

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公表特許公報(A)

(11) 特許出願公表番号

特表2017-530352
(P2017-530352A)

(43) 公表日 平成29年10月12日(2017.10.12)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
GO1B 11/25 (2006.01)	GO1B 11/25	H 2F065
GO1N 21/956 (2006.01)	GO1N 21/956	B 2G051
GO6T 7/593 (2017.01)	GO6T 7/593	5L096

審査請求 有 予備審査請求 未請求 (全 17 頁)

(21) 出願番号 特願2017-513733 (P2017-513733)
 (86) (22) 出願日 平成27年9月10日 (2015. 9. 10)
 (85) 翻訳文提出日 平成29年4月28日 (2017. 4. 28)
 (86) 国際出願番号 PCT/US2015/049429
 (87) 国際公開番号 W02016/040634
 (87) 国際公開日 平成28年3月17日 (2016. 3. 17)
 (31) 優先権主張番号 62/048, 933
 (32) 優先日 平成26年9月11日 (2014. 9. 11)
 (33) 優先権主張国 米国 (US)

(71) 出願人 500148488
 サイバーオブティクス コーポレーション
 アメリカ合衆国 55416 ミネソタ
 州、ゴールデン バレイ、ゴールデン
 ヒルス ドライブ 5900
 (74) 代理人 110001508
 特許業務法人 津国
 (72) 発明者 ラッド, エリック・ピー
 アメリカ合衆国、ミネソタ 55343、
 ホプキンス、ノース・ヴァン・ビューレン
 ・トレイル 608
 (72) 発明者 ハウガン, カール・イー
 アメリカ合衆国、ミネソタ 55105、
 セント・ポール、グッドリッチ・アベニュー
 - 2031

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 三次元表面形状計測における多数のカメラ及び光源からの点群統合

(57) 【要約】

三次元表面を計測するためのコンピュータ実装方法 (100) 及びシステム (60) が提供される。本方法 (100) は、構造化照明を表面に投影すること (102)、及び複数の画像セットを取得することを包含する。画像セットは、複数の点群を得るために処理される (106)。空間アキュムレータが規定される (104)。複数の点群の第1点群は、空間アキュムレータ内で複数の点群の第2点群と結合される (108)。表面の空間座標が、空間アキュムレータの内容に基づいて生成される (112)。

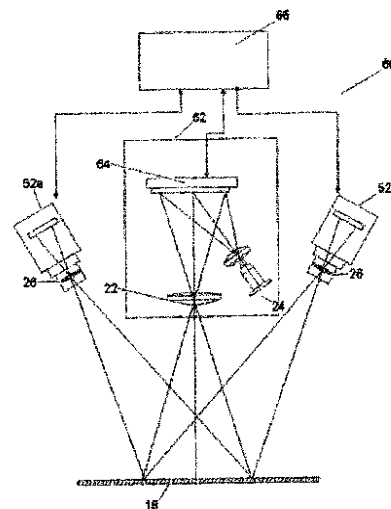


FIG. 2

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

三次元表面を計測するためのコンピュータ実装方法であって、該方法は、
 構造化照明を表面に投影し、且つ複数の画像セットを取得すること；
 複数の点群を得るために画像セットを処理すること；
 空間アキュムレータの各素子内に点群情報を受け取るように構成された空間アキュムレータを規定すること；
 複数の点群の第 1 点群と複数の点群の第 2 点群とを、空間アキュムレータ内へ結合すること；
 空間アキュムレータの内容に基づいて表面の空間座標を生成すること；
 を包含する、
 上記コンピュータ実装方法。

10

【請求項 2】

構造化照明は、異なる入射角から投影される、請求項 1 に記載のコンピュータ実装方法。

【請求項 3】

第 1 画像セット及び第 2 画像セットが異なるカメラにより取得される、請求項 1 に記載のコンピュータ実装方法。

【請求項 4】

複数の画像セットは、第 1 画像セット及び第 2 画像セットを包含し、且つ第 1 及び第 2 の画像セットは、2 つの異なるパターン集合を投影することによって取得される、請求項 1 に記載のコンピュータ実装方法。

20

【請求項 5】

2 つの異なるパターン集合が相互に対して回転される、請求項 4 に記載のコンピュータ実装方法。

【請求項 6】

構造化照明は、正弦波縞パターンである、請求項 1 に記載のコンピュータ実装方法。

【請求項 7】

複数の画像セットを取得することは、第 1 カメラを用いて画像の第 1 トリオ及び第 2 カメラを用いて画像の第 2 トリオを取得し、画像の第 1 トリオは、第 1 点群を生成するために処理され、且つ画像の第 2 トリオは、第 2 点群を生成するために処理される、請求項 1 に記載のコンピュータ実装方法。

30

【請求項 8】

第 1 及び第 2 点群を結合することは、空間アキュムレータ内での点群の代数的総和を包含する、請求項 1 に記載のコンピュータ実装方法。

【請求項 9】

代数的総和は、複素値の代数的総和である、請求項 8 に記載のコンピュータ実装方法。

【請求項 10】

第 1 及び第 2 点群の結合は、非線形な結合を包含する、請求項 1 に記載のコンピュータ実装方法。

40

【請求項 11】

非線形な結合は、空間アキュムレータの各素子について幾何学的中央値を決定することを包含する、請求項 10 に記載のコンピュータ実装方法。

【請求項 12】

非線形な結合は、投票処理を採用する、請求項 10 に記載のコンピュータ実装方法。

【請求項 13】

表面に関する情報を提供するために表面の空間座標を利用することをさらに包含する、請求項 1 に記載のコンピュータ実装方法。

【請求項 14】

表面に関する情報は、検査情報である、請求項 13 に記載のコンピュータ実装方法。

50

【請求項 15】

情報は、計測情報である、請求項 10 に記載のコンピュータ実装方法。

【請求項 16】

第 1 点群及び第 2 点群は、多重反射を低減するように結合される、請求項 1 に記載のコンピュータ実装方法。

【請求項 17】

三次元表面を計測するためのシステムであって、該システムは、

三次元表面に構造化照明を投影するように構成された構造化照明プロジェクタ；

構造化照明プロジェクタに結合され、複数の異なる構造化照明投影を表面へ生成するように構造化照明プロジェクタを制御するための制御器；

それぞれは制御器へ結合された複数のカメラ、ここで各カメラは、それぞれ異なる構造化照明投影が表面に存在する間に、表面の画像を取得するように構成される；
を備え、

制御器は、各カメラから画像情報を受け取り、且つ各カメラからの三次元画像データ及び品質測定に対応する複数の点群を生成するように構成され；且つ

制御器は、複数の点群を空間アキュムレータ内へ統合し、且つ空間アキュムレータの内容を用いて単一の統合された三次元点群を生成するよう構成される、
上記システム。

【請求項 18】

構造化照明プロジェクタは、空間光変調器を具備する、請求項 17 に記載のシステム。

【請求項 19】

空間光変調器は、各構造化照明投影を規定する制御器から信号を受信するように制御器へ結合される、請求項 18 に記載のシステム。

【請求項 20】

各構造化照明投影は、別の構造化照明投影とは異なる位相を有する正弦波縞パターンを具備する、請求項 19 に記載のシステム。

【請求項 21】

制御器は、各点を複素値として表示し且つ複素値の代数的総和を実行することによって複数の点群を結合するように構成されている、請求項 17 に記載のシステム。

【請求項 22】

制御器は、複数の点群を非線形演算で結合するように構成される、請求項 17 に記載のシステム。

【請求項 23】

非線形演算は、各点群における対応する点についての幾何学的中央値を決定することを包含する、請求項 17 に記載のシステム。

【請求項 24】

非線形演算は投票処理を包含する、請求項 17 に記載のシステム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明の態様は、三角測量の原理を用いる、複数のカメラ及び構造化光源からの画像データに基づく対象の複合表面プロファイルの生成に関する。

【背景技術】

【0002】

電子集積回路及び個別電子部品を載せる回路基板は公知である。回路基板は、所定の導体パス及び電子部品、例えば集積回路チップ、抵抗、及びコンデンサ、のリード線を受けるパッドを用意する。回路基板構築工程中、はんだペースト塗布部が、適当な位置で基板上に置かれる。はんだペースト塗布部は、通常、基板上にステンシルスクリーンを置き、ステンシル開口部を通してはんだペーストを施与し、且つ基板からステンシルを外すことによって施与される。その後、回路基板電子部品が、好ましくは部品装着装置で、基板上

10

20

30

40

50

に位置合わせされ、電子部品のリード線で個々のはんだペースト塗布部に置かれる。回路基板は、全部品が基板上に置かれた後に、はんだペースト塗布部を溶かすためにオープンを通過され、部品と基板との間の電氣的及び機械的接続を作る。

【0003】

はんだペースト塗布部と電子部品とのサイズ、及びそれらが基板上に置かれねばならない精度は、電子産業におけるミニチュアライゼーションの重要視とともに益々小さくかつ緊密になっている。はんだペースト塗布部の高さは、50ミクロンでありえ、そしてはんだペーストブリックの高さは、設計された高さ及びサイズの1%以内まで頻りに測定されるに違いない。はんだブリックの間の中心と中心の間隔は、時々200ミクロン程度に小さくなることがある。はんだペーストが余りに少ないと、電子部品のリード線と回路基板の패드との間の電気接続を生じないことがあり、はんだペーストが余りに多いと、部品のリード線の間架橋且つ短絡をもたらすことがある。個別電子部品、例えば抵抗及び容量は200×400ミクロン程度に小さく、そしてマイクロボールグリッドアレイ部品のリード線は、300ミクロン未満の中心間隔を有しうる。

10

【0004】

単一回路基板は、製造するのに数千ドル及び数万ドルすらかかることがある。組立工程が完了した後の回路基板のテストは、はんだペースト配置、部品配置、及びリード線接続における誤りを検出しようが、欠陥基板の唯一の救済策は、多くの場合、基板全体を廃棄することであることが多かった。さらに、構成部品の微細化で、回路基板の目視検査は、光学的な拡大を用いても信頼性が低い。従って回路基板は、電子部品の基板への配置の前に不適切なはんだペースト塗布が検出されうるように、組立工程の間に検査されることが緊急の課題である。そのような工程内はんだ検査は、高価な部品が未だ回路基板上に置かれていないので、失敗のコストを低減する。

20

【0005】

配置後、部品の適切な配置を確実にするために、部品を検査することも重要である。不適切に置かれた部品、失われた部品、又は不良のはんだ接合は、部品の配置又ははんだペーストのリフロー中に導入される典型的な欠陥である。リフローの後、部品の適切な配置及びリフローされたはんだ接合の品質は、全部品が適切にはんだ付けされ且つ回路基板に接続されたことを確実にするために自動光学検査システムを用いて検査されうる。現行の光学検査システムは、欠陥を検出するために回路基板の二次元映像イメージを用いる。しかし、回路基板の三次元高さ画像を検出する光学検査システムは、例えば、持上げられたリード線、パッケージ共平面性、及び部品が墓石や掲示板のように立つような配置欠陥の検出を可能に又はそうでなければ改善しなければならない。

30

【0006】

三次元検査システムの1つのタイプは、位相表面形状計測法を用いる。通常、位相表面形状計測法システムは、単一のカメラ及びプロジェクタを用いる。多数のカメラが用いられるときには、ユーザは、取得結果の点群をツール、例えばPoint Cloud Library (PCL) のような、これはオープンソースコンピュータ映像ライブラリである、を用いて統合する必要がある。PCLは非常に強力であるが、高速自動検査システム、例えば上で挙げたものに用いるには余りにも遅過ぎる。

40

【発明の概要】

【0007】

三次元表面を計測するためのコンピュータ実装方法及びシステムが提供される。本方法は、構造化照明を表面に投影すること、及び複数の画像セットを取得することを包含する。画像セットは、複数の点群を得るために処理される。空間アキュムレータが規定される。複数の点群の第1点群は、空間アキュムレータ内で複数の点群の第2点群と結合される。表面の空間座標が、空間アキュムレータの内容に基づいて生成される。

【図面の簡単な説明】

【0008】

【図1】ここで記載される実施態様が特に適する多重反射問題を例示する図である。

50

【図 2】本発明の実施態様による位相差構造化光を用いる、回路基板の三次元画像化のための多数画像化デバイス高さ画像センサの部分図である。

【図 3】本発明の実施態様による位相差構造化光を用いる、回路基板の三次元画像化のための多数画像化デバイス高さ画像センサの斜視部分図である。

【図 4】本発明の実施態様による点群統合の方法のフロー図である。

【図 5】本発明の実施態様による多数の点群を取得し且つそれらを共に統合する方法のフロー図である。

【図 6】2つのカメラ A 及び B のために同じ X - Y 位置からの複素値がプロットされる例を示す図である。

【図 7】本発明の実施態様による、規則的な空間アキュムレータ格子に投射されるとき 10
の斜め視線からのカメラにおける複素値を用いる利点を例示する図である。

【図 8】同じ対象物と右側からカメラによって見られた投影パターンとを示す図である。

【図 9】本発明の実施態様による、空間アキュムレータにおける単一直線に沿う多数のカメラ視点からの複素値の統合を示す図である。

【図 10 A】数台のカメラの結果の非線形混合、この場合には幾何学的中央値、の利点を示す図である。

【図 10 B】数台のカメラの結果の非線形混合、この場合には幾何学的中央値、の利点を示す図である。

【図 11】本発明の実施態様により計測されるべき表面と、3台のカメラの画素との交点を示す図である。 20

【図 12】本発明の実施態様における、投影された画素についての信号がいかにして格子上に分配されるかを示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0009】

白色光位相差表面形状計測法の使用は、回路基板の位置的な表面高さ画像を光学的に取得するための公知の技術である。3D（三次元）プロファイルを生成するために正弦波縞パターンを投影するシステムが、米国特許第6,750,899号明細書に記載されている。三次元プロファイル又は高さ地図は、光源からの様々な構造化光パターンを対象へ投影することによって生成され得、1以上のカメラによってパターンを記録し且つ画像を適切に処理する。パターンは、様々なカメラによって見られるときに対象の形状によって変調される 30
。パターンの変調は、三次元点群を生成するために解析される。ここで用いられるとき、「点群（point cloud）」とは、或る座標系におけるデータ点と、品質測定を示す少なくとも1つの追加のデータ点との集合である。三次元座標系においては、点は、通常、X、Y、Z座標により規定される。3Dプロファイルを生成するための正弦波縞パターンを投影するシステムが、米国特許第6,750,899号明細書に記載されている。

【0010】

被検査対象の急傾斜及び窪み形状は、影および吸蔵(occlusions)をもたらし、したがって、1つの再構成における欠落が別の再構成から補われようようにするために、複数の点群を結合することが望ましい。三次元縞投影装置の1例が、図2に関して以下で記載される。 40

【0011】

カメラによって画像化される前に、構造化光パターンは、対象からの多重反射を受けうる。これらの反射は、画像に基づいて生成される点群に重大な誤り又は雑音をもたらさう。多重反射は、光沢又は鏡面反射性の対象によってより悪くされる。

【0012】

図1は、多重反射問題を示す。入射の構造化照明が線10で示されており、それは、Z座標の値 Z_1 を有する点Aで表面18から反射される。反射された構造化照明の部分12が、光学部品26を通過し、そして検出器15によって検出される。しかし、反射された入射の照明の別の部分14は、対象物17の表面16で線19のように反射される。この多重反射の照明はまた、光学部品26を通過しそして検出器15により検出される。もし 50

、線 19 に沿う多重反射照明の強度が、線 12 に沿う直接反射照明よりも強いと、点 A の報告される Z 座標は、 Z_2 であり、ここで線 19 は入射照明の線 10 を交差する。こうして、多重反射照明が、本方法における誤りの源である。

【0013】

点群雑音低減法が存在するが、通常位相表面形状計測法の再構成方法は、弱いデータにおいて雑音を大きく増大させるので、問題が生じる前に方法の初期段階で、弱いデータの重み付けを軽減することが特に望ましい。さらに、悪い点を除去するための従来技術が、吸蔵及び多重反射の故に攪乱されるところのデータの大きな割合によって効果的でなくなる傾向がある。必要とされるものは、点群エラー、特に光る対象物及び部分的吸蔵領域に対する、を劇的に減らすために点群を統合するための改良された方法である。

10

【0014】

図 2 は、本発明の実施態様による位相差構造化光(phased structured light)を用いた、回路基板 18 の三次元画像化のための多数画像化デバイス高さ画像センサ 60 の線図である。パターン投影源 62 は、制御器 66 と結合され、且つ、結像レンズ 22 を有する空間光変調器(SLM) 64 で結像することによって、構造化光パターン 30 (図 3 に表示)を回路基板 18 上へ投影する。1 実施態様において、SLM 64 は、Texas Instruments (テキサスインスツルメンツ)社から入手可能なデジタル・マイクロミラー・デバイス(DMD) (例えば TI 社の製品番号は DLP5500)である。この装置は、表面上に任意の画像を形成するように個々に向きを向けうるデジタル・マイクロミラーのアレイを組み込んでいる。動作において、要求された構造化光パターンは、DMD アレイ上でプログラム化される。プログラム化された画像は、マイクロミラーのそれぞれを、個々のミラーの位置での画像の画素強度値に対応するところの 2 つの位置の 1 つへ傾斜させる。高輝度の画素にていては、傾けられた DMD は、光源 24 からの光を反射し、結像レンズ 22 を通して回路基板 18 へ明るい画素を生成する。構造化光パターン 30 における低輝度に対応する画素については、DMD ミラーの傾斜は、光源 24 からの光を反射し、結像レンズ 22 から離れたところに構造化光パターン 30 内の暗い画素を生成する。DMD へ送られるプログラム化された画像を変えることによって、位相シフトされた画像の要求された列を生成することができる。SLM 64 は、明るい光源 24、例えば白色光 LED を用いて照射される。2 台のカメラ 52a、52b は、制御器 66 へ結合され、且つ構造化光パターン 30 で照射された回路基板 18 の画像を同時に取得するように構成されている。カメラ 52a、52b は、マシン・ビジョンにおいて用いられるいくつかの画像センシング技術の何れかの 1 つ、例えば検出器上に回路基板 18 の画像を作るところの、結像レンズ 26 と結合された CCD 又は CMOS 検出器でありうる。パターン投影源 62 及びカメラ 52a、52b の各光軸入射角の間の相違は、高さセンサの三角測量角を示す。

20

30

【0015】

動作において、光源 24 が SLM 64 を照射し、そして高輝度値を有するようにプログラムされた画素は、結像レンズを通して光を反射する。結像レンズ 22 は、SLM からの光を回路基板 18 上に投影する。同時に、両方のカメラ 52a、52b が、照射期間の間、回路基板 18 の最初の画像を取得する。その後、SLM 64 内にプログラム化された投影パターンが、第 1 の正弦波パターンの分数の位相間隔の等価間隔の相対的位相シフトを有する第 2 の正弦波パターンへ変えられ、そしてカメラ 52a、52b は第 2 画像を取得する。最後に、SLM 64 内にプログラム化された投影パターンは、その後、第 1 及び第 2 正弦波パターンの分数の位相間隔の等価間隔の相対的位相シフトを有する第 3 の正弦波パターンへ変えられ、そしてカメラ 52a、52b は第 3 画像を取得する。

40

【0016】

構造化光画像の列を生成するために SLM 64 を使用することは、機械的にシフトさせられるガラス上のクロームレチクル(十字線)の使用よりも利点がある。ガラス上のクロームレチクルによって、構造化光パターン 30 は、ガラス上のクロームパターンで固定され、且つ異なる位相を有する画像の列は、レチクルの物理的な移動によって生成される。レチクルを物理的に移動させることは、コストが高く且つ機械的に擦り減り且つ究極的に

50

壊れがちな運動構成要素を必要とする。加えて、正弦波パターンの周期を変化させることがしばしば要求される。正弦波パターンの周期を変化させることによって、高さイメージセンサの高さ領域及び高さ分解能は、調整されうる。センサの高さ領域を変えることは、配置された部品の高さが、レチクルパターンによって決定されるところのセンサの高さ領域よりも高くありうるので、部品が配置された後に回路基板を検査するときに特に重要である。ガラス上のクロームレチクルパターンは、1つのレチクルを別のものに物理的に取り替えることを必要とし、これはセンサの動作中に通常は達成し得ない。

【0017】

SLM64によって、様々なパターンが、数のアレイを制御器66内に簡単にプログラミングすることによって回路基板18上に投影されうる。変化する位相をもつ画像列を投影することは、連続する画像を制御器66へプログラミングすることによって簡単に達成される。制御器66メモリから連続する画像を指定することによって、位相画像の列が、レチクルを物理的に動かすことなく投影される。さらに、制御器66へプログラムされたパターンの位相周期を変えることによって、高さ画像化センサ62の高さ分解能及び高さ領域が、センサの動作中に換えられうる。

【0018】

図3は、本発明の別の実施態様による位相差構造化光を用いて回路基板の三次元画像化のための多数画像化デバイス高さ画像センサ70の線図である。この実施態様において、4台のカメラ52a、52b、52c、52dは、回路基板18上の正弦波構造化光パターン30の画像を、4つの異なる入射角から同時に取得するよう構成されている。4台のカメラ52a、52b、52c、52dの入射角のそれぞれは、パターン投影源62の投影入射角に対する三角測量の角を形成する。パターン投影源62は、正弦波の構造化光パターン30を回路基板18上に投影する。カメラ52a、52b、52c、52dは、正弦波パターン30の画像を取得するために好ましくは同時に起動される。パターン投影源62は、第1正弦波パターンの分数の位相間隔の等価間隔の相対的位相シフトを有する第2正弦波パターンを投影し、そして4つの光イメージセンサ52a、52b、52c、52dは、画像の第2セットを取得するために同時に起動される。最後に、パターン投影ソース62内のプログラム化された投影パターンは次に、第1及び第2正弦波パターンの分数位相間隔の等価間隔の相対的位相シフトを有する第3正弦波パターンに換えられ、そしてカメラ52a、52b、52c、52dは、それぞれ第三画像を取得する。図3においては、4台のカメラが単一のプロジェクタを伴って示されるが、本発明の実施態様はまた、単一のカメラと連動して動作する多数のプロジェクタを備える。さらに、本発明の実施態様はまた、多数のプロジェクタと動作する多数のカメラを備える。画像は、画像セットを1つの高さ画像へ処理する制御器66へ送られる。

【0019】

図4は、本発明の実施態様による点群統合方法のフロー図である。方法100は、ブロック102で始まり、そこでは、数個の異なる構造化光パターンが、1以上の方向から対象に投影される。これらの投影されたパターンの各々は、1以上のカメラで画像化される。次に、ブロック104では、与えられたプロジェクタについて、三次元表面が規定され、そしてこの表面上の空間アレイが、空間アキュムレータとして用いられる。ブロック106で、ブロック104のプロジェクタと関連付けられた各カメラについて、三次元対象座標とカメラ画素に対応する1以上の品質測定とから成る点群を決定するために、構造化パターン画像が、システムの較正された幾何的配置を用いて解析される。ブロック108で、ブロック106からの各点群座標は、空間アキュムレータへ数学的に投影され、その空間アキュムレータは領域値(空間アレイに対する)及び領域値に結合された品質測定を蓄積する。ブロック110では、複素値が、空間アキュムレータ内の各素子についての領域値と品質測定とに対応して作られる。次に、ブロック112では、複素値は、空間アキュムレータ内の各素子についての単一の領域値及び単一の品質測定を作るために空間アキュムレータ内の各素子について統合される。結果が点群情報の吸蔵及び/又は多重反射の影響を低減又は除去するところの単一の点群である限り、様々な方法が統合のために用い

10

20

30

40

50

られうる。ブロック 114 では、方法は、全プロジェクタについて繰り返しがなされるまで、別のプロジェクタについて繰り返される。

【0020】

図5は、本発明の実施態様による、多数の点群を取得し且つそれらを一緒に統合する方法のフロー図である。方法150は、ブロック152で始まり、そこでは少なくとも3つの異なるパターンが、計測されるべき表面に順次投影され、そしてその画像が複数のカメラによって取得される。好ましくはパターンは、3つの異なる位相で表示された正弦波縞パターンである。次に、ブロック154では、画素の灰色レベルの組み合わせが、複素値（直角座標、例えば $z = u + iv$ で表示された、又は大きさと位相の極座標で表示された）を作るように形成される。好ましくは複素値の大きさは、値の質を表示し、そして位相は、観測されたパターンについての空間情報（例えば、投影された正弦波の位相）を示す。ブロック156においては、画素の位相が、画素に対応する投影されたパターン内の一定位相の表面を識別するために処理される。ブロック158では、システムの較正された幾何学的配置が、カメラから対象領域への画素に対応する光線を識別するために用いられる。次に、ブロック160では、光線（ブロック158）と識別された表面（ブロック156）との間の交差が、画素に対応する観測された点の唯一の三次元座標を決定するために計算される。ブロック162では、位相が公称のラップ高さに対応するように、且つ画素の位相に対応する訂正された複素値を作るように、訂正される。ブロック162は、共通の高さのスケールへ正規化されなければならない多数のカメラを採用する実施態様において、要求されるだけである。ブロック164では、画素に対応する複素値が、空間アレイ内に蓄積される。ブロック166では、ブロック154～164が、全てのカメラの画像内の各画素について繰り返される。パターンの追加の集合が、投影され得、且つ追加の点群が、各カメラとプロジェクタの対に関する特定のパターンの集合のために生成されることが注意されるべきである。例えば、縞パターン集合の方向が変化させられ得、そして追加の点群は、各カメラとプロジェクタの対について生成されうる。ここで規定されたように、パターン集合は、特定のパターンを用いて取得された多数の画像であり、その集合は単一の点群を生成するために十分な画像情報を含んでいる。ブロック166が一度完了すると、方法150は、ブロック168で、そこでは空間アレイにおける各アキュムレータの値が統合される、ことを続ける。この統合は、何らかの適切な技術により遂行される。いくつかの代表的な技術は、これに限定することなく、代数的総和又は幾何学的中央値を含む。最後に、ブロック170で、空間アレイにおける各アキュムレータの値の逆正接が、表面に対する領域マップを導き出すために取られる。

【0021】

各画素が与えられたカメラとプロジェクタの対について処理された後、複数の値（ x, y, z, r, m ）の点群の1つが処理される。ここで、 r は正規化された反射率、そして m は、米国特許第6,750,899号明細書の式(1)によって定義された縞変調（コントラスト）である。それぞれの点は、反射率の値及び変調値と併せて3D座標（ x, y, z ）を有する。この点群は、対象の真の形状を識別するために多くのスキーム又は技術によって直接的に用いられることができる（参照 Jagan Sankaranarayanan, Hanan Samet, and Amitabh Varshney. "A fast all nearest neighbor algorithm for applications involving large point-clouds. (大きな点群を含む応用のための高速全最近傍アルゴリズム)" Computers & Graphics 31, (2) (2007), 157-174, Ruwen Schnabel, Roland Wahl, and Reinhard Klein. "Efficient RANSAC for Point Cloud Shape Detection. (点群形状検出のための効率的RANSAC)" Computer Graphics Forum. 26, 2 (2007)）。参照された論文は、点群のエラー又は欠落データを減らし又は除去することを試みている。これらの問題は、吸蔵又は多重反射によってもたらされることが多い。

【0022】

従来技術の限界は、現代のプリント回路基板構築ラインの著しい速度要請に合わせるよう要請される膨大な計算上の負荷である。従って、非常に速度の速いアプローチが、プリント回路板製造産業へ貢献するために要求された。ここで記載された実施態様は、空間ア

10

20

30

40

50

キュムレータとして公知の点の格子に点群を投影する。1実施態様において、空間アキュムレータは点の空間的拡がりに概略で平行な2次元平面である。これらの実施態様において、空間アキュムレータは、複素値を蓄積するように構成される。複素値の大きさは、何らかの品質測定を示し、そしてその位相は何らかの基準面（通常は平面）からの距離を示す。

【0023】

投影処理は、部分的には斜めの幾何的配置によって、且つ部分的には平坦でない形状によって引き起こされる不規則性によって、画素の不規則な格子を作る。2D空間アキュムレータの格子に正確には置かれないx-y座標の画素は、適切なアンチエイリアシング・カーネル、例えば双線形補間に関係したピラミッド・カーネルによって補間される。投影処理の1例として、図11は、3台のカメラ画素と計測されるべき表面との交点を示す。カメラ光線と計測される投影パターンとの交点は、交点の較正されたX、Y、Z位置の決定を可能にする。これらの各点は、その後、アキュムレータ格子に投影される。図示された場合について、格子は、点の空間的拡がりに概略で平行な平面である。しかし、ここで記載された実施態様は、平坦な面を概略で計測することに限定されない。効率的なアキュムレータ格子のための主要な要求は、格子内の各アキュムレータについて、いくつかの空間的位置の評価を結合することである。もし格子が過度に斜交していると、例えば、広く分離された空間点からの画素は、単一アキュムレータ内で偶然に結合されうる。実際、アキュムレータ格子は、傾けられ又は計測工程にとって都合のよい何らかの形状へ歪められうる。通常、アキュムレータ格子へ投影されたものとしてのカメラ画素は、格子点に正確には置かれていない。もし画素値が、最も近いアキュムレータ格子点へ簡単に追加されるならば、空間位置の丸め（四捨五入）に際しての誤差が、ラスタ機器への映像の描画において遭遇するところの周知のアンチエイリアシング問題に類似の再構成における雑音をもたらす。この問題を回避するために、各画素は、蓄積される前に、再構成（アンチエイリアシング）カーネルと共に畳み込み積分されなければならない。図12は、投影された画素についての信号が、いかにして格子に分配されるのかを示しており、この例においては、双線形補間カーネルが適用される。投影された点の近傍の画素の各々は、その画素におけるカーネルの領域により乗算された、投影点の複素値によって増分される。工程は、各投影されたカメラ画素について繰り返され、それにより、簡単で速い重み付け及びアキュムレータ格子への複素加算を提供する。アキュムレータ格子へのこの簡単な加算の数多くの利点は、以下に記載されるように与えられる。方法自体は、点群を順序付けられた方向（例えば低から高へ）に点検する必要がないので、且つアキュムレータ内での既存の値を新たな値で書き換える必要がないので、三次元対象の画像を生成するのに用いられる「スプラッティング（splatting）」法とは異なる。各カメラ及び投影されるパターンの集合について、表面形状についての或る推定値が与えられ、そして空間アキュムレータは表面推定値を追加される。

【0024】

推定量は、平面以外の何らかの適切な表面上に投影されてもよい。例えば、もし対象物が球体であると予想されるなら、推定量は、推定量に最も適合するように調整された球体のパラメータで球体上に投影されうる。

【0025】

高さ画像を生成する容易な仕方は、各カメラからの高さ推定値を任意のX、Y位置で平均化することである。この手法の主な利点は、簡単さであるが、多重反射の影響を抑制し又は除去するにはほとんど役立たない。

【0026】

1実施態様において、空間アキュムレータの各素子における複素値（ $u + iv$ ）が、総計されうる。ここで、 u 及び v は、複素画素値の実の構成部分及び虚の構成部分である。（代替的には、複素画素は、長さ $\sqrt{u^2 + v^2}$ 及び $\text{atan2}(u, v)$ の位相角のベクトルとして表示されうる）。正弦波縞パターンを用いる実施態様において、与えられた画素に対する領域値は位相値の関数として符号化される。1実施態様において、品質測定は、より高い

10

20

30

40

50

反射と縞コントラストを有する画素に対してより大きな重みを指定するところの $Q = r \times m$ として定義される。この実施態様において、複素点値の位相は、点の高さ（又は空間アキュムレータについての公称ゼロ位置からの距離）を符号化する。

【0027】

複素平面における総和は、低い品質推定値を有する画素の重み付けを自動的に減らす。図6は、2台のカメラA及びBについての同一のX-Y位置からの複素値がプロットされている1例である。カメラAからの強い信号「A」は、位相角 θ_A 及びベクトル長 Q_A として符号化された高さを有し、そして弱い信号「B」は、位相角 θ_B 及びベクトル長 Q_B として符号化される。もしもカメラA及びBからの信号が、高さに簡単に変換され平均化されると、結果は、高さ H_A と H_B の間の中間レベルである。複素平面でのベクトルの加算は、強い信号（ベクトル「A」）によって支配され、弱い信号（ベクトル「B」）からのほんの小さな寄与しかなく、位相角 θ_C として符号化された結果の高さを有する結果を生成する。

10

【0028】

図7は、通常的空間アキュムレータ格子に投影されるとき、傾いた視点のカメラにおいて複素値を用いる利点を示す。上部の図面は、傾いたカメラの画素が、どのようにして不規則な表面形状に写像するのかを示す。各画素は、点の間隔が対象の局所的形状に依存するところの対象上の点を見る。正弦波縞パターンが投影される1実施態様において、各画素は、表面に投影された位相（プロジェクタは示されていない）及び品質測定を測定しうる。図7の第2の部分は、測定された複素値を示し、各画素位置でベクトルのプロットは描かれ、水平軸及び垂直軸はそれぞれ、その画素での信号の実部（ u ）成分、及び虚部（ iv ）成分である。各画素についてのベクトルプロットは、それらの適切な横位置で描かれている。動作は、測定された画像複素値及びクリアに（ゼロに設定）された出力複素画像で始まる。簡単のため、この操作は、より正しい位置補完技術（例えば、上に記載された双線形フィルタ）の代わりに最近傍サンプリング技術を用いて記載される。最近傍サンプリングにおいては、カメラ画素は、最近傍空間格子位置へ投影される。各カメラ画素をそれらがアキュムレータへ加えられるときに順番に見ると；（1）最も左の画素は、アキュムレータ内の適切な位置へ単に加えられる；（2）次の2つの画素は、両方とも最近傍の同一アキュムレータ位置であり、それらは順番にアキュムレータへ加えられる（我々は、複素値データで作業しているので、この総和は位相値の重み付け平均のように働く）；（3）この例で次の3つの画素は全て、唯一つのアキュムレータ位置に届けられる。ここで、2つのアキュムレータ格子点は、それらに写像する如何なるデータも持っていない；これら格子位置はゼロ値（信号強度がないとして印が付けられた）に留まることに留意されたい。

20

30

【0029】

第2のカメラはまた、同じ対象を写し、且つ同じ仕方で処理される。図8は、同じ対象及び右側からカメラによって写される投影されたパターンを示す。再び、各カメラ画素の複素信号に沿って表面へ写像するカメラ画素が示されている。その後、カメラ画素の位置は空間アキュムレータ格子へ投影される。左カメラにより失われた画素位置は、右カメラにより写され、逆の場合もまた同様でありえ、吸蔵の領域を満たすことに注意されたい。

40

【0030】

図9は、空間アキュムレータ内の単一直線に沿う多数のカメラ視界からの複素値の統合を示す。空間アキュムレータの別の複素値は、明確のため省略されている。図9のプロットの上段は、左カメラによって観測された複素値であり、プロットの第2段目は、右カメラからの値である。もしも2台のカメラだけが利用可能であるならば、画像を結合する最も簡単な方法は、プロットの第3段目に示されたように複素値を単に加えることである。喪失されていた値は満たされ、そして全カメラが一致しているデータ点は強力な信号を生成することに留意されたい。

【0031】

非線形手法（複素値の単なる加法ではない）を用いることによって数台のカメラの空間

50

アキュムレータを結合することは、実際に有利であることが判った。そのようなスキームは、幾何学的中央値及び投票処理(voting)を用いることを含む。幾何学的中央値のアプローチにおいて、個々の複素値は、いわゆる幾何学的中央値又は L_1 推定量、即ち、それは各点までのユークリッド距離の総和を最小化する複素平面内の位置である、によって結合される。このスキームの有利点は、異常値に対する優れた抵抗力である。投票処理アプローチは、最良推定量を用い、それ以外は捨てられる。多くのロバスト推定量が統計学の文献に記載されているが、典型的な技術は、異常値を捨てること(例えば、切り捨て平均)又は異常値の重み付けを軽減すること(例えば、ウィンザー化平均)である。効果的に、これらのツールは不相当と思われるそれらの点を除外する。

【0032】

図10A及び10Bは、数台のカメラから得られた結果の非線形混合、この場合は幾何学的中央値についての有利点を示す。単一アキュムレータ位置に関する実際の結果が示される。カメラA及びBは、高いチップコンデンサの近くの点の比較的良好なサンプルを得る。カメラCの結果は、コンデンサの側面から反射する光の多重反射によって攪乱される。プロットにおいて、ベクトルの長さ(複素値の大きさ)は、各カメラの信号強度を表し、ベクトルの向き(複素値の角度)は、各カメラについての高さ評価を表す。複素値のプロットは、カメラA191及びカメラB192についての類似の結果を示す一方、カメラC193は、非常に強いが間違った値を有している。3つの値の平均194又は総計を単純に取ることによって、カメラA及びBの値から離れた値を得る。一つの異常値が算術平均の結果に損傷を与えうる。幾何学的中央値195(中央の傾向の非線形推定)は、どのような強さの一つの異常値によっても攪乱されない。

【0033】

幾何学的中央値の別の利用は、空間フィルタとしてのものである。これまでの段落では、単一地点での数個の推定値の幾何学的中央値を取ることの記載がある。関心のある対象の周りの画素の領域の幾何学的中央値がまた、取られることも可能である。例えば、もしも 3×3 空間フィルタが、4台のカメラを有するシステムで用いられるならば、それぞれの場所での4つの推定値及び9画素空間領域が存在する。すると、36個の推定値の幾何学的中央値が取られるであろう。結果は、線形フィルタよりも雑音に対してロバスト(頑健)であり、かつラッピングのような問題によって影響されない。

【0034】

一度、点群が統合されると、統合された値は、表面についての三次元情報を与えられるよう利用される。そのような情報は、他のものと一緒に計測及び/又は検査のために利用される。

10

20

30

【 図 1 】

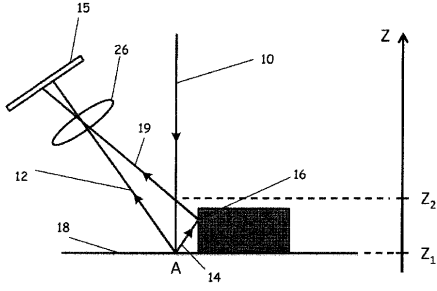


FIG. 1

【 図 2 】

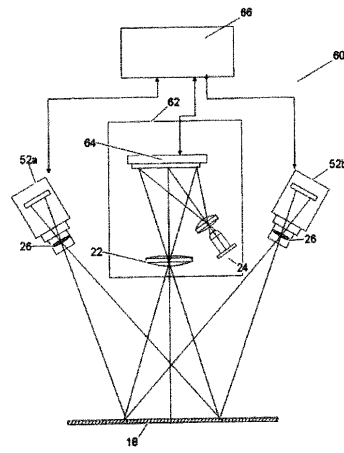


FIG. 2

【 図 3 】

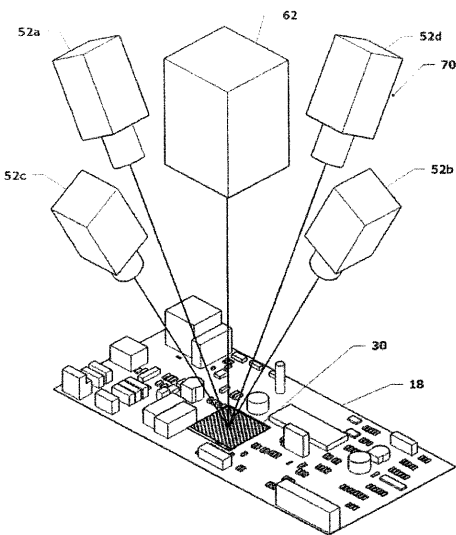
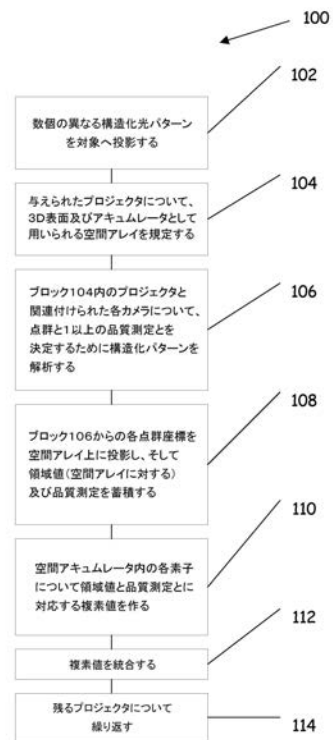
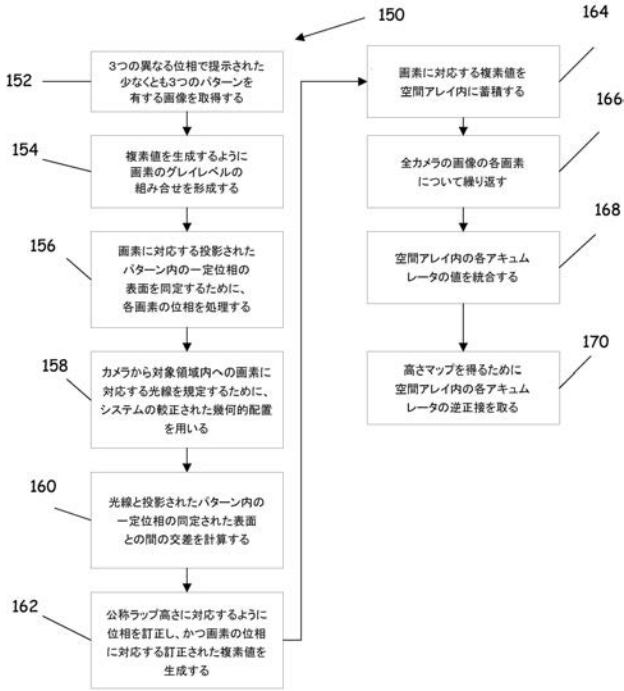


FIG. 3

【 図 4 】

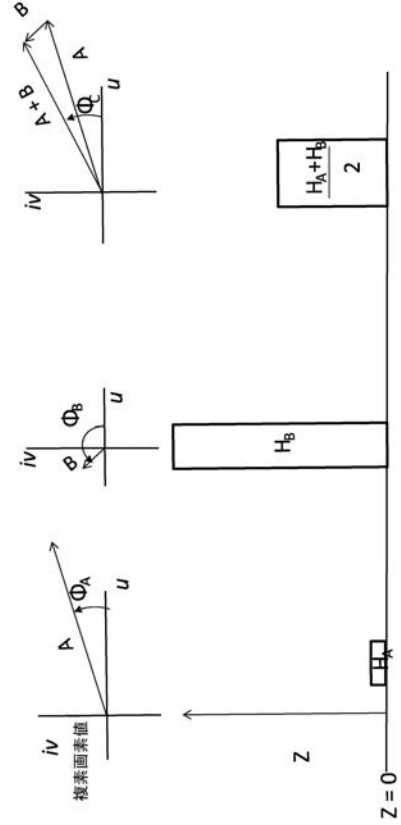


【 図 5 】

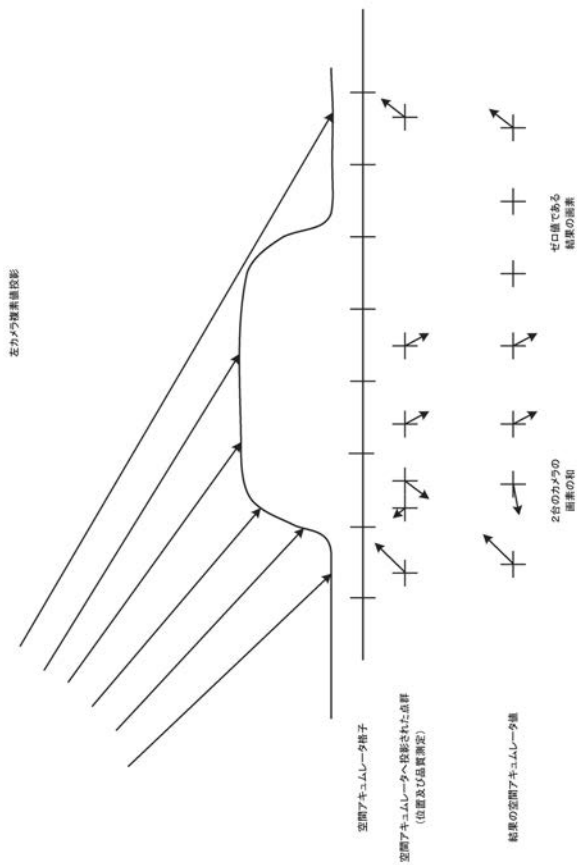


【 図 6 】

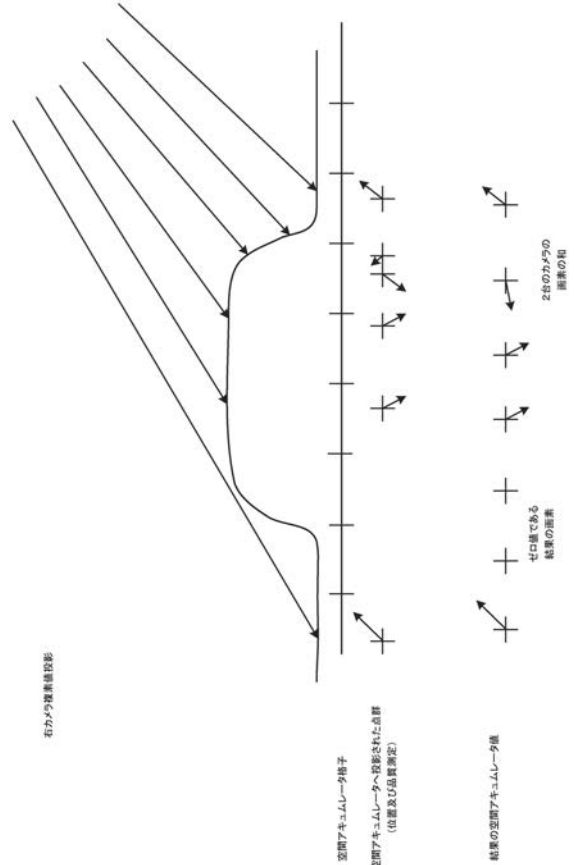
複素値の加算に対する高さの平均化



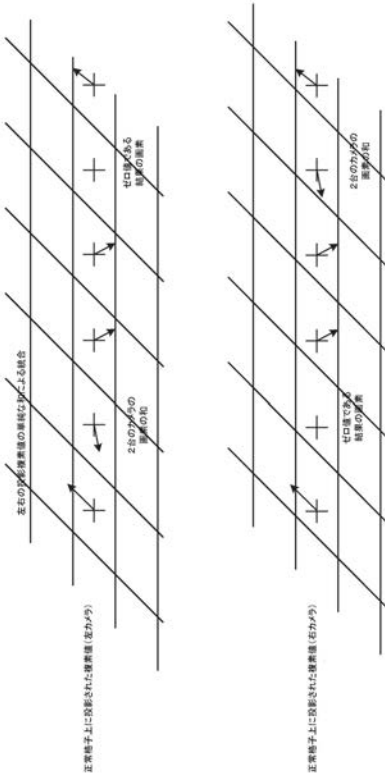
【 図 7 】



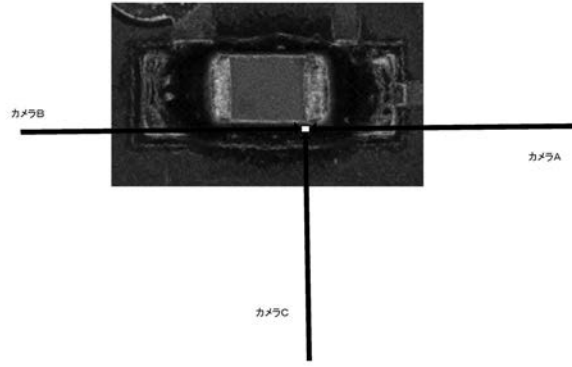
【 図 8 】



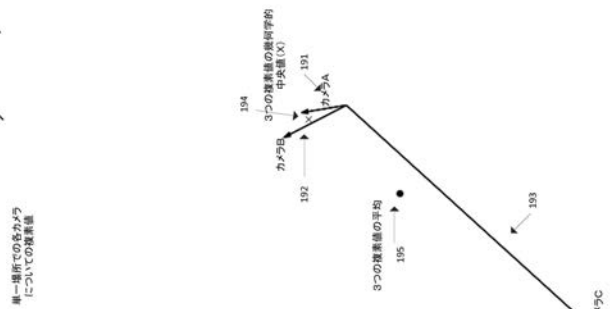
【図9】



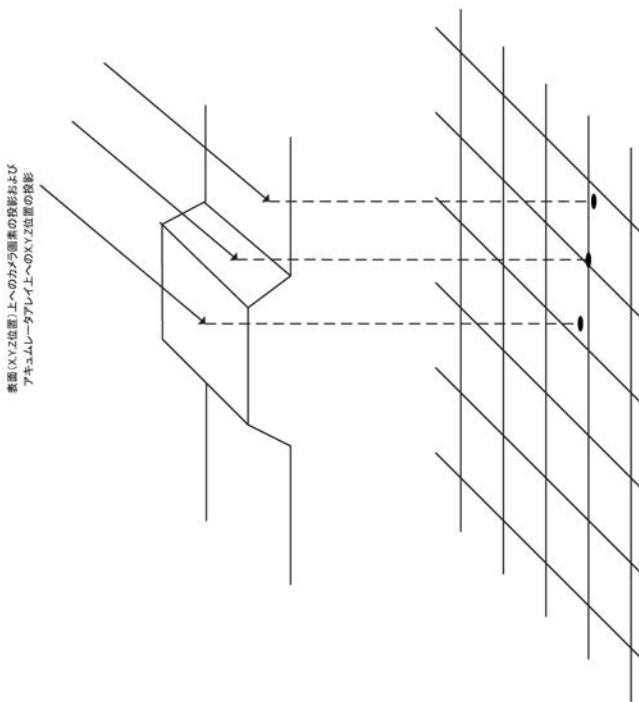
【図10A】



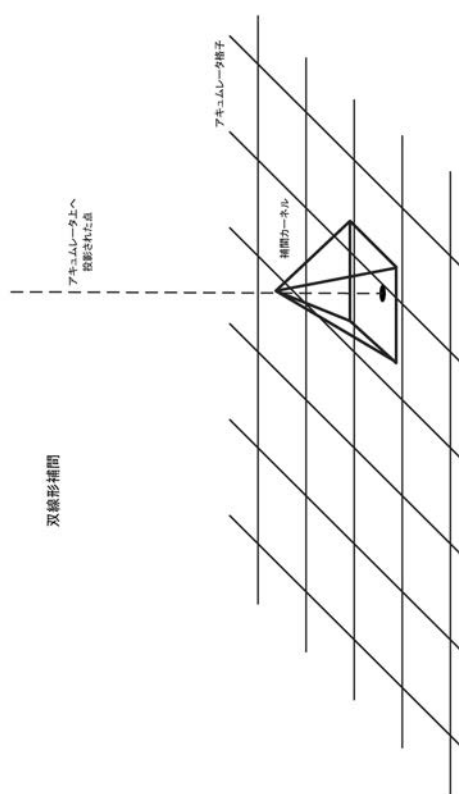
【図10B】



【図11】



【図12】



【 国際調査報告 】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT		International application No. PCT/US2015/049429
A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER G01N 21/88(2006.01)i, G01B 11/24(2006.01)i, G01B 11/30(2006.01)i, G06T 7/00(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) G01N 21/88; G06K 9/36; G01B 11/02; G01B 11/24; G06T 17/00; G06K 9/00; G01N 21/00; G01B 11/00; G01F 1/00; G01B 11/30; G06T 7/00		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched Korean utility models and applications for utility models Japanese utility models and applications for utility models		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used) eCOMPASS(KIPO internal) & keywords: three-dimensional surface, profile, point cloud, combine, and merge		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 2004-0240754 A1 (SMITH et al.) 02 December 2004 See abstract, paragraphs [0065]-[0145], claims 1-35 and figures 1, 7-9, 33, 34.	1-7, 13-17
Y		8-12, 18-24
Y	US 2008-0170219 A1 (SARUNIC et al.) 17 July 2008 See abstract, paragraphs [0036], [0037] and figures 2, 6.	8-12, 21-24
Y	WO 2008-120882 A1 (INTEKPLUS CO., LTD.) 09 October 2008 See abstract, paragraphs [0038], [0039] and figure 1.	18-20
A	WO 03-042924 A1 (MAPVISION OY LTD) 22 May 2003 See abstract and figure 1.	1-24
A	US 2007-0050156 A1 (VAIDYANATHAN) 01 March 2007 See abstract and figure 3.	1-24
<input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input checked="" type="checkbox"/> 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 28 December 2015 (28.12.2015)		Date of mailing of the international search report 28 December 2015 (28.12.2015)
Name and mailing address of the ISA/KR International Application Division Korean Intellectual Property Office 189 Cheongsu-ro, Seo-gu, Daejeon, 35208, Republic of Korea Facsimile No. +82-42-472-7140		Authorized officer KANG, Sung Chul Telephone No. +82-42-481-8405

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No.

PCT/US2015/049429

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 2004-0240754 A1	02/12/2004	AU 2002-315499 B2 CA 2451659 A1 EP 1402230 A1 US 7277187 B2 WO 03-002935 A1	03/08/2006 09/01/2003 31/03/2004 02/10/2007 09/01/2003
US 2008-0170219 A1	17/07/2008	EP 2002201 A2 JP 2009-530614 A US 7903256 B2 WO 2007-109127 A2 WO 2007-109127 A3	17/12/2008 27/08/2009 08/03/2011 27/09/2007 24/04/2008
WO 2008-120882 A1	09/10/2008	KR 10-2008-0088946 A	06/10/2008
WO 03-042924 A1	22/05/2003	FI 20012204 A0	13/11/2001
US 2007-0050156 A1	01/03/2007	DE 602006007523 D1 EP 1760427 A2 EP 1760427 A3 EP 1760427 B1 JP 2007-064218 A	13/08/2009 07/03/2007 28/11/2007 01/07/2009 15/03/2007

フロントページの続き

(81)指定国 AP(BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), EA(AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), EP(AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OA(BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG), 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, 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, KN, KP, KR, 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

Fターム(参考) 2F065 AA04 AA53 BB05 CC25 CC26 CC28 FF07 FF09 GG07 GG24
HH06 JJ03 JJ26 LL12 QQ31 QQ41
2G051 AA65 AB02 BB03 BB07 CA03 CA08 CB01 CB05 EC03
5L096 AA06 BA03 CA05 DA02 HA01