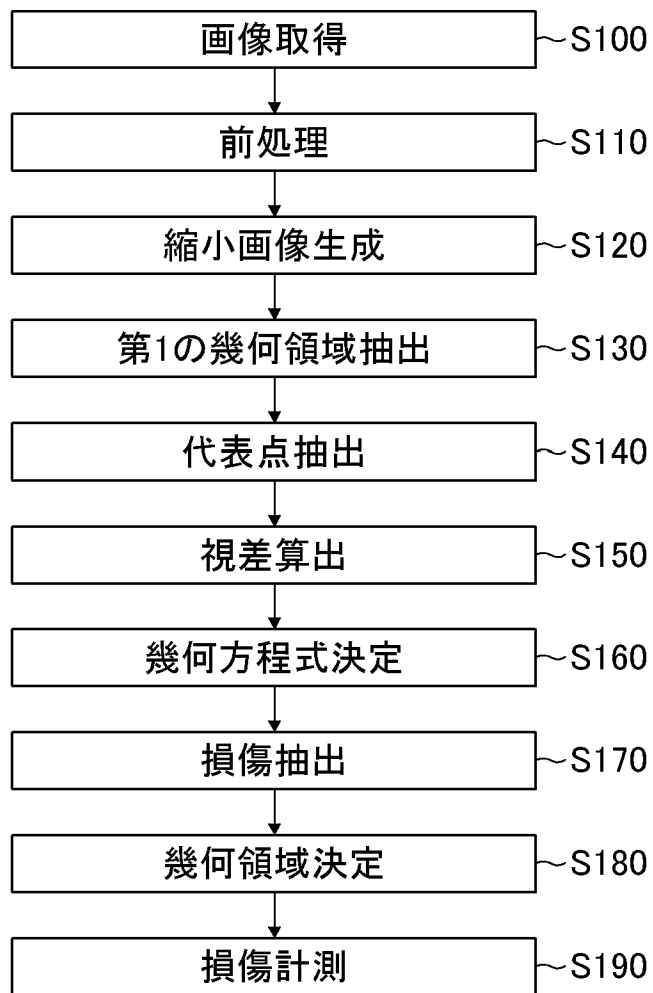
[図1]



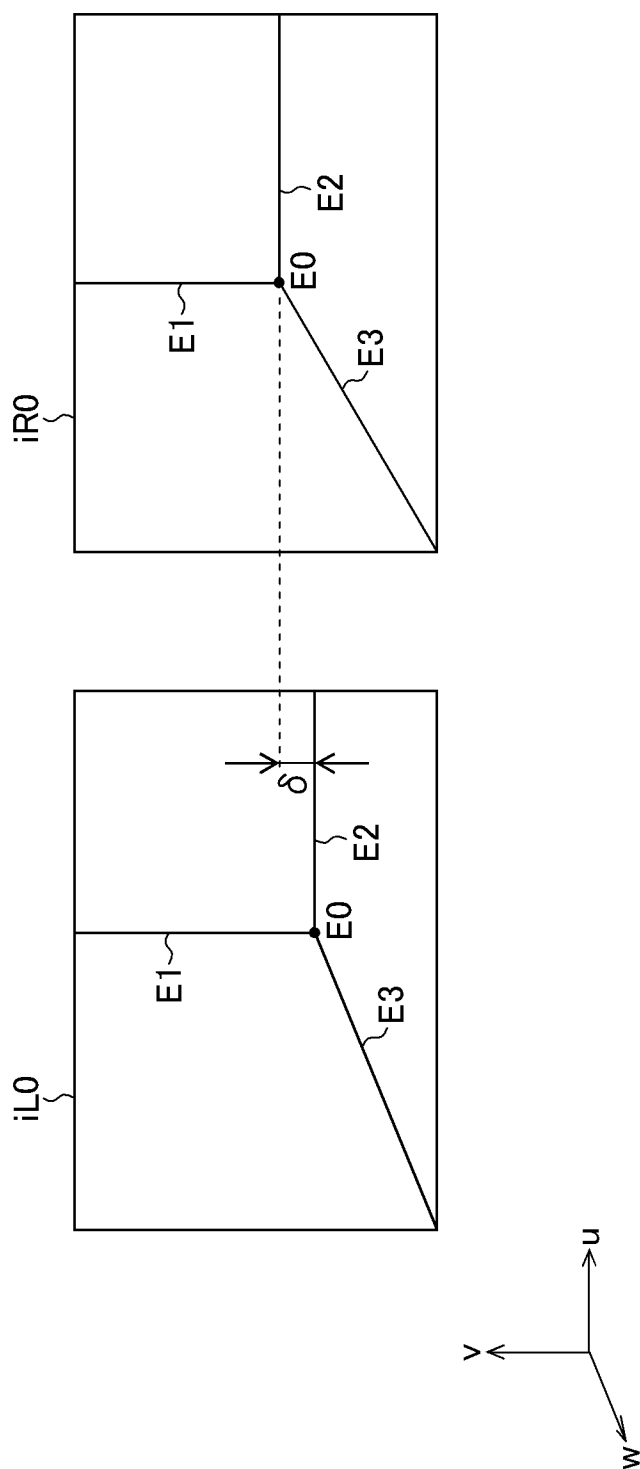
[図2]



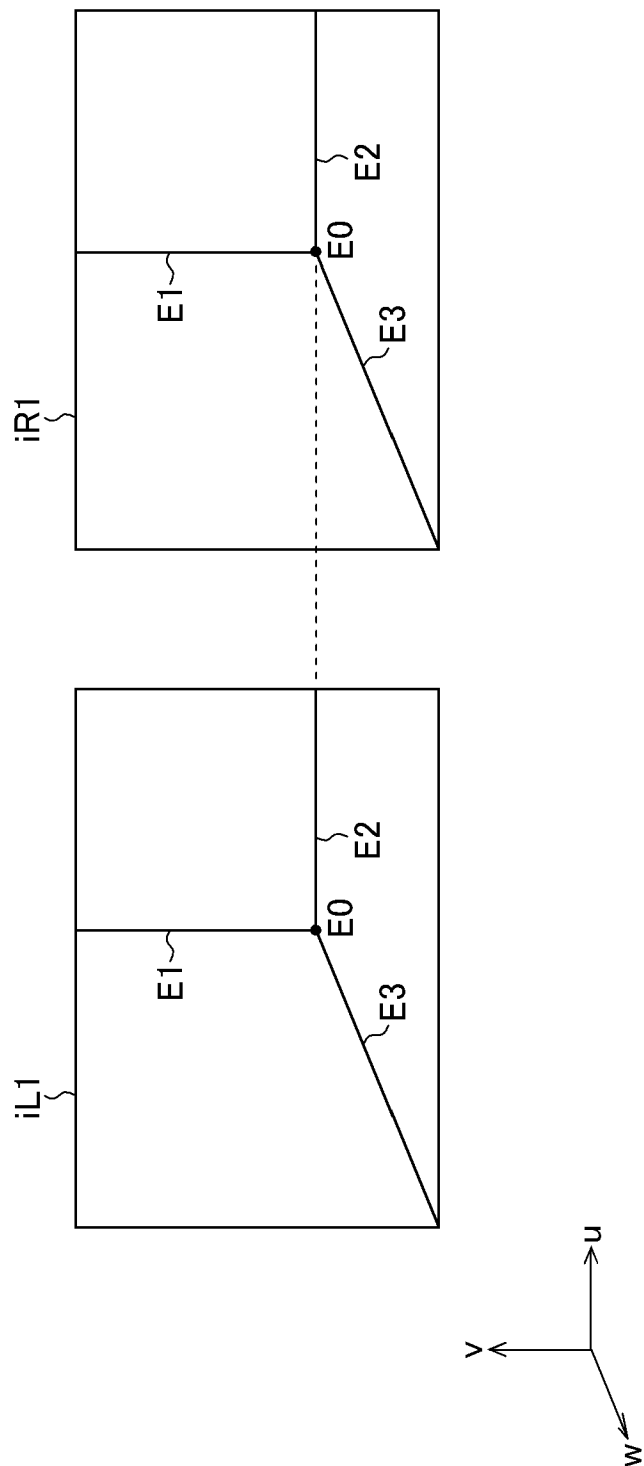
[図3]



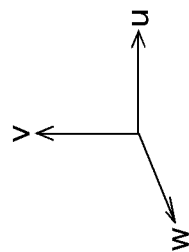
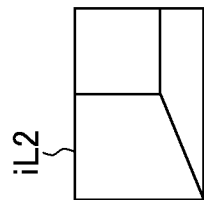
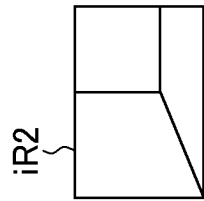
[図4]



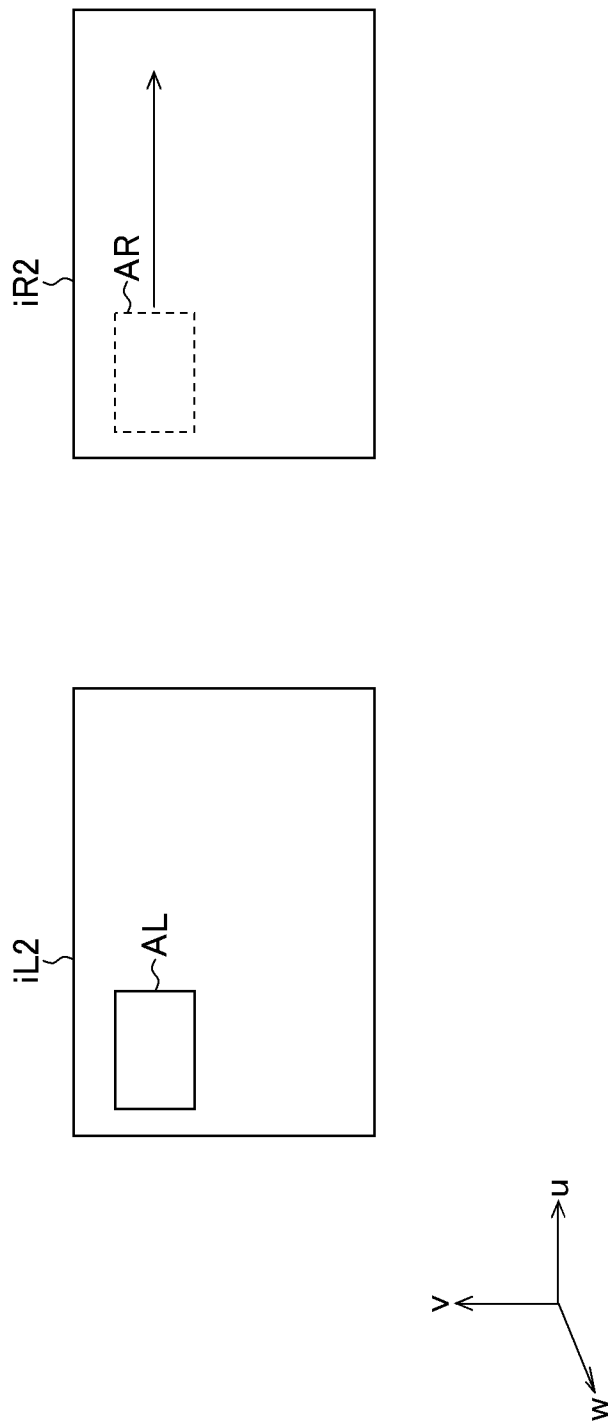
[図5]



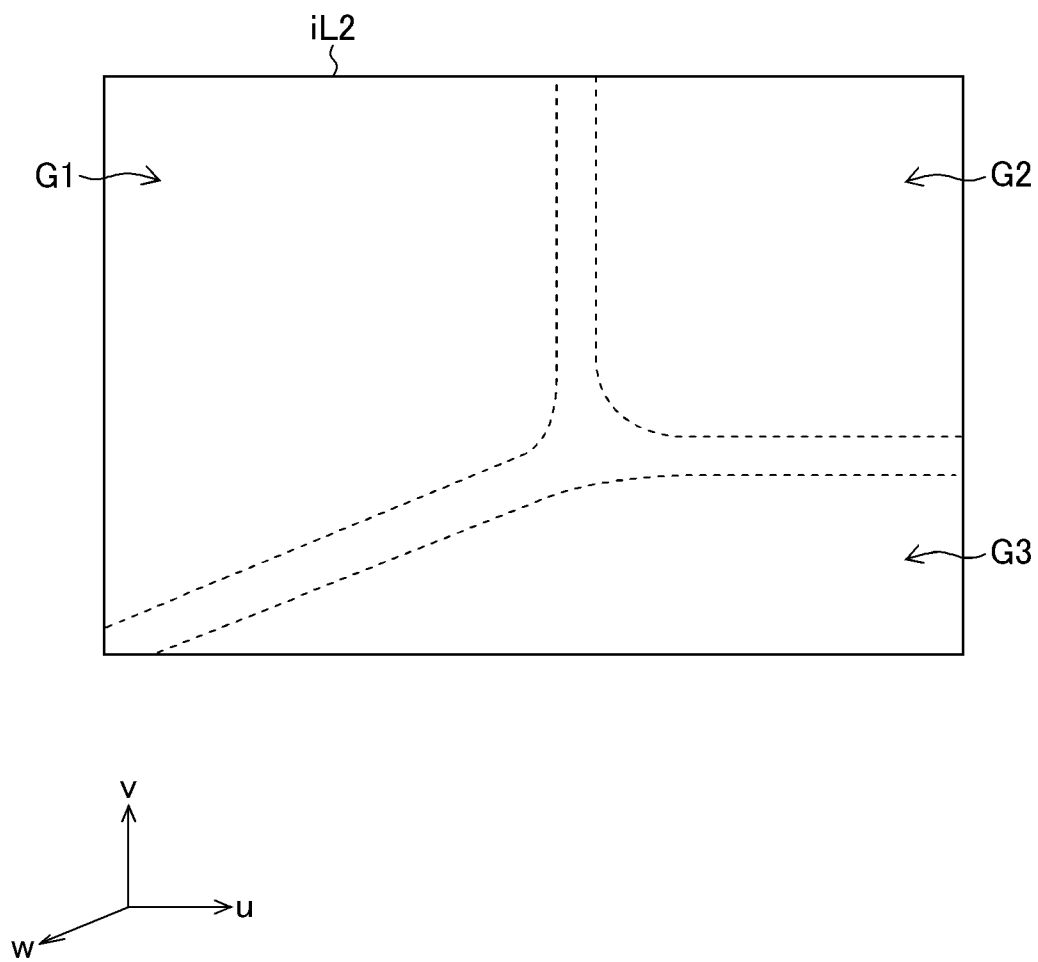
[図6]



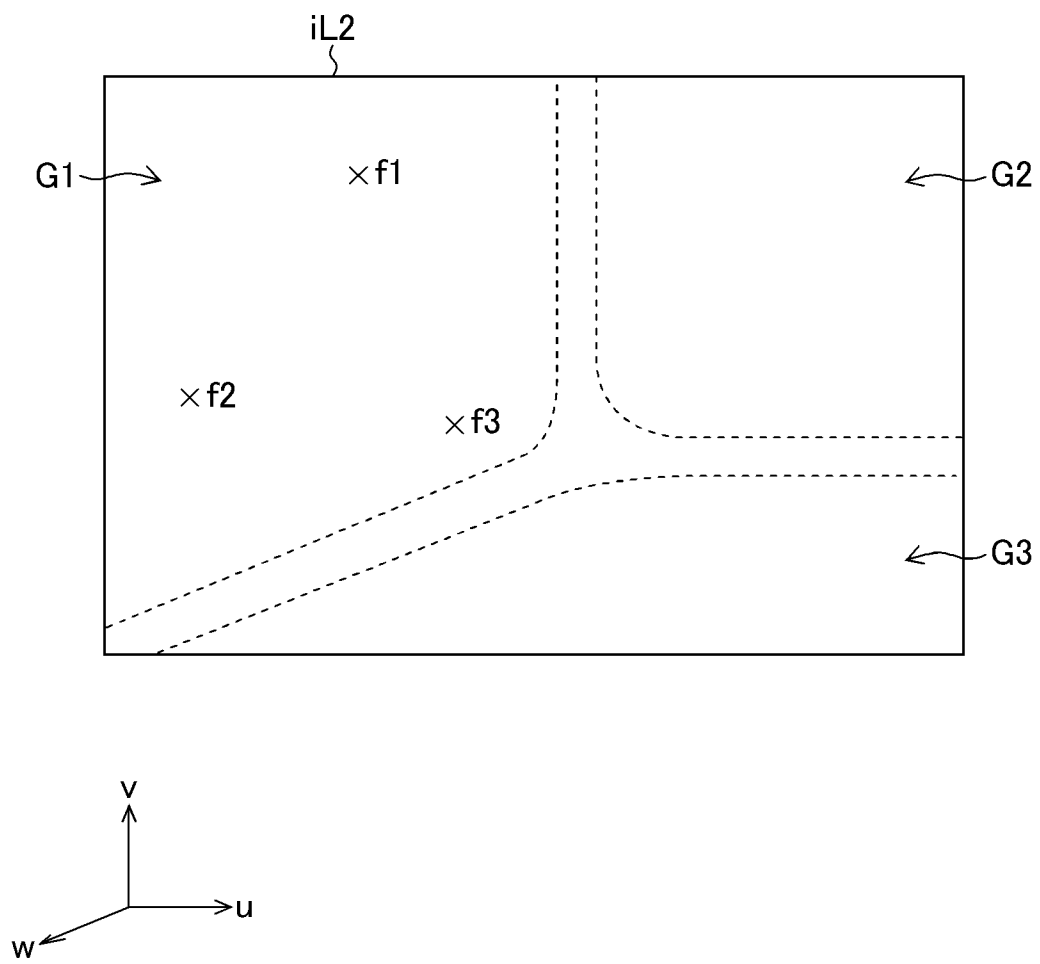
[図7]



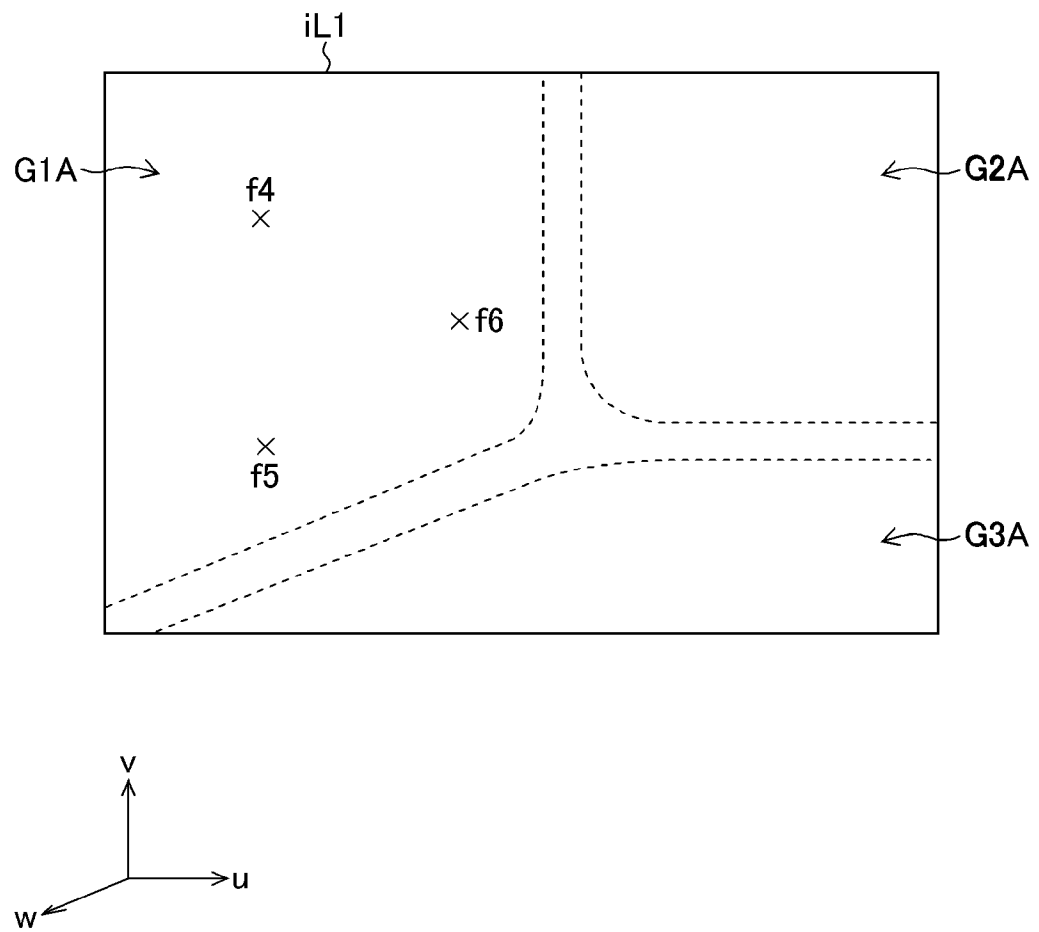
[図8]



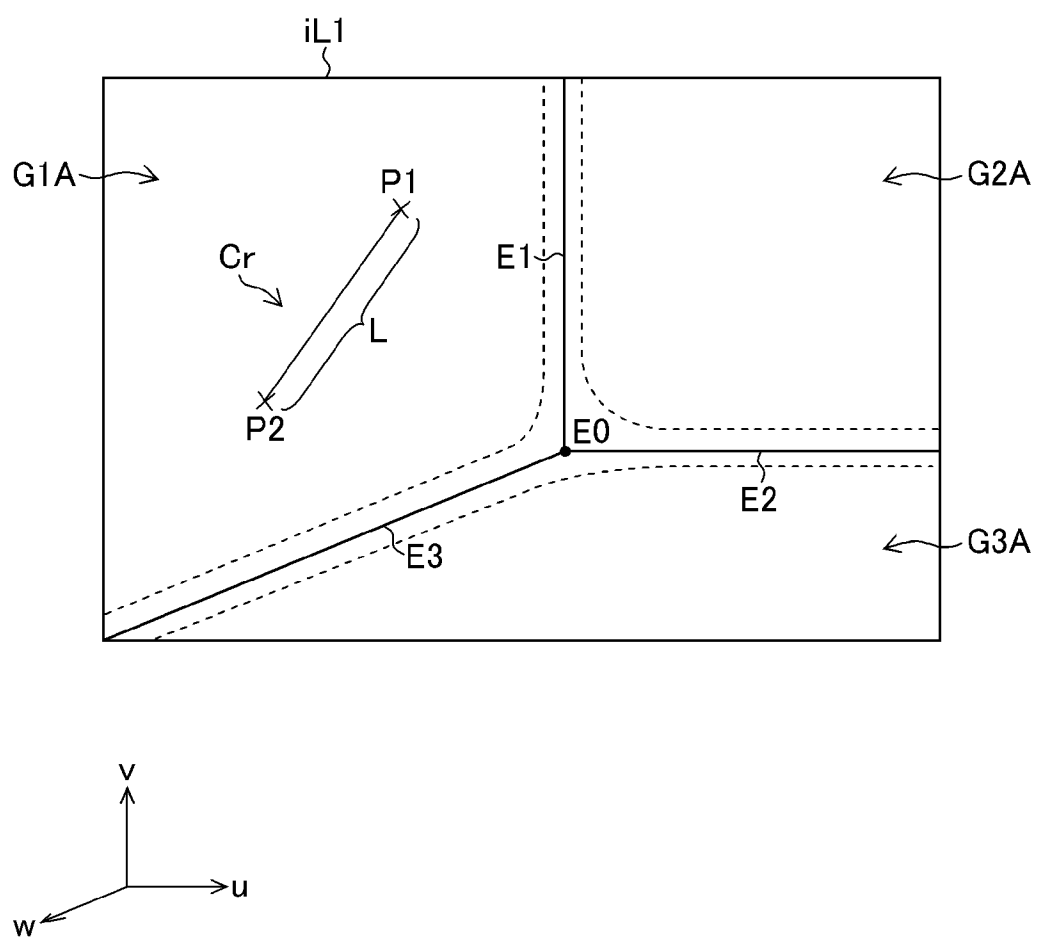
[図9]



[図10]



[図11]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2017/000500

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G06T7/00(2017.01)i, G01B11/30(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

G06T7/00, G01B11/30

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2017
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2017	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2017

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

JSTPlus (JDreamIII)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	Masanobu FUJIWARA et al., "Direct Estimation of Multiple Planar Regions and Plane Parameters via Graph-Cuts Using Stereo Images", IPSJ SIG Notes Kenkyu Hokoku Computer Vision and Image Media (CVIM), 15 April 2011 (15.04.2011), no. 176, pages 1 to 8, particularly, '3.4 Kaisoteki Algorithm'	1-12
Y	Satoshi KUSHIDA et al., "Disparity estimation using hierarchical segmentation and plane fitting", IPSJ SIG Notes Kenkyu Hokoku Audio Visual Fukugo Joho Shori(AVM), 15 February 2012 (15.02.2012), no.75, pages 1 to 6, particularly, '2. Teian Shuho''2.2.2 Heimen Fitting', fig. 1	1-12

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
02 February 2017 (02.02.17)

Date of mailing of the international search report
14 February 2017 (14.02.17)

Name and mailing address of the ISA/
Japan Patent Office
3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku,
Tokyo 100-8915, Japan

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2017/000500

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 2015-190978 A (Kabushiki Kaisha CUBIC), 02 November 2015 (02.11.2015), paragraph [0017]; fig. 6 (Family: none)	1-12
Y	JP 2003-166804 A (Kabushiki Kaisha Fujimori Gijutsu Kenkyusho, Kabushiki Kaisha SJ Tekku, Saeilo, Inc.), 13 June 2003 (13.06.2003), paragraphs [0026] to [0037] (Family: none)	1-12
Y	JP 2002-257744 A (Takenaka Corp.), 11 September 2002 (11.09.2002), paragraph [0047] (Family: none)	1-12
Y	JP 2015-125685 A (KDDI Corp.), 06 July 2015 (06.07.2015), paragraphs [0023] to [0027] (Family: none)	4,5
A	JP 2001-319229 A (Toyota Central Research and Development Laboratories, Inc.), 16 November 2001 (16.11.2001), paragraphs [0037] to [0041]; fig. 9 (Family: none)	1-12

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC））

Int.Cl. G06T7/00(2017.01)i, G01B11/30(2006.01)i

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料（国際特許分類（IPC））

Int.Cl. G06T7/00, G01B11/30

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1922-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2017年
日本国実用新案登録公報	1996-2017年
日本国登録実用新案公報	1994-2017年

国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）

JSTPlus (JDreamIII)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
Y	藤原 将展、外2名，“グラフカットを利用したステレオ画像からの複数平面領域と平面パラメータの直接推定”，情報処理学会研究報告 研究報告 コンピュータビジョンとイメージメディア（CVIM），2011.04.15, No.176, pp.1-8, 特に、「3.4 階層的アルゴリズム」	1-12

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。

☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）
「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

02.02.2017

国際調査報告の発送日

14.02.2017

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁（ISA/J P）

郵便番号100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官（権限のある職員）

佐田 宏史

5H

4189

電話番号 03-3581-1101 内線 3531

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
Y	串田 聡、外2名, “階層化領域分割と平面フィッティングを用いた視差推定”, 情報処理学会研究報告 研究報告 オーディオビジュアル複合情報処理 (AVM), 2012.02.15, No.75, pp.1-6, 特に、「2. 提案手法」「2.2.2 平面フィッティング」、図1	1-12
Y	JP 2015-190978 A (株式会社CUBIC) 2015.11.02, 段落 [0017]、図6 (ファミリーなし)	1-12
Y	JP 2003-166804 A (株式会社藤森技術研究所、株式会社エスジェイテック、株式会社セイロジャパン) 2003.06.13, 段落 [0026] - [0037] (ファミリーなし)	1-12
Y	JP 2002-257744 A (株式会社竹中工務店) 2002.09.11, 段落 [0047] (ファミリーなし)	1-12
Y	JP 2015-125685 A (KDDI株式会社) 2015.07.06, 段落 [0023] - [0027] (ファミリーなし)	4, 5
A	JP 2001-319229 A (株式会社豊田中央研究所) 2001.11.16, 段落 [0037] - [0041]、図9 (ファミリーなし)	1-12