

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7175652号
(P7175652)

(45)発行日 令和4年11月21日(2022.11.21)

(24)登録日 令和4年11月11日(2022.11.11)

(51)国際特許分類

FI

G 0 1 B 11/00 (2006.01)

G 0 1 B 11/00 G

B 6 4 D 45/00 (2006.01)

B 6 4 D 45/00 A

請求項の数 16 外国語出願 (全27頁)

(21)出願番号	特願2018-127205(P2018-127205)	(73)特許権者	500461860
(22)出願日	平成30年7月4日(2018.7.4)		オーロラ フライト サイエンス コー
(65)公開番号	特開2019-35736(P2019-35736A)		ポレーション
(43)公開日	平成31年3月7日(2019.3.7)		アメリカ合衆国. 2 2 1 1 1 ヴァージ
審査請求日	令和3年7月1日(2021.7.1)		ニア, マナサス, ウェイクマン ドライブ
(31)優先権主張番号	15/645,148		9 9 5 0
(32)優先日	平成29年7月10日(2017.7.10)	(74)代理人	110002077 園田・小林弁理士法人
(33)優先権主張国・地域又は機関	米国(US)	(72)発明者	チョイ, ジェウ
			アメリカ合衆国 バージニア 2 0 1 1 0
			, マナサス, ウェイクマン ドライブ
			9 9 5 0
		(72)発明者	パドゥアーノ, ジェームズ
			アメリカ合衆国 バージニア 2 0 1 1 0
			, マナサス, ウェイクマン ドライブ
			9 9 5 0

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 航空機用レーザスペckルシステム及び方法

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

複数の点群をレジストレーションするためのシステムであって、前記システムは、
第1のレーザスペckルパターン（308、400）を表面（206）上に投影するス
ペckル生成器（202）と、

前記表面（206）をスキャンするための少なくとも1つの3次元（3D）スキャナ（
112）であって、前記表面（206）の複数の点群を生成し且つ前記第1のレーザスペ
ckルパターン（308、400）の少なくとも一部を画像化するように構成された少な
くとも1つの3Dスキャナ（112）と、

少なくとも部分的に前記第1のレーザスペckルパターン（308、400）に基づい
て、前記複数の点群をレジストレーションして前記表面（206）の3Dモデルを生成す
るために、前記少なくとも1つの3Dスキャナ（112）に通信可能に連結されたプロセ
ッサ（116）とを備え、

前記少なくとも1つの3Dスキャナ（112）は、ディフューザー（208）及び光学
的キャプチャ装置を有する航空機（100）に連結されており、前記光学的キャプチャ装
置は、前記プロセッサ（116）と通信可能に連結され、且つ前記ディフューザー（20
8）の第1の表面（206）を画像化するように構成されている、システム。

【請求項2】

前記スペckル生成器（202）は、レーザビームを生成するレーザ源（302）と、
前記レーザビームを複数の次数の複数のレーザビームに回折させる光学要素（304）で

あって、前記複数のレーザビームが前記第1のレーザスペckルパターン（308、400）を画定する、光学要素（304）とを含む、請求項1に記載のシステム。

【請求項3】

前記光学キャプチャ装置は、下向きのカメラである、請求項1に記載のシステム。

【請求項4】

前記スペckル生成器（202）は、前記ディフューザー（208）の第2の表面（206）上に第2のレーザスペckルパターン（308、400）を投影するように構成されている、請求項1から3のいずれか一項に記載のシステム。

【請求項5】

前記プロセッサ（116）は、前記第1のレーザスペckルパターン（308、400）から複数のランダムな最近隣点（402）を選択することによって、スペckルパターン（308、400）を特定するように構成されている、請求項1から4のいずれか一項に記載のシステム。

10

【請求項6】

前記プロセッサ（116）は、前記スペckルパターン（308、400）を複数の既知のスペckルパターン（308、400）と比較して、前記複数の既知のスペckルパターン（308、400）から最もマッチするスペckルパターン（308、400）を特定するように構成されている、請求項5に記載のシステム。

【請求項7】

前記スペckル生成器（202）の物理的な位置が既知になっており、前記プロセッサ（116）は、前記最もマッチするスペckルパターン（308、400）に少なくとも部分的に基づいて、前記スペckル生成器（202）に対する前記航空機（100）の位置を同定するように構成されている、請求項6に記載のシステム。

20

【請求項8】

前記プロセッサ（116）は、少なくとも部分的に前記第1のレーザスペckルパターン（308、400）に基づいて、前記複数の点群に関する概略のレジストレーションを実施するように構成されている、請求項1から7のいずれか一項に記載のシステム。

【請求項9】

前記プロセッサ（116）は、2つの点群間の差異を最小化するための1つ以上のアルゴリズムを用いて、前記複数の点群に関する精細なレジストレーションを実施するように構成されている、請求項8に記載のシステム。

30

【請求項10】

着陸ゾーン内で航空機（100）用の接地ゾーンを特定するためのシステムであって、表面（206）上にレーザスペckルパターン（308、400）を投影するために前記着陸ゾーンに配置されたスペckル生成器（202）であって、レーザビームを生成するレーザ源（302）及び、前記レーザビームを、前記レーザスペckルパターン（308、400）を画定する複数の次数の複数のレーザビームに回折させる光学要素（304）を含む、スペckル生成器（202）と、

前記航空機（100）に連結される少なくとも1つの光学キャプチャ装置であって、前記表面（206）上に投影された前記レーザスペckルパターン（308、400）の少なくとも一部を画像化するように構成された少なくとも1つの光学キャプチャ装置と、
少なくとも部分的に前記レーザスペckルパターン（308、400）の前記少なくとも一部に基づいて、前記着陸ゾーン内の前記接地ゾーンに対する前記航空機（100）の位置を同定するために、前記少なくとも1つの光学キャプチャ装置に通信可能に連結されたプロセッサ（116）とを備え、

40

前記航空機（100）は、前記表面（206）を含む不透明なディフューザー（208）を備え、前記表面（206）は、上に投影された前記レーザスペckルパターン（308、400）を有している、システム。

【請求項11】

前記不透明なディフューザー（208）は、第1の平面内に存在する第1の表面（20

50

6) と、前記第 1 の平面にほぼ平行な第 2 の平面内に存在する第 2 の表面 (206) を含み、前記不透明なディフューザー (208) の前記第 2 の表面 (206) が、上に投影された前記レーザスペckルパターン (308、400) を有する前記表面 (206) である、請求項 10 に記載のシステム。

【請求項 12】

前記少なくとも 1 つの光学的キャプチャ装置は、前記第 2 の表面 (206) 上に投影された前記レーザスペckルパターン (308、400) をキャプチャするために、前記不透明なディフューザー (208) の前記第 1 の表面 (206) を画像化するように構成された下向きのカメラである、請求項 11 に記載のシステム。

【請求項 13】

前記プロセッサ (116) は、少なくとも部分的に、前記レーザスペckルパターン (308、400) の前記少なくとも一部に基づいて、前記航空機 (100) を前記接地ゾーンに着陸させる命令を生成するように構成されている、請求項 10 から 12 のいずれか一項に記載のシステム。

【請求項 14】

前記プロセッサ (116) は、少なくとも部分的に、既知の座標系における前記レーザスペckルパターン (308、400) の位置に基づいて、前記航空機 (100) の横位置を決定するように構成されている、請求項 10 から 13 のいずれか一項に記載のシステム。

【請求項 15】

前記レーザスペckルパターン (308、400) は、複数の点 (402) を含んでおり、前記プロセッサ (116) は、(1) 前記複数の点 (402) のうちの少なくとも 1 つの直径を測定することによって、前記レーザスペckルパターン (308、400) の点のサイズを決定するか、または (2) 前記複数の点 (402) のうちの少なくとも 2 つの間の距離を測定することによって、点の距離を決定するように構成されている、請求項 10 から 14 のいずれか一項に記載のシステム。

【請求項 16】

複数の点群をレジストレーションするためのシステムであって、前記システムは、
第 1 のレーザスペckルパターン (308、400) を表面 (206) 上に投影するスペckル生成器 (202) と、

前記表面 (206) をスキャンするための少なくとも 1 つの 3 次元 (3D) スキャナ (112) であって、前記表面 (206) の複数の点群を生成し且つ前記第 1 のレーザスペckルパターン (308、400) の少なくとも一部を画像化するように構成された少なくとも 1 つの 3D スキャナ (112) と、

少なくとも部分的に前記第 1 のレーザスペckルパターン (308、400) に基づいて、前記複数の点群をレジストレーションして前記表面 (206) の 3D モデルを生成するために、前記少なくとも 1 つの 3D スキャナ (112) に通信可能に連結されたプロセッサ (116) とを備え、

前記プロセッサ (116) は、前記第 1 のレーザスペckルパターン (308、400) から複数のランダムな最近隣点 (402) を選択することによって、スペckルパターン (308、400) を特定するように構成されており、且つ

前記プロセッサ (116) は、前記スペckルパターン (308、400) を複数の既知のスペckルパターン (308、400) と比較して、前記複数の既知のスペckルパターン (308、400) から最もマッチするスペckルパターン (308、400) を特定するように構成されている、システム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、概して点群をレジストレーションするため、及び航空ビークルの位置を同定するための、具体的には、レーザスペckル技法を用いて、点群をレジストレーションし

10

20

30

40

50

、航空ビークルの位置を同定するための、システム及び方法に関する。

【背景技術】

【0002】

無人航空機（UAV）の技術は、諜報、調査、偵察、及びペイロードの搬送を含むミッションプロファイルにとって、役に立つツールであることが立証されてきた。低高度市街地偵察（urban reconnaissance）といった文脈においては、超小型航空機（MAV）または無人航空システム（UAS）といったUAVは、大小双方の障害物に遭遇し得る。衝突を緩和するため、UAVは、特定の位置に位置同定されてよい。近年では、UAVは、構造物（例えばビルや橋梁など）の健全性（integrity）をモニタリングするために用いられてきた。理解できるように、構造物をスキャンするためには、航空機の位置を同定することと、スキャン処理中にUAVのスキャナ／カメラによって生成された複数の点群をレジストレーションする（即ち、つなぎ合わせる）ための技法、との両方が要求される。UASを、地上の単一の地点に対して位置同定する、または他の方法で限定する既存の方法は、写真測量または視覚による走行距離計の測定といった、不確かな視覚データのデータ源に依存している。視覚的な方法を用いることでもたらされる不確かさは、データ源からの距離に関連して増殖し、誤差は、ピクセルで測定される。その結果、航空ビークルの位置を同定するシステム及び方法の必要性が存在している。

10

【発明の概要】

【0003】

レーザスペckル技法を用いて、点群をレジストレーションし航空ビークルの位置を同定するための、システム及び方法が開示される。

20

【0004】

第1の態様によると、複数の点群をレジストレーションするためのシステムは、第1のレーザスペckルパターンを表面上に投影するスペckル生成器と、表面をスキャンするための少なくとも1つの3次元（3D）スキャナであって、表面の複数の点群を生成し且つ第1のレーザスペckルパターンの少なくとも一部を画像化するように構成された少なくとも1つの3Dスキャナと、少なくとも部分的に第1のレーザスペckルパターンに基づいて、複数の点群をレジストレーションして表面の3Dモデルを生成するために、少なくとも1つの3Dスキャナに通信可能に連結されたプロセッサとを備える。

【0005】

ある態様では、スペckル生成器は、レーザビームを生成するレーザ源と、レーザビームを複数の次数の複数のレーザビームに回折させる光学要素であって、複数のレーザビームが第1のレーザスペckルパターンを画定する、光学要素とを備える。

30

【0006】

ある態様では、第1のレーザスペckルパターンは、疑似乱数のレーザスペckルパターンである。

【0007】

ある態様では、光学要素は、複数の平行で密集したスリットを有する、回折格子を含む。

【0008】

ある態様では、光学要素は、複数の溝付き回折パターンを有する、多焦点回折レンズを含む。

40

【0009】

ある態様では、少なくとも1つの3次元（3D）スキャナは、航空機に連結されている。

【0010】

ある態様では、航空機はさらに、ディフューザー及び、プロセッサと通信可能に連結された下向きのカメラを備える。下向きのカメラは、ディフューザーの第1の表面を画像化するように構成されている。

【0011】

ある態様では、スペckル生成器は、ディフューザーの第2の表面上に、第2のレーザスペckルパターンを投影するように構成されている。

50

【0012】

ある態様では、第1の表面と第2の表面は平行な平面同士の中に存在しており、ディフューザーは、不透明の材料を用いて製造されている。

【0013】

ある実施形態では、下向きのカメラは、第1の表面を画像化して第2のレーザスペckルパターンをキャプチャするように構成されている。

【0014】

ある態様では、プロセッサは、少なくとも部分的に、既知の座標系における第2のレーザスペckルパターンの位置に基づいて、航空機の横位置を決定するように構成されている。

10

【0015】

ある態様では、第2のレーザスペckルパターンは、複数の点を含んでおり、プロセッサは、(1) 前記複数の点のうちの少なくとも1つの直径を測定することによって、第2のレーザスペckルパターンの点のサイズを決定するか、または(2) 前記複数の点のうちの少なくとも2つの間の距離を測定することによって、点の距離を決定するように、構成されている。

【0016】

ある態様では、プロセッサは、少なくとも部分的に、点のサイズまたは点の距離に基づいて、航空機の縦位置を決定するように構成されている。

【0017】

ある態様では、プロセッサは、第1のレーザスペckルパターンから複数のランダムな最近隣点を選択することによって、スペckルパターンを特定するように構成されている。

20

【0018】

ある態様では、複数のランダムな最近隣点は、6～14のランダムな最近隣点を含む。

【0019】

ある態様では、プロセッサは、スペckルパターンを複数の既知のスペckルパターンと比較して、複数の既知のスペckルパターンから最もマッチするスペckルパターンを特定するように構成されている。

【0020】

ある態様では、スペckル生成器の物理的な位置が既知になっており、プロセッサは、最もマッチするスペckルパターンに少なくとも部分的に基づいて、スペckル生成器に対する航空機の位置を同定するように構成されている。

30

【0021】

ある態様では、プロセッサは航空機上に位置している。

【0022】

ある態様では、プロセッサは、航空機から遠隔に位置しており、1つ以上の無線送受信機を介して航空機と通信可能に連結されている。

【0023】

ある態様では、プロセッサは、少なくとも部分的に第1のレーザスペckルパターンに基づいて、複数の点群に関する概略の(r o u g h)レジストレーションを実施するように構成されている。

40

【0024】

ある態様では、プロセッサは、2つの点群間の差異を最小化するための1つ以上のアルゴリズムを用いて、複数の点群に関する精細な(f i n e)レジストレーションを実施するように構成されている。

【0025】

ある態様では、1つ以上のアルゴリズムは、逐次近傍点(I C P)アルゴリズムを含む。

【0026】

ある態様では、システムは、複数の既知のスペckルパターンを記憶するためにプロセッサと通信可能な、メモリ装置をさらに含む。

50

【0027】

第2の態様によると、構造物の表面であって、その上にスペックル生成器によって投影された第1のレーザスペックルパターンを有する表面を画像化するための航空機は、機体と、プロペラに動作可能に連結された複数のモータと、表面をスキャンするための少なくとも1つの3次元(3D)スキャナであって、表面に向けて複数の点群を生成し且つ第1のレーザスペックルパターンの少なくとも一部を画像化するように構成された少なくとも1つの3Dスキャナと、少なくとも部分的に第1のレーザスペックルパターンに基づいて、複数の点群をレジストレーションして表面の完成した3Dモデルを生成するために、少なくとも1つの3Dスキャナに通信可能に連結されたプロセッサとを備える。

【0028】

ある態様では、第1のレーザスペックルパターンは、疑似乱数のレーザスペックルパターンである。

【0029】

ある態様では、航空機はさらに、ディフューザー及び、プロセッサと通信可能に連結された下向きのカメラを備える。下向きのカメラは、ディフューザーの第1の表面を画像化するように構成されている。

【0030】

ある態様では、下向きのカメラは、第1の表面を画像化して、ディフューザーの第2の表面上に投影された第2のレーザスペックルパターンをキャプチャするように構成されている。

【0031】

ある態様では、第1の表面と第2の表面は平行な平面同士の中に存在しており、ディフューザーは、不透明の材料を用いて製造されている。

【0032】

ある態様では、プロセッサは、少なくとも部分的に、既知の座標系における第2のレーザスペックルパターンの位置に基づいて、航空機の横位置を決定するように構成されている。

【0033】

ある態様では、第2のレーザスペックルパターンは、複数の点を含んでおり、プロセッサは、(1)前記複数の点のうちの少なくとも1つの直径を測定することによって、第2のレーザスペックルパターンの点のサイズを決定するか、または(2)前記複数の点のうちの少なくとも2つの間の距離を測定することによって、点の距離を決定するように、構成されている。

【0034】

ある態様では、プロセッサは、少なくとも部分的に、点のサイズまたは点の距離に基づいて、航空機の縦位置を決定するように構成されている。

【0035】

ある態様では、プロセッサは、第1のレーザスペックルパターンから複数のランダムな最近隣点を選択することによって、スペックルパターンを特定するように構成されている。

【0036】

ある態様では、複数のランダムな最近隣点は、6～14のランダムな最近隣点を含む。

【0037】

ある態様では、プロセッサは、スペックルパターンを複数の既知のスペックルパターンと比較して、複数の既知のスペックルパターンから最もマッチするスペックルパターンを特定するように構成されている。

【0038】

ある態様では、スペックル生成器の物理的な位置が既知になっており、プロセッサは、最もマッチするスペックルパターンに少なくとも部分的に基づいて、スペックル生成器に対する航空機の位置を同定することが可能である。

【0039】

10

20

30

40

50

ある態様では、プロセッサは、少なくとも部分的に第1のレーザスペckルパターンに基づいて、複数の点群に関する概略の（rough）レジストレーションを実施するように構成されている。

【0040】

ある態様では、プロセッサは、2つの点群間の差異を最小化するための1つ以上のアルゴリズムを用いて、複数の点群に関する精細な（fine）レジストレーションを実施するように構成されている。

【0041】

ある態様では、1つ以上のアルゴリズムは、逐次近傍点（ICP）アルゴリズムを含む。

【0042】

ある態様では、航空機は、機体から径方向に延びる複数のローターブームであって、前記複数のモータのそれぞれが、前記複数のローターブームのうちの1つの遠位端に位置しており、且つ電子速度コントローラ（ESC）に電氣的に連結されている、複数のローターブームを備える。

【0043】

第3の態様によると、レーザスペckルパターンを有する表面のスキャン時に航空機によってキャプチャされた複数の点群をレジストレーションする方法は、表面の第1の領域を可視化するために、構造化された光を3Dスキャナから投影することと、プロセッサを介して、第1の領域に関連付けられた第1の局所点群を生成することと、3Dスキャナからの構造化された光をオフにすることと、3Dスキャナを介して、レーザスペckルパターンの少なくとも一部を可視化することと、表面の第2の領域を可視化するために、構造化された光を3Dスキャナから投影することと、プロセッサを介して、第2の領域に関連付けられた第2の局所点群を生成することと、3Dスキャナからの構造化された光をオフにすることと、少なくとも部分的にレーザスペckルパターンに基づいて、第1の局所点群と第2の局所点群とのレジストレーションを実施することを含む。

【0044】

ある態様では、方法は、第1の局所点群と第2の局所点群の間の差異を最小限に抑えるための1つ以上のアルゴリズムを使用して、第1の局所点群と第2の局所点群とのレジストレーションを実施するステップをさらに含む。

【0045】

ある態様では、1つ以上のアルゴリズムは、逐次近傍点（ICP）アルゴリズムを含む。

【0046】

ある態様では、方法は、表面の第3の領域を可視化するために、構造化された光を3Dスキャナから投影するステップと、プロセッサを介して、第3の領域に関連付けられた第3の局所点群を生成するステップと、3Dスキャナからの構造化された光をオフにするステップと、少なくとも部分的にレーザスペckルパターンに基づいて、第3の局所点群と第2の局所点群とのレジストレーションを実施するステップと、をさらに含む。

【0047】

第3の態様によると、着陸ゾーン内で航空機用の接地ゾーンを特定するためのシステムは、表面上にレーザスペckルパターンを投影するために着陸ゾーンに配置されたスペckル生成器であって、レーザビームを生成するレーザ源及び、レーザビームを、レーザスペckルパターンを画定する複数の次数の複数のレーザビームに回折させる光学要素を含む、スペckル生成器と、航空機に連結される少なくとも1つの光学的キャプチャ装置であって、表面上に投影されたレーザスペckルパターンの少なくとも一部を画像化するように構成された少なくとも1つの光学的キャプチャ装置と、少なくとも部分的にレーザスペckルパターンの少なくとも一部に基づいて、着陸ゾーン内の接地ゾーンに対する航空機の位置を同定するために、少なくとも1つの光学的キャプチャ装置に通信可能に連結されたプロセッサとを備える。

【0048】

ある態様では、レーザスペckルパターンは、疑似乱数のレーザスペckルパターンで

10

20

30

40

50

ある。

【0049】

ある態様では、航空機は、第1の平面内に存在する第1の表面と、第1の平面にほぼ平行な第2の平面内に存在する第2の表面を有する不透明なディフューザーであって、不透明なディフューザーの第2の表面が、上に投影されたレーザスペckルパターンを有する表面である、不透明なディフューザーを備える。

【0050】

ある態様では、少なくとも1つの光学的キャプチャ装置は、第2の表面上に投影されたレーザスペckルパターンをキャプチャするために、不透明なディフューザーの第1の表面を画像化するように構成された、下向きのカメラである。

10

【0051】

ある態様では、スペckル生成器は高設されており、表面に向けて下向きにレーザスペckルパターンを投影するように構成されている。

【0052】

ある態様では、表面は、地面または接地ゾーンである。

【0053】

ある態様では、光学要素は、回折格子または多焦点回折レンズを含む。

【0054】

ある態様では、少なくとも1つの光学的キャプチャ装置は、下向きのカメラである。

【0055】

ある態様では、プロセッサは、少なくとも部分的に、レーザスペckルパターンの少なくとも一部に基づいて、航空機を接地ゾーンに着陸させる命令を生成するように、構成されている。

20

【0056】

ある態様では、プロセッサは、少なくとも部分的に、既知の座標系におけるレーザスペckルパターンの位置に基づいて、航空機の横位置を決定するように構成されている。

【0057】

ある態様では、レーザスペckルパターンは、複数の点を含んでおり、プロセッサは、(1) 前記複数の点のうちの少なくとも1つの直径を測定することによって、第2のレーザスペckルパターンの点のサイズを決定するか、または(2) 前記複数の点のうちの少なくとも2つの間の距離を測定することによって、点の距離を決定するように、構成されている。

30

【0058】

ある態様では、プロセッサは、少なくとも部分的に、点のサイズまたは点の距離に基づいて、航空機の縦位置を決定するように構成されている。

【0059】

ある態様では、少なくとも1つの光学的キャプチャ装置は、カメラ及び3次元(3D)スキャナを含む。

【0060】

本発明の一実施形態は、複数の点群をレジストレーションするためのシステムを含み、システムは、第1のレーザスペckルパターンを表面上に投影するスペckル生成器と、表面をスキャンするための少なくとも1つの3次元(3D)スキャナであって、表面の複数の点群を生成し且つ第1のレーザスペckルパターンの少なくとも一部を画像化するように構成された少なくとも1つの3Dスキャナと、少なくとも部分的に第1のレーザスペckルパターンに基づいて、複数の点群をレジストレーションして表面の3Dモデルを生成するために、少なくとも1つの3Dスキャナに通信可能に連結されたプロセッサとを備える。スペckル生成器は、レーザビームを生成するレーザ源と、レーザビームを複数の次数の複数のレーザビームに回折させる光学要素であって、複数のレーザビームが第1のレーザスペckルパターンを画定する、光学要素とを備える。これによって、作用が強化される。3次元(3D)スキャナは、ディフューザー及び、プロセッサと通信可能に連結

40

50

された下向きのカメラであって、ディフューザーの第1の表面を画像化するように構成された下向きのカメラを有する、航空機に連結されていてよい。スペックル生成器は、ディフューザーの第2の表面上に、第2のレーザスペックルパターンを投影するように構成されていてよい。プロセッサは、第1のレーザスペックルパターンから、複数のランダムな最近隣点を選択することによって、スペックルパターンを特定するように構成されていてよい。プロセッサは、スペックルパターンを複数の既知のスペックルパターンと比較して、複数の既知のスペックルパターンから最もマッチするスペックルパターンを特定するように構成されていてよい。スペックル生成器の物理的な位置は、既知になっていてよく、プロセッサは、最もマッチするスペックルパターンに少なくとも部分的に基づいて、スペックル生成器に対する航空機の位置を同定するように構成されている。プロセッサは、少なくとも部分的に第1のレーザスペックルパターンに基づいて、複数の点群に関する概略のレジストレーションを実施するように構成されていてよい。プロセッサは、2つの点群間の差異を最小化するための1つ以上のアルゴリズムを用いて、複数の点群に関する精細なレジストレーションを実施するように構成されていてよい。

【0061】

本発明の別の実施形態は、構造物の表面であって、その上にスペックル生成器によって投影された第1のレーザスペックルパターンを有する表面を画像化するための航空機を含み、航空機は、機体と、プロペラに動作可能に連結された複数のモータと、表面をスキャンするための少なくとも1つの3次元(3D)スキャナであって、表面に向けて複数の点群を生成し且つ第1のレーザスペックルパターンの少なくとも一部を画像化するように構成された少なくとも1つの3Dスキャナと、少なくとも部分的に第1のレーザスペックルパターンに基づいて、複数の点群をレジストレーションして表面の完成した3Dモデルを生成するために、少なくとも1つの3Dスキャナに通信可能に連結されたプロセッサとを含む。プロセッサは、第1のレーザスペックルパターンから、複数のランダムな最近隣点を選択することによって、スペックルパターンを特定するように構成されていてよい。プロセッサは、スペックルパターンを複数の既知のスペックルパターンと比較して、複数の既知のスペックルパターンから最もマッチするスペックルパターンを特定するように構成されていてよい。プロセッサは、少なくとも部分的に第1のレーザスペックルパターンに基づいて、複数の点群に関する概略のレジストレーションを実施するように構成されていてよい。

【0062】

本発明の別の実施形態は、着陸ゾーン内で航空機用の接地ゾーンを特定するためのシステムを含み、システムは、表面上にレーザスペックルパターンを投影するために着陸ゾーンに配置されているスペックル生成器であって、レーザビームを生成するレーザ源及び、レーザビームを、レーザスペックルパターンを画定する複数の次数の複数のレーザビームに回折させる光学要素を含む、スペックル生成器と、航空機に連結される少なくとも1つの光学的キャプチャ装置であって、表面上に投影されたレーザスペックルパターンの少なくとも一部を画像化するように構成された少なくとも1つの光学的キャプチャ装置と、少なくとも部分的にレーザスペックルパターンの少なくとも一部に基づいて、着陸ゾーン内の接地ゾーンに対する航空機の位置を同定するために、少なくとも1つの光学的キャプチャ装置に通信可能に連結されたプロセッサとを備える。航空機は、第1の平面内に存在する第1の表面と、第1の平面にほぼ平行な第2の平面内に存在する第2の表面を有する不透明なディフューザーであって、不透明なディフューザーの第2の表面が、上に投影されたレーザスペックルパターンを有する表面である、不透明なディフューザーを備えていてよい。光学的キャプチャ装置は、第2の表面上に投影されたレーザスペックルパターンをキャプチャするために、不透明なディフューザーの第1の表面を画像化するように構成された、下向きのカメラであってよい。プロセッサは、少なくとも部分的に、レーザスペックルパターンの少なくとも一部に基づいて、航空機を接地ゾーンに着陸させる命令を生成するように、構成されていてよい。プロセッサは、少なくとも部分的に、既知の座標系におけるレーザスペックルパターンの位置に基づいて、航空機の横位置を決定するように構

成されていてよい。レーザスペckルパターンは、複数の点を含んでいてよく、プロセッサは、(1) 前記複数の点のうちの少なくとも1つの直径を測定することによって、第2のレーザスペckルパターンの点のサイズを決定するか、または(2) 前記複数の点のうちの少なくとも2つの間の距離を測定することによって、点の距離を決定するように、構成されている。プロセッサは、少なくとも部分的に、点のサイズまたは点の距離に基づいて、航空機の縦位置を決定するように構成されていてよい。

【0063】

本書に記載の装置、システム、及び方法に関する、上記の及びその他の目的、特徴、及び利点は、添付の図面に示すように、これらの装置、システム、及び方法に関する具体的な実施形態の以下の記載から明らかになるであろう。添付の図面では、類似の番号は類似の構造物を表している。図面は必ずしも正しい縮尺で描かれておらず、むしろ本書に記載の装置、システム、及び方法の原理を説明することに重点が置かれている。

【図面の簡単な説明】

【0064】

【図1a】例示の多回転翼式の垂直離着陸(VTOL)用UAVを示す。

【図1b】例示の多回転翼式の垂直離着陸(VTOL)用UAVを示す。

【図2】例示のレーザスペckルシステムを示す。

【図3】例示のスペckル生成器を示す。

【図4】図4a～図4cは、例示のレーザスペckル処理技法を示す。

【図5】図5a～図5dは、航空機の横位置を位置同定するための、例示のレーザスペckル処理技法を示す。

【図6】図6a～図6cは、種々の距離における、疑似乱数のレーザスペckルパターンを示す。

【図7a】表面の種々の領域をスキャンしている航空機の図を示す。

【図7b】表面の種々の領域をスキャンしている航空機の図を示す。

【図7c】表面の種々の領域をスキャンしている航空機の図を示す。

【図8】図8a～図8dは、航空機が表面の種々の領域をスキャンする際の、例示のスキャン飛行パターンを示す。

【図9】例示の航空機用スキャンプロセスのフロー図を示す。

【発明を実施するための形態】

【0065】

以下で、本発明の好適な実施形態について、添付の図面を参照しながら説明する。図面中の構成要素は必ずしも正しい縮尺で描かれておらず、むしろ本実施形態の原理を明確に示すことに重点が置かれている。例えば、明確にするためと記載上の便宜のために、要素のサイズは誇張されていてよい。さらに、同一または同様の部品を指すのに、可能な場合には、図面全体を通して同じ参照番号が使われている。既知の機能や構造は、不必要な詳細によって本発明を不明確にし得るため、以下の記載では詳細には説明しない。本明細書中のいかなる文言も、特許請求されていない任意の要素が各実施形態を実施するために必須であると、解釈すべきではない。

【0066】

本書に示されている値の範囲は、本書で別様に記載されていない限り、限定することを意図したものではなく、むしろその範囲に該当する任意の全ての値を個別に表すものであり、そうした範囲内の個々の値はそれぞれ、個別に本書に示されているかのように、本明細書に組み込まれている。「およそ」「約」などの用語は、数値に付随している場合、意図した目的のためには十分に有効な範囲だと当業者に認識されるであろう偏差を表すものとして、解釈されるべきである。値及び／または数値の範囲は、本書では例示のためのみに設けられており、記載の実施形態の範囲の限界を設定するものではない。本書で使われているあらゆる実施例、及び例示を表す文言(「例えば」「といった」など)は、単に実施例をより良く説明することを意図したものであり、実施形態の範囲を限定するものではない。明細書中のいかなる文言も、特許請求されていない任意の要素が各実施形態を実施

10

20

30

40

50

するために必須であると、解釈すべきではない。

【0067】

以下の記載中、「第1の」「第2の」「頂部」「底部」「側部」「前」「後」などの用語は、利便性のための文言と理解されており、限定するための用語であると解釈すべきではない。本書に提示されている様々なデータ値（例えば、電圧、秒など）は、1つ以上の他の所定のデータ値で代替されてよく、したがって、限定的であるとみなすべきではなくて、むしろ例示的である。この開示には、以下の用語及び定義が該当するものとする。

【0068】

「及び／または」という用語は、「及び／または」でつながれているリスト中の項目のうちの任意の1つ以上を意味する。例えば、「x及び／またはy」は、3つの要素からなる集合{(x), (y), (x, y)}のうちの、任意の要素を意味する。言い換えれば、「x及び／またはy」は、「x及びyのうちの片方または両方」を意味する。別の例として、「x, y及び／またはz」は、7つの要素からなる集合{(x), (y), (z), (x, y), (x, z), (y, z), (x, y, z)}のうちの、任意の要素を意味する。言い換えれば、「x, y及び／またはz」は、「x, y及びzのうちの1つまたはそれ以上」を意味する。

【0069】

「回路」(circuits及びcircuitry)という用語は、物理的な電子構成要素（例えばハードウェア）、並びにハードウェアの設定を行い、ハードウェアによって実行され、及び／または他の態様でハードウェアに関連してよい、任意のソフトウェア及び／またはファームウェア（コード）を表す。本書では、例えば具体的なプロセッサ及びメモリが、第1のセットをなすコードの1つ以上の行を実施するときに第1の「回路」を備えており、第2のセットをなすコードの1つ以上の行を実施するときに第2の「回路」を備えていてよい。本書では、回路は、機能を実行するために必要なハードウェアと（必要な場合には）コードを備えているときにはいつでもその機能を実行するために「動作可能」なのであって、それは、その機能の実行が（例えばユーザが設定可能な設定や工場出荷時の設定(factory trim)などによって）無効化されているか、または有効化されていないことには無関係である。

【0070】

本書で使用する場合、「通信する」及び「通信している」という用語は、発信元から送信先までデータを伝達すること、並びにデータを、送信先まで伝達するために、通信用の媒体、システム、チャンネル、ネットワーク、装置、回線、ケーブル、ファイバー、回路、及び／またはリンクに送達することとの両方を含む。本書で使用する場合、「通信」という用語は、そのように伝達または送達されたデータを意味する。本書で使用する場合、「通信装置(communications)」という用語は、通信用の媒体、システム、チャンネル、ネットワーク、装置、回線、ケーブル、ファイバー、回路、及び／またはリンクのうちの、1つ以上を含む。

【0071】

本書で使用する場合、「連結された」「～に連結された」及び「～と連結された」という用語は、それぞれ、以下のうちの任意の1つ以上からなる、2つ以上の装置、機器、ファイル、回路、要素、機能、動作、処理、プログラム、媒体、構成要素、ネットワーク、システム、サブシステム、及び／または手段の間(betweenまたはamong)の関係を意味する。(i)直接の、または1つ以上の他の装置、機器、ファイル、回路、要素、機能、動作、処理、プログラム、媒体、構成要素、ネットワーク、システム、サブシステム、もしくは手段を介した、接続。(ii)直接の、または1つ以上の他の装置、機器、ファイル、回路、要素、機能、動作、処理、プログラム、媒体、構成要素、ネットワーク、システム、サブシステム、もしくは手段を介した、通信関係。及び／または(iii)任意の1つ以上の装置、機器、ファイル、回路、要素、機能、動作、処理、プログラム、媒体、構成要素、ネットワーク、システム、サブシステム、もしくは手段の動作が、全体的にまたは部分的に、これらのうちの任意の1つ以上の動作に依存している、機能的

な関係。

【0072】

本書で使用する場合、「データ」という用語は、恒久的かまたは一時的に関わらず、視覚可能か、聴覚可能か、電氣的に増幅していない (a c o u s t i c) か、電氣的か、磁氣的か、電磁的か、または別様に示されているかに関わらず、しるし、信号、マーク、シンボル、ドメイン、シンボルセット、表示、及び情報を表す任意の他の単数または複数の物理的形態を意味する。「データ」という用語は、対応する情報を種々の物理的形態で表したあらゆる表現を含めて、1つの物理的な形態で所定の情報を表すのに使用される。

【0073】

本書で使用する場合、「データベース」という用語は、関連するデータの体系化された集合体を意味しており、データまたはその体系化された集合体が表示されている態様は、問わない。例えば、関連するデータの体系化された集合体は、表、マップ、グリッド、パケット、データグラム、フレーム、ファイル、電子メール、メッセージ、文書、レポート、リスト、または任意の他の形態のうちの1つ以上という形態であってよい。

【0074】

「例示的」という用語は、「例 (e x a m p l e、i n s t a n c e、または i l l u s t r a t i o n) の役割を果たしている」ことを意味する。本書に記載の実施形態は限定的ではなく、むしろ例示のために過ぎない。記載されている実施形態が、他の実施形態と比べて必ずしも好適または有利であると解釈されるべきではないことは、理解すべきである。さらに、「本発明の実施形態」「実施形態」または「発明」という用語は、本発明の全ての実施形態が、検討されている特徴、利点、または動作形態を含むことを必要としてはいない。

【0075】

「メモリ装置」という用語は、プロセッサが使用するための情報を記憶するコンピュータハードウェアまたは回路を意味する。メモリ装置は、任意の適切なタイプのコンピュータメモリ、または任意の他のタイプの電子記憶媒体であることができ、それは例えば、読み出し専用メモリ (R O M)、ランダムアクセスメモリ (R A M)、キャッシュメモリ、コンパクトディスク読み出し専用メモリ (C D R O M)、電気光学メモリ、磁気光学メモリ、プログラム可能読み出し専用メモリ (P R O M)、消去可能 P R O M (E P R O M)、電氣的消去可能 P R O M (E E P R O M)、コンピュータ可読媒体などである。

【0076】

本書で使用する場合、「ネットワーク」という用語は、インターネットを含む、全ての種類のネットワーク及びインターネットワークの両方を含み、いかなる具体的なネットワークまたはインターネットワークにも限定されない。

【0077】

「プロセッサ」という用語は、処理を行う装置、機器、プログラム、回路、構成要素、システム、及びサブシステムを意味しており、ハードウェアに実装されているか、有体物の形をとったソフトウェアであるか、もしくはその両方か、またはプログラム可能であるかどうかは、問わない。「プロセッサ」という用語は、限定しないが、1つ以上の計算装置、有線接続された回路、信号変調用の装置及びシステム、制御システム用の装置及びマシン、中央処理装置、プログラム可能な装置及びシステム、フィールドプログラマブルゲートアレイ、特定用途向け集積回路、S o C (システムオンチップ)、別個の要素及び／または回路を備えたシステム、状態機械、仮想計算機、データプロセッサ、処理設備、並びに上記のうちの任意のものの組み合わせを含む。プロセッサは、例えば、任意のタイプの汎用マイクロプロセッサもしくは汎用マイクロコントローラ、デジタル信号処理 (D S P) プロセッサ、または特定用途向け集積回路 (A S I C) であってよい。プロセッサは、メモリ装置に連結されているか、またはメモリ装置に組み入れられていてよい。

【0078】

「航空ビークル」及び「航空機」という用語は、限定しないが、固定翼機、無人航空機、可変翼機、及び垂直離着陸 (V T O L) 航空機を含む、飛行可能なマシンを指す。

【0079】

本書で開示されているのは、レーザスペckルを生成するためのレーザ源を有するレーザスペckルシステムである。このレーザスペckルは、1つ以上の3次元(3D)スキャナが(例えば表面上の欠陥を検出するために)表面をスキャンする際に2つ以上の点群をレジストレーションするため、及び3Dスキャナが装着されている航空機の位置を同定するために、航空機が基準マーカとして使用してよい。単一の地上のソース(例えばスペckル生成器)を元にして航空機の位置を同定すること、並びに航空機によって測定した壁の点群をレジストレーションするのには、良好なグラウンドトゥルス(即ち経験的証拠)が必要になる。したがって、説明されるように、レーザスペckルの一部を、航空機に装着された1つ以上の光学的キャプチャ装置(例えば3Dスキャナ、カメラなど)で画像化することができる。レーザスペckルシステムは、少なくとも部分的にレーザスペckルのパターン、点のサイズ、及び/またはレーザスペckルの点の距離に基づいて、航空機(または航空機に通信可能に連結された別のシステム)が、3Dスキャナによって生成された複数の点群をレジストレーションして、較正されたレーザ源に対する航空機の位置を決定することを可能にする。

10

【0080】

こうして、レーザスペckルによって、航空機が基準マーカを持たない表面(例えば、無特徴表面(featureless surface))をスキャンすることが可能になる。具体的には、較正されたレーザ源は、既知の、不変の中央位置から、無特徴表面(または航空機によってスキャンされる別の表面)に向けてレーザスペckルを生成・投影し、無特徴表面上に疑似乱数のレーザスペckルパターン(例えば点の配列または配置)を表示するように構成されていてよい。疑似乱数のレーザスペckルパターンによって、スキャン処理中に、航空機の3Dスキャナが2つ以上の点群をレジストレーションするのが可能になる。疑似乱数のレーザスペckルパターンは、航空機に連結されたディフューザー上に表示されてもよく、ディフューザーは、(例えば3D空間中で横及び縦方向に)航空機の位置を同定するのに使用されてよい。開示されているレーザスペckルシステムは、特に多回転翼UAVを含む、様々な航空機の構成に関連して使用されてよい。

20

【0081】

多回転翼垂直離着陸UAVレーザスペckルシステムと共に使用するのに適切な航空機100は、多回転翼垂直離着陸UAVとして構成されていることが可能であり、その実施例が図1aに示されている。示されるように、航空機100は、概して機体102(例えば胴体)、機体102から径方向に延びる複数のローターブーム104(例えば長手方向ブーム)、着陸装置110、及び複数の推進器108を備える。各図面を通して多回転翼垂直離着陸UAVが示されているが、本開示の教示は、固定翼航空機を含む他の航空機、及び、無特徴表面をスキャンするように構成され得る非航空機のシステム(例えば地上ビークル)にも同様に該当し得る。

30

【0082】

機体102は、複数のローターブーム104の遠位端が機体102から径方向に延びているようにして、複数のローターブーム104のそれぞれの近位端と連結されていてよい。機体102及び複数のローターブーム104は、単一のユニットとして製造されていてよい、または互いに連結される別個の部品として製造されていてよい。複数のローターブーム104のそれぞれの遠位端は、推進器108と連結されていてよい。推進器108のそれぞれは、プロペラ108bとして示されており、プロペラ108bは、プロペラ108bを駆動/回転するための電気モータ108aに連結されている。前記複数の推進器108のそれぞれは、ローターブーム104の遠位端に配置されており、推力を(機体102に対して)下方に向けるようにして配向されている。電気モータ108aは、電子速度コントローラ(ESC)106を介して制御される電気モータであってよい。このため、例えば、ローターブーム104の遠位端の、電気モータ108aの近傍に、ESC106もまた設けられていてよい。航空機100は8個の推進器108を有する(即ち8回転翼航空機)として示されているが、当業者は、所望の機能を実現するために、及び例えば

40

50

推力の要件次第で、さらなる推進器 108 またはより少数の推進器 108 が用いられてよいことを理解するであろう。

【0083】

電気モータ 108 a は、各ローターブーム 104 の遠位端に示されているが、代わりに、複数（または単数）の電気モータ 108 a が機体 102 に配置され、電気モータ 108 a と 1 つ以上のプロペラ 108 b との間のギアボックス及び／またはドライブシャフトを介して 1 つ以上のプロペラ 108 b を駆動（回転）するように構成されていてもよい。さらに、各ローターブーム 104 は単一の推進器 108 のみを有するものとして示されているが、各ローターブーム 104 の遠位端に、複数の推進器 108 が設けられていてもよい。例えば、各ローターブーム 104 の遠位端にクロスメンバーが配置され、推進器 108 を互いに離間させるように（例えば、ローターブーム 104 の長さに対して垂直に）配列されるか、または他の態様でプロペラ 108 b 間の干渉を防止するように（例えば、互い違いの構成／一部が重なった構成で）配列されていてもよい。航空機 100 の構成要素は、金属、複合材料、またはこれらの組み合わせから製造されていてもよい。

10

【0084】

示されるように、航空機 100 は、1 つ以上の 3D スキャナ 112 及び 1 つ以上のカメラ 114 を装備しており、これらのそれぞれは、1 つ以上のジンバル装置を介して、（例えば下面において）機体 102 に回転可能且つ枢動可能に連結されていてもよい。3D スキャナ 112 は、例えば、2 つの成分、即ち RGB（赤／緑／青）と D（深度）の成分を有する RGB-D カメラであってよい。航空機 100 に、地面と平行でない表面（例えば地面にほぼ垂直な表面）をスキャンして 3D 画像を生成するための視野を与えるように、1 つ以上の 3D スキャナ 112 は、機体 102 の外周に沿って配置されていてもよい。例えば、航空機 100 は、3D スキャナ 112 を使用して、欠陥を特定するために壁または他の構造物の表面をスキャン及び／またはマッピングするように構成されていてもよい。1 つ以上のカメラ 114 は、例えば、広視野カメラまたは魚眼レンズカメラといった、比較的大きな FOV をカバーする広角レンズを装備したカメラであってよい。1 つ以上のカメラ 114 は、3D スキャナ 112 とは異なり、スキャンする関心表面に対して、または関心表面に向けて、配置されていてもよい。ある実施形態では、1 つ以上のカメラ 114 は、航空機 100 に装着されたディフューザー 208 の表面といった、地面にほぼ平行な表面を画像化するため、（航空機 100 に対して）下方を向いていてもよい。実施の際、航空機 100 は、1 つ以上のカメラ 114 及び、ディフューザー 208 上に投影されたレーザスペckルを使用して、航空機 100 のあらゆるオフセットを検出するように構成されていてもよい。

20

30

【0085】

図 1 b は、航空機 100 用の例示の航空機制御システムのブロック図である。航空機制御システムは、航空機 100 の様々な航空機構成要素及び機能を制御するように構成されている。示されるように、航空機 100 は、少なくとも 1 つのメモリ装置 118 に通信可能に連結された 1 つ以上のプロセッサ 116、1 つ以上の 3D スキャナ 112、1 つ以上のカメラ 114、フライトコントローラ 120、無線送受信機 122、及びナビゲーションシステム 124 を含む。

40

【0086】

1 つ以上のプロセッサ 116 は、少なくとも部分的に、メモリ装置 118（例えばハードドライブ、フラッシュメモリなど）に記憶された命令（例えばソフトウェア）、及び 1 つ以上のデータベースに基づいて、1 つ以上の動作を実行するように構成されていてもよい。航空機制御システムは、航空機 100 と遠隔装置 130（例えば、スマートフォン、タブレット、及びラップトップコンピュータといった携帯用電子機器）または他のコントローラ（例えば基地局）との間でデータを通信する無線送受信機 122 といった、他の所望の設備をさらに含んでいてもよい。例えば、航空機 100 は、ネットワーク 128 を通じて遠隔装置 130 とデータ（処理済みデータ、未処理データなど）を通信してよい。

【0087】

50

プロセッサ 116 は、オペレータ、自動操縦、ナビゲーションシステム 124、または他の高レベルシステムからの、無線送受信機 122 を介したコマンドに応じて、様々なアクチュエータ（例えば、任意の操縦翼面の動作を制御するためのアクチュエータ）及び／または（例えば ESC 106 を介して）電気モータ 108 a の動作を制御するため、フライトコントローラ 120 に動作可能に連結されていてよい。実施の際、フライトコントローラ 120 は、航空機 100 のロール、ピッチ、またはヨーを制御するため、飛行の様々な段階（例えば離陸、巡航、着陸）の最中の、各電気モータ 108 a から各ローターブーム 104 への推力を、ESC 106 を介して動的に（即ちリアルタイムまたはほぼリアルタイムで）及び独立して、調整してよい。言い換えれば、フライトコントローラ 120 は、電気モータ 108 a のそれぞれが所望の上昇推力を生成するように、所与のローターブーム 104 上の電気モータ 108 a のそれぞれを、独立して制御することができる。例えば、ローターブレード付きのローター（例えばプロペラ）が使用されているときには、フライトコントローラ 120 は、ローターの RPM を変化させてよく、及び／または、所望であれば、ローターブレードのピッチを変化させてよい。具体的には、電気モータ 108 a は、電源（例えばバッテリーパックまたはバッテリーバンク）から各電気モータに供給される電力を、ESC 106 を介して調整することによって制御されてよい。

【0088】

プロセッサ 116 は、慣性航法装置（INS）124 b 及び／または慣性計測装置（IMU）124 c と通信可能に連結された全地球測位システム（GPS）124 a を含み得る、ナビゲーションシステム 124 に動作可能に連結されていてよい。GPS 124 a によって、INS の解をリセットするのに使うことができるか、またはカルマンフィルタといった数学的アルゴリズムを使って INS の解とブレンドすることができる、完全に偏流（drift）のない、位置の値が与えられる。

【0089】

プロセッサ 116 は、1 つ以上の 3 D スキャナ 112 及び／または 1 つ以上のカメラ 114 に動作可能に連結されていてよい。1 つ以上のプロセッサ 116 は、航空機 100 が（例えば表面上の欠陥を検出するために）無特徴表面をスキャンしている間に、1 つ以上の 3 D スキャナ 112 から受信した 2 つ以上の点群をレジストレーションすることによって、無特徴表面の完成した 3 D モデルを生成するように構成されていてよい。1 つ以上のプロセッサ 116 は、少なくとも部分的に、1 つ以上の 3 D スキャナ 112 及び／または 1 つ以上のカメラ 114 から受信したデータに基づいて、3 D スキャナが装着されている航空機の位置を同定するように、さらに構成されていてよい。同様に、データを収集するため、及び／またはエリアをモニタリングするために、航空機 100 は、諜報、調査、及び偵察（ISR）用のペイロード 126 をさらに備えていてよい。ペイロード 126 は、例えば 1 つ以上のカメラ、オーディオ装置、及び ISR の機能性を促進し ISR のデータ（例えば写真、ビデオ、オーディオ、センサ測定値など）を提供するための他のセンサを含む。ISR 用ペイロード 126 は、ISR 用ペイロード 126 とプロセッサ 116 の間の ISR データの通信を促進するため、プロセッサ 116 に動作可能に連結されている。ISR 用ペイロード 126 は、より容易に ISR 用ペイロード 126 を下向きに配向して下方の及び／または地上の物体をモニタリングするのを可能にするため、例えばジンバル装置を介して、機体 102（または、例えばローターブーム 104 といった他の構造構成要素）の下面に、回転可能且つ枢動可能に連結されていてよい。

【0090】

完成した 3 D モデル、ISR データ、及び／または他の情報は、動的にまたは定期的に、航空機 100 から遠隔装置 130 まで、無線送受信機 122 を介してネットワーク経由で通信されてよい。完成した 3 D モデル、ISR データ、及び／または他の情報は、後でアクセスまたは処理するために、メモリ装置 118 内に記憶されてもよい。ある態様では、様々な機載のセンサ（例えば 3 D スキャナ 112、カメラ 114、ISR 用ペイロード 126 など）からの未処理データは、航空機 100 から遠隔処理用の生データとして無線送受信機 122 を介して通信されてよい。例えば、航空機 100 は、1 つ以上の 3 D スキ

ャナ１１２によって、任意の基準マーカデータ（例えばレーザスペckルパターンに関するデータ）に沿ってキャプチャされた２つ以上の点群を、無線送受信機１２２を介して、遠隔デバイス１３０に動的に通信してよく、それによって、遠隔装置１３０が、２つ以上の点群をレジストレーションすることによって、無特徴表面の完成した３Ｄモデルを生成するように構成されてよい。遠隔データ処理の利点は、航空機１００の機上で必要になる処理用のリソースが削減され、それによって航空機１００の重量とコストが削減され得ることである。

【００９１】

レーザスペckルシステム２００図２を参照すると、例示のレーザスペckルシステム２００は、上方にレーザスペckルを投影して１つ以上の疑似乱数のレーザスペckルパターンを無特徴表面２０６上、及び／または航空機１００の下部に装着されたディフューザー２０８上に表示するための、スペckル生成器２０２を有するものとして示されている。無特徴表面２０６は、例えば、ビルの壁、橋梁の表面、または航空機１００によって点検される別の構造物であってよい。スペckル生成器２０２は、空間２０４の底部にある既知の位置に配置され、上向きに（例えば垂直にまたは角度を付けて）、航空機１００に向かって、レーザスペckルを一連のレーザビームとして投影するように構成されてよい。このレーザスペckルは、特に、航空機１００の飛行経路を規定する境界を設定するために、３Ｄスキャナ１１２及び／またはカメラ１１４によって使用されてよい。

【００９２】

点群のレジストレーション３Ｄ画像化における点群とは、無特徴表面２０６といった物体の外表面を表す、（Ｘ座標、Ｙ座標、及びＺ座標によって規定される）３次元座標系内の一群のデータ点である。点群は、無特徴表面２０６を航空機１００が横断する際に、３Ｄスキャナ１１２によって作成されてよい。実施の際、３Ｄスキャナ１１２は、特徴部が存在しない表面２０６上２～３メートルの範囲を、およそ１秒当たり１０，０００，０００個の点で測定してよく、続いて、１秒当たり（１０，０００，０００個の点の）１つの点群として、点群データファイル内に出力してよい。点群データファイルは、３Ｄコンピュータ支援設計（ＣＡＤ）モデルの作成、測定検査、品質検査などを含む、多くの目的のために使用され得る。点群は、直接レンダリングして検査することができるが、点群を、一般的に表面再構成と呼ばれるプロセスを通じて、ポリゴンメッシュモデルもしくはトライアングルメッシュモデル、非一様有理Ｂスプライン（ＮＵＲＢＳ）表面モデル、またはＣＡＤモデルといった１つ以上の３Ｄモデルに変換することが、しばしば有用である。

【００９３】

無特徴表面２０６を観察するのに複数の３Ｄスキャナ１１２が使用されているとき、または単一の３Ｄスキャナ１１２が無特徴表面２０６をマルチビューで観察しているとき（例えば航空機１００が無特徴表面２０６を横切っているとき）には、完成した３Ｄモデルを生成するために、各３Ｄスキャナ１１２からの様々な点群を位置合わせしなければならない。様々な点群を位置合わせして完成した３Ｄモデルにするプロセスは、レジストレーションとして知られている。レジストレーションプロセスの目的は、個別に取得した複数のビューの、グローバル座標フレームワークにおける相対的な配置と配向を決定し、それによってビュー間（または点群間）で重なり合っているエリアが、位置合わせされ得ることである。

【００９４】

別々のビュー／領域から取得された点群データファイルの全てのセットに関して、例えば基準マーカを使用して点群データセットが位置合わせされ、単一の点群モデルにされてよい。単一の点群モデルを生成することによって、後続の処理ステップ（例えばセグメント化、物体の再構成など）が促進される。複数の点群をレジストレーションするための基準マーカとして、表面の物理的な特徴と物理的なエッジを使用してよいが、その一方で、３Ｄスキャナ１１２が無特徴表面２０６をスキャンする間に２つの点群をレジストレーションするのは、困難であり得る。なぜならば、無特徴表面２０６には、基準点のトラッキング用の基準マーカとして使用し得る目印が、概して欠如しているからである。既

10

20

30

40

50

存の方法は、基準点として使用し得る物理的な基準マーカ（例えばタグ、反射マーカなど）を無特徴表面 206 に追加することによって、単純にこの困難を迂回している。しかし、理解されるように、表面 206 に物理的な基準マーカを追加することで、検査にかかる労力とコストが増加する。

【0095】

物理的な基準マーカの必要性を取り除くため、スペックル生成器 202 を使用して、既知の不変の中央位置から、無特徴表面 206 上に疑似乱数のレーザスペックルパターン 308 を生成してよい。疑似乱数のレーザスペックルパターン 308 は、3D スキャナ 112 が 3D スキャナ 112 からの複数の点群をレジストレーションするのを可能にする、基準マーカの役割を果たす。1 つ以上の 3D スキャナ 112 は、スペックル生成器 202 と共に、航空機 100 によって測定された壁の点群をレジストレーションするために、画像化プロセッサ（例えばプロセッサ 116 または遠隔プロセッサ）によって使用されてよい。言い換えれば、レーザスペックルシステム 200 は、一切の物理的人工物の設置を必要とすることなく、レーザスペックルの形態で、無特徴表面 206 上に基準マーカを生成するのである。

【0096】

較正されたスペックル生成器 202 は、疑似乱数のレーザスペックルパターン 308 を、航空機 100 の下方に連結されたディフューザー 208 上にも生成してよい。1 つ以上のカメラ 114 は、スペックル生成器 202 及びディフューザー 208 と共に、X 軸、Y 軸、及び Z 軸に沿って航空機 100 の位置を同定するために使用されてよい。例えば、航空機 100 は、ディフューザー 208 上に投影されたレーザスペックルパターンを使用して、カメラ 114 を介してスペックル生成器に対するあらゆる水平方向のオフセットを検出することも可能である。レーザが単純にディフューザー 208 を通過してしまうのを防ぐため、ディフューザー 208 は、例えばスペックル生成器 202 からの光を吸収する不透明の材料を用いて製造されていてよく、それによって、カメラ 114 に面しているディフューザー 208 の表面に、疑似乱数のレーザスペックルパターン 308 が表示される。例えば、プロセッサ 116 に通信可能に連結された下向きカメラ 114 は、ディフューザー 208 の第 1 の表面を画像化するように構成されていてよいが、その一方で、スペックル生成器 202 は、ディフューザーの第 2 の表面上にレーザスペックルパターンを投影するように構成されていてよい。下向きカメラ 114 は、第 2 のレーザスペックルパターンをキャプチャするため、第 1 の表面を画像化するように構成されている。なぜならば、ディフューザー 208 が疑似乱数のレーザスペックルパターン 308 を吸収し、拡散するからである。ディフューザー 208 は、ガラス、プラスチックなどを含む、完全に不透明であるかまたは少なくとも 1 つの面を不透明な膜でコーティングされた、複数の材料のうちの 1 つから製造されていてよい。例えば、ディフューザー 208 は、すりガラス製ディフューザー、テフロン（登録商標）製ディフューザー、ホログラフィックディフューザー、オパールガラス製ディフューザー、灰色ガラス製ディフューザーなどであってよい。

【0097】

無特徴表面 206 上に投影された疑似乱数のレーザスペックルパターンの一部は、航空機 100 に装着された 3D スキャナ 112 によって画像化されてよい。実施の際、航空機 100 は、無特徴表面 206 の近傍の空間 204 内を飛行してよく、1 つ以上の 3D スキャナ 112 を用いて、欠陥に関して無特徴表面 206 をマッピングするように構成されていてよい。レーザスペックルシステム 200 は、少なくとも部分的にレーザスペックルパターンに基づいて、3D スキャナ 112 によって生成された複数の点群をレジストレーションすることが可能である。例えば、無特徴表面 206 の表面の 3D 点群を作成するために、3D スキャナ 112 の D 成分が使用されてよい一方、3D スキャナ 112 の RGB 成分を使用して無特徴表面 206 上のレーザスペックルパターンを検出するために、RGB 成分が使用されてよい。次に、RGB 成分は、3D スキャナ 112 からの点群をレジストレーションするために使用され得る。既知である較正されたスペックル生成器 202 の位置に対する、航空機 100 の位置は、無特徴表面 206 上及び／またはディフューザー 2

08上に投影された疑似乱数のレーザスペckルパターンを用いて決定されてよい。例えば、カメラ（カメラ114であれ、3Dスキャナ112のRGB成分であれ）を用いてレーザスペckルパターンを特定することによって、航空機100の水平方向のオフセットも検出され補正され得る。

【0098】

スペckル生成器202図3に、例示のスペckル生成器の一例を示す。示されるように、スペckル生成器202は、概してレーザ源302、光学要素304及び、疑似乱数のレーザスペckルパターン308を生成するための1つ以上のさらなる集束レンズ318を備える。レーザ源302には、例えばソリッドステート、ガス、エキシマー、ダイ、または半導体を含む、複数のレーザ媒質のうちの1つが用いられていてよい。ソリッドステートレーザは、例えば、固体マトリクス内に分布しているレージング材料（例えば、ルビーまたはネオジウム-YAG（イットリウム・アルミニウム・ガーネット）レーザ）を有する。ネオジウム-YAGレーザは、1.064マイクロメートルの赤外光を発する。時としてダイオードレーザとも呼ばれる半導体レーザは、ソリッドステートレーザではないが、概して小さく、使用する電力は低く、より大きいアレイへと組み立てられ得る。

【0099】

光学要素304は、スペckル生成器202によって投影されたレーザビームを方向づけ合焦させる、回折要素310及び1つ以上のレンズ306を含んでいてよい。回折要素310は、例えば、回折格子、多焦点回折レンズ、プリズム、分散素子、または、レーザ源302からの入射ビーム312を複数の次数のレーザビーム316へと分割するもしくは分岐させる、他の光学要素であってよい。回折格子には、例えば、多数の平行で密集したスリット（典型的には、ミリメートルあたりのライン数で測定した場合に80〜3000ライン/mm）が用いられている。単一の波長である入射ビーム312（例えばヘリウム-ネオンレーザからの632.8nmの赤色光）が回折格子に当たると、入射ビーム312は、伝播軸314の両側に回折され、複数の次数のビーム316となる。しかし、異なる波長は、回折関係に従って、異なる角度で回折される。別の例では、回折要素310は、レーザ源302からの入射ビーム312が伝播軸314に沿ったいくつかの位置で同時に合焦することを可能にする、多焦点回折レンズであってよい。具体的には、入射ビーム312は多焦点回折レンズ内で溝付きの回折パターンによって回折され、伝播軸314に沿った複数の次数316になる。複数の次数のビーム316を合焦させるため、及び／または調整するため、1つ以上のさらなる合焦レンズ318が、さらに用いられていてよい。

【0100】

スペckル生成器202は、関心の箇所（例えば、着陸ゾーン、検査地点など）に置かれていてよく、それによって、点402による疑似乱数のレーザスペckルパターン308が、航空機100の予期された位置に向けて、または別の標的にに向けて、投影される。例えば、構造物の健全性のスキャンニング、マッピング、及び／またはモニタリングに際して航空機を補助するため、スペckル生成器202は検査地点（例えば構造物）に配置されていてよい。この例では、スペckル生成器202は、疑似乱数のレーザスペckルパターン308を、スキャンニング、マッピング、及び／またはモニタリングする構造物上に、上向きに投影する。

【0101】

ある態様では、これらのスペckル生成器202は、民間用であれ軍事用であれ、有人または無人の着陸ゾーンへのカーゴ（荷物）の送達を促進するため、着陸ゾーンに配置されていてよい。一実施例では、スペckル生成器202は、疑似乱数のレーザスペckルパターン308を、航空機100の下方に連結されたディフューザー208上に生成してよい。1つ以上のカメラ114は、スペckル生成器202及びディフューザー208と共に、X軸、Y軸、及びZ軸に沿って、スペckル生成器202に対する航空機100の位置を同定するために使用されてよい。別の実施例では、航空機100は、エリアに接近し、そのエリアでスペckル生成器202の周囲の着陸ゾーンをスキャンし、少なくとも

部分的に、スペックル生成器 202 によって生成された疑似乱数のレーザスペックルパターン 308 に基づいて、（例えば接近中に）着陸ゾーン内の接地ゾーンを特定し、疑似乱数のレーザスペックルパターン 308 をトラッキングしながら（または少なくとも部分的に疑似乱数のレーザスペックルパターン 308 に基づいて）、接地ゾーンに自律的に着陸する。ディフューザー 208 が利用不可能である／望ましくない、及び／または、スペックル生成器 202 が地面／着陸面（例えばパッド、空港、フィールド、庭、屋根など）に隣接して用いられているときには、スペックル生成器 202 は、地面／着陸面から離れて（例えば、ポスト、三脚、タワー、または他の高設構造物を用いて）配置されていてよく、疑似乱数のレーザスペックルパターン 308 を下向きに、地面／着陸面に向けて投影するように構成されていてよい。地面／着陸面は、接地ゾーンを特定するため、航空機 100 の光学的キャプチャ装置によってスキニング／トラッキングされてよい。ある態様では、スペックル生成器 202 は、Paduano らが共有している米国特許第 9,557,542 号（2017 年 1 月 31 日公開）で開示されている、自律式カーゴ送達システムと併用されてよい。

【0102】

スペックルパターンという用語は、高度にコヒーレントな（例えばレーザからの）光線が複雑な構造を持つ表面で拡散反射されたときに観察され得る、粒度の細かいパターンを指す。レーザスペックルを生成するのに使われるパターンがあらかじめ規定されているので、スペックルパターン 308 は、前もって固定され既知になっている。製造上の不確実性という制約によって、スペックルパターンはサンプルごとに異なっている可能性があり、パターンは、疑似乱数のパターンのままである。疑似乱数のレーザパターン 308 のサイズ及び形状は、線形不変のままであり、レーザ源からの距離に比例する。スペックル生成器 202 は、複数の近隣点 402 をランダムに選択した距離関係に基づいて、一意的に特定され得る疑似乱数のレーザスペックルパターン 308 を作成する。

【0103】

図 4a～図 4c は、3D スキャナ 112 からの広視野を用いた、例示のレーザスペックル処理技法を示す。レーザスペックル処理技法は、点群のレジストレーション及び／または航空機の位置同定に関連して使用されてよい。具体的には、図 4a は、3D スキャナ 112（またはカメラ 114）によってキャプチャされた、スペックル生成器 202 からの例示の疑似乱数のレーザスペックルパターン 308 を示す。疑似乱数のレーザスペックルパターン 308 の点 402 の検出を強化するため、プロセッサ 116 は、複数の画像処理技法を用いてよい。この目的のため、プロセッサ 116 は、画像セグメント化を使用して、疑似乱数のレーザスペックルパターン 308 のデジタル画像を、複数のセグメント（例えばセット）に分割し得る。例えば、プロセッサ 116 は、1 つ以上の画像閾値化技法を用いて、バイナリ画像（または他の高コントラスト画像）を生成してよい。バイナリ画像では、点は 1 色（例えば黒）であり、無特徴表面 206（またはディフューザー 208）の残りの部分は、対照的な第 2 の色（例えば白）である。

【0104】

スペックルパターン 400 を作成するため、疑似乱数のレーザスペックルパターン 308 の点 402 から、複数のランダムな最近隣点 402（例えば、約 4 個～20 個、より好ましくは約 6 個～14 個、最も好ましくは約 8 個～10 個）が選択される。スペックルパターン 400 の例は、図 4b で示されている。スペックルパターン 400 の点 402 間の距離は標準化されており、各点 402 の半径は測定可能である。例えば、プロセッサは、前記複数の点 402 のうちの少なくとも 1 つの直径を測定することによって、第 2 のレーザスペックルパターンの点のサイズを決定するか、及び／または、前記複数の点 402 のうちの少なくとも 2 つ（例えば 2 つの隣接する点 402）の間の距離を測定することによって、点の距離を決定するように、構成されていてよい。

【0105】

スペックルパターン 400 は、次に、最適なマッチングが特定されるまで、例えばルックアップテーブルを使って既知のスペックルパターン 404a、404b、404n のデ

ータベースと比較されてよい。既知のスペックルパターン404a、404b、404nは、航空機100のメモリ装置118、または別の（例えば遠隔装置130の）メモリ装置に記憶されていてよい。スペックルパターン400を抽出して既知のスペックルパターン404と比較するこの処理は、コンセンサスを生成するためにランダムな点402の種々のセットを使って繰り返されてよく、このプロセスは無作為標本コンセンサス（RAN SAC）と呼ばれ得る。

【0106】

図5a～図5dは、3Dスキャナ112の広視野に基づいて、地面に平行な平面内における航空機100の横位置を同定するための、例示のレーザスペックル処理技法を示す。具体的には、図5aは、グラウンドトゥールース（0，0）における疑似乱数のレーザスペックルパターン308を示しているが、図5b～図5dはそれぞれ、グラウンドトゥールース（0，-0.4）、グラウンドトゥールース（0.5，0）、及びグラウンドトゥールース（1.9，2）における疑似乱数のレーザスペックルパターン308を示している。スペックルパターン400を規定するために複数のランダムな最近隣点402が特定されると、それを受けて、航空機100のレーザスペックルの空（sky）に対する位置を同定するために、スペックルパターン400の横方向の中心が用いられ得る。具体的には、スペックル生成器202の位置が既知であるため、2次元（例えばX-Y）座標系平面内の疑似乱数のレーザスペックルパターン308の位置は、既知である。

【0107】

説明のため、グラウンドトゥールース（0，0）における疑似乱数のレーザスペックルパターン308が、所望の位置を表すと仮定する。この知識を用いて、航空機100は、グラウンドトゥールースが（0，0）から偏差を有しているときの航空機100の横位置を調整することができる。例えば、図5bは、航空機100の横位置がY軸に沿って横方向に0.4移動しており、したがってY軸に沿った-0.4の調整（即ち0，-0.4）が必要であることを示している。同様に、図5cは航空機100の横位置がX軸に沿って横に0.5移動しているのを示しており、一方で図5dは、航空機100の横位置がX軸に沿って1.9、Y軸に沿って2.0移動しており、したがって、それぞれ（0.5，0）及び（1.9，2）の横方向の調整は、当然である。

【0108】

図6a～図6cは、カメラ114からの画像に基づいた、スペックル生成器202に対する航空機100の縦位置の、例示的な位置同定プロセスを示す。即ち、点402間の距離と、半径によって、スペックル生成器202からのz方向の距離が与えられる。例えば、航空機100のスペックル生成器202からの距離が変化するにつれて、点402間の距離が直線的に変化することが予期されており、観察されてよい。同様に、各点402の半径は、航空機100とスペックル生成器202との距離に対して、直線的に変化するであろう。例示として、図6aは距離Aにおける疑似乱数のレーザスペックルパターン308を示し、一方、図6b及び図6cは、それぞれ距離2A（2倍の距離）及び距離0.5A（半分の距離）における疑似乱数のレーザスペックルパターンを示す。距離Aにおける直径及び点402間の間隔は、距離2Aと比べて2倍であり、距離0.5Aの場合の半分であった。

【0109】

光の発散により、点402のサイズは距離と共に増大する。実際、レーザビームのビーム発散角は、光が放出される光学的開口（例えばスペックル発生器202）からの距離に伴う、ビームの直径（または半径）の増大に関する角度の測定値である。しかし、疑似乱数のレーザスペックルパターン308が大きくなりすぎたとき（例えば図6b）や疑似乱数のレーザスペックルパターン308が小さすぎるとき（例えば図6c）には、距離の限界が生じ得る。しかし、図6bのシナリオでは、問題を軽減するために、疑似乱数のレーザスペックルパターン308をより近くの距離からトラッキングすることができるが、一方で図6cのシナリオでは、スペックルはセンサ上に良的に規定されておらず、「中心」として位置決めするために、（すべてのレーザ強度を平均した）単一の点が画像化され

10

20

30

40

50

得るのみである。しかしこれらの懸念は、必要に応じてレーザスペckルパターンを調整して焦点を合わせるかまたはぼかすために、レーザスペckル生成器上のレンズ318を調整することによって、軽減され得る。

【0110】

図7a～図7cは、点群をレジストレーションするための例示の技法を示す。示されるように、スペckル生成器202は、航空機100がZ軸に沿って（即ち上下に）飛行して無特徴表面206の縦方向の長さをスキャンする間に、疑似乱数のレーザスペckルパターン308を無特徴表面206上に投影する。

【0111】

図7aに示すように、航空機100は、無特徴表面206の第1の領域700aをスキャンし、3Dスキャナ112を介して第1の局所点群を生成する。第1の領域700aが完了すると、図7bに示すように、航空機100はZ方向へ無特徴表面206に沿って進み、無特徴表面206の第2の領域700bをスキャンし、3Dスキャナ112を介して第2の局所点群を生成する。第2の領域700bが完了すると、図7cに示すように、航空機100はZ方向へ無特徴表面206に沿って進み、無特徴表面206の第3の領域700cをスキャンし、3Dスキャナ112を介して第3の局所点群を生成する。無特徴表面206の全体がスキャンされるまで、航空機100は、各領域に対してこのプロセスを繰り返してよい。

【0112】

確実に無特徴表面206の全ての部分をスキャンするために、連続してスキャンされた様々な領域は、少なくとも部分的に重なり合っていてよい。例えば、第1の領域700aは、第2の領域700bと少なくとも部分的に重なり合っていてよく、一方で第2の領域700bは、第3の領域700cと少なくとも部分的に重なり合っていてよい。航空機100は、第1、第2、第3の領域700a、700b、700cのそれぞれと少なくとも部分的に重なり合っている疑似乱数のレーザスペckルパターン308を使って、3Dスキャナ112からの第1、第2、及び第3の点群をレジストレーションし、完成した3Dモデルを形成してよい。実際、航空機100は、1つ以上の3Dスキャナ112を介して、同じ領域（例えば第1の領域700a）の違う角度からの複数のビューをキャプチャしてよい。この場合、それぞれのビューが点群を有する。図7a～図7cは単一の3Dスキャナ112を使用して描かれているが、同一の領域を（例えばやや異なるアングルから）スキャンするスキャンングプロセスを通じて、または無特徴表面206に隣接していてよい第2の無特徴表面をスキャンするスキャンングプロセスを通じて、複数の3Dスキャナ112が使用されてよい。例えば、第1の領域700aをスキャンするのに単一の3Dスキャナ112が使用されているときには、3Dスキャナ112は、枢動するかまたはジンバルを使用して別様に調整し、第1の領域700aの第2のビューをキャプチャしてよい。複数の3Dスキャナ112が使用されているときには、各3Dスキャナ112は、第1の領域700aの別々の角度からのビューを同時にキャプチャしてよい。

【0113】

航空機100は、スキャン処理中に1つ以上のスキャン飛行パターンを辿ってよい。図8a～図8dは、16個の領域700に分割された、例示の無特徴表面206を示す。16個の領域700のそれぞれをスキャンするために、航空機100は、1つ以上のスキャン経路を用いてよい。例えば航空機100は、（例えば図8aの垂直スキャン経路800aによって示されているように）一連の垂直領域として、（例えば図8bの水平スキャン経路800bによって示されているように）一連の水平領域として、（例えば図8cの螺旋スキャン経路800cによって示されているように）一連の螺旋領域として、または図8dのハイブリッドスキャン経路800dによって示されているようにこれらの組み合わせとして、無特徴表面206をスキャンしてよい。

【0114】

スキャン処理中、3Dスキャナ112は、1つ以上の光源と、2つの異なるモードを持った1つ以上のイメージャーとを、用いてよい。実施の際、3Dスキャナ112は、無特

10

20

30

40

50

徴表面 206 のある領域をイメージャー上で可視化して所与の領域に関する局所点群を生成するため、3D スキャナ 112 からの構造化された光を投影する。次に、3D スキャナ 112 は 3D スキャナ 112 からの構造化された光をオフにして、疑似乱数のレーザスペckルパターン 308 を可視化し、時間的に近接した（または空間的に近接した）キャプチャした点群間の、基準による結びつきを決定してよい。例えば、3D スキャナ 112 は、第 1 の点群を生成するために第 1 の領域をスキャンしてから、次に第 2 の点群を生成するために第 2 の領域のスキャンに進んでよい。航空機 100 は、基準による結びつきに基づいて、キャプチャした点群の（例えば第 1 の点群の第 2 の点群に対する）概略的なレジストレーションを実施してよい。航空機 100 は、プロセッサは、2 つの点群間の差異を最小化するための 1 つ以上のアルゴリズムを用いて、キャプチャした点群に関する精細なレジストレーションを実施してよい。例えば、航空機 100 は、複数の異なる点群から 2D または 3D の表面を再構成し、航空機 100 の位置を同定し、航空機 100 の最適なスキャン経路のプランニングを実現する、逐次近傍点（ICP）アルゴリズムを実施してよい。

10

【0115】

図 9 は、例示のスキャン処理 900 を示す。スキャン処理 900 は、（例えばスキャン用ソフトウェアの開始後に）ステップ 902 でスタートする。ステップ 904 では、3D スキャナ 112 は、3D スキャナ 112 から構造化された光を投影し、無特徴表面 206 の第 1 の領域 700a をイメージャー上で可視化する。

【0116】

20

ステップ 906 では、プロセッサ 116 は、第 1 の領域 700a に関連づけられた第 1 の局所点群を生成する。ステップ 908 では、3D スキャナ 112 は、3D スキャナ 112 からの構造化された光をオフにする。ステップ 910 では、プロセッサ 116 は、疑似乱数のレーザスペckルパターン 308 を可視化する。ステップ 912 では、プロセッサ 116 は、時間的に近接した（または空間的に近接した）キャプチャされた点群間の、基準による結びつきを決定する。時間的に近接した（または空間的に近接した）点群が過去にキャプチャされていない場合、ステップ 912 ~ 916 は迂回され、スキャン処理 900 はステップ 918 に進む。

【0117】

ステップ 914 では、プロセッサ 116 は、ステップ 912 で決定した基準による結びつきに少なくとも部分的に基づいて、キャプチャした点群の概略的なレジストレーションを実施する。ステップ 916 では、プロセッサ 116 は、2 つの点群間の差異を最小化するための 1 つ以上のアルゴリズム（例えば ICP アルゴリズム）を用いて、キャプチャした点群に関する精細なレジストレーションを実施する。

30

【0118】

ステップ 918 では、プロセッサ 116 が、スキャン処理 900 を終了すべきかどうかを判定する。スキャン処理 900 は、スキャン処理が完了したとき（即ち、全ての領域がキャンセルされたとき）、エラーが検出されたとき、オペレータがコメントしたとき（例えば、中止指示のとき）などに、終了してよい。

【0119】

40

スキャン処理 900 が終了する際には、スキャン処理 900 はステップ 922 に進む。ステップ 922 では、リセットまたはリスタートされるまでの間、スキャン処理は打ち切られている。そうでない場合には、スキャン処理 900 はステップ 920 に進み、後続する領域（例えば、後続する時間的に近接したまたは空間的に近接した領域）をスキャンする。ステップ 920 で、航空機 100 は次のスキャン領域へと航行する。例えば、プロセッサ 116 は、フライトコントローラ 120 に、航空機 100 を現在の位置から、後続する領域をスキャンするための後続する位置まで航行させるように、命令してよい。

【0120】

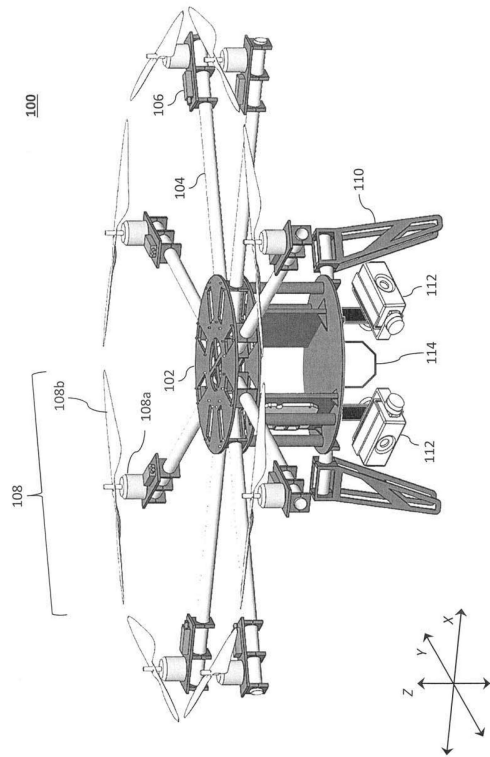
上記の特許及び特許公報は、参照によりその全体が本願に組み込まれる。参照により本願に組み込まれる参照文書内の用語の定義または用法が、本書で使用される用語の定義ま

50

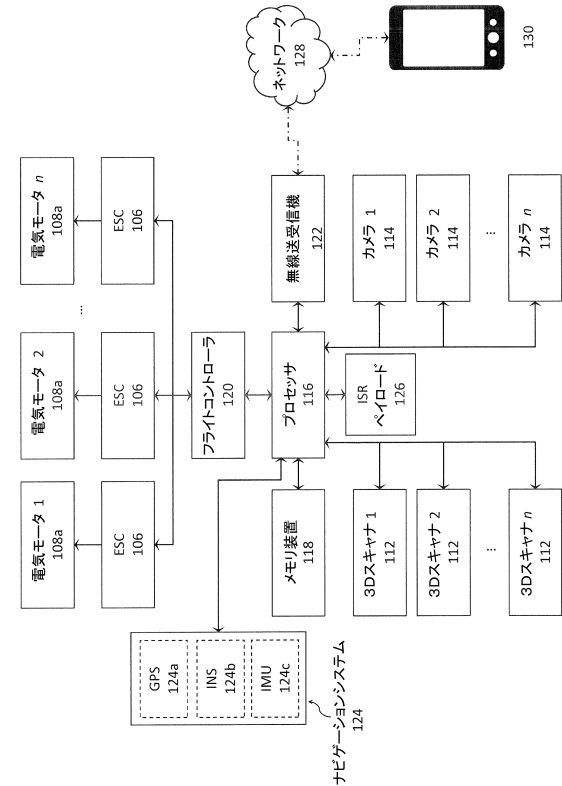
たは理解と不整合である場合または相容れない場合には、本書で使用される用語の意味によるものとし、参考文献におけるその用語の定義は必ずしも当てはまらないものとする。具体的な部品の構成や特徴などを参照して、様々な実施形態が記載されてきたが、これらはすべての可能な構成や特徴を網羅することを意図しておらず、当業者には、多くの他の実施形態、修正形態、及び変形形態が特定可能であろう。したがって、本教示の開示が、本書に具体的に記載されている以外の態様で実施され得ることは、理解すべきである。

【図面】

【図 1 a】



【図 1 b】



10

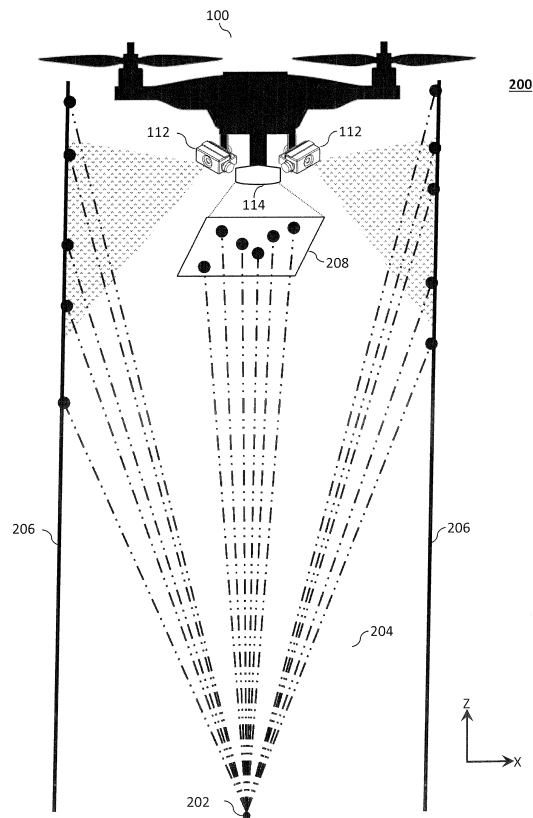
20

30

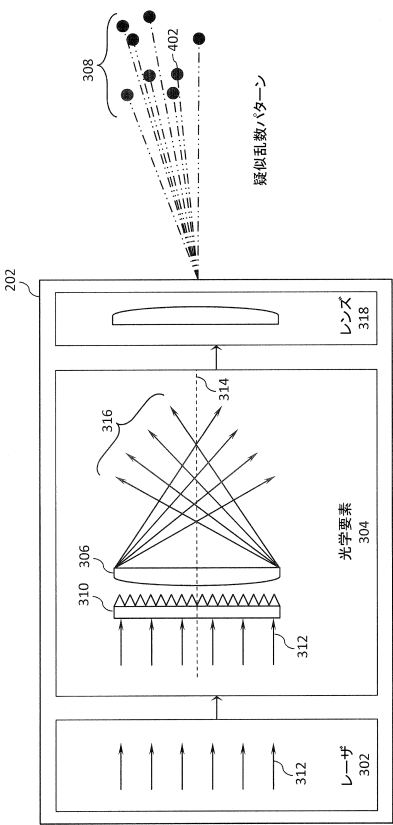
40

50

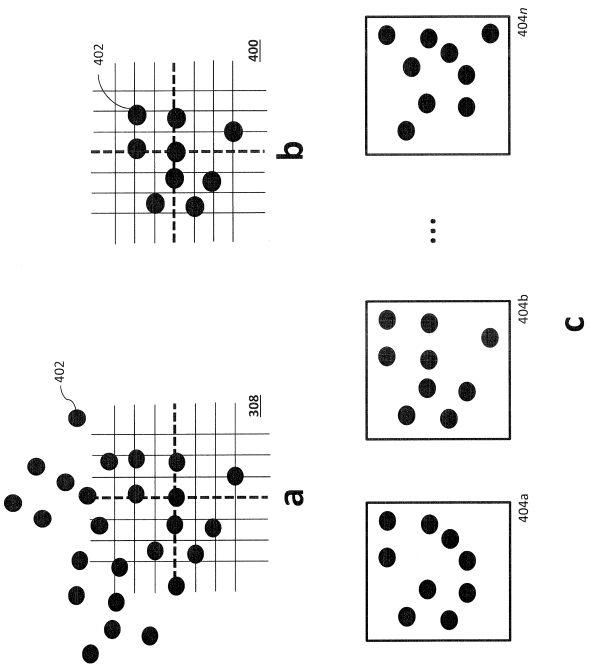
【図 2】



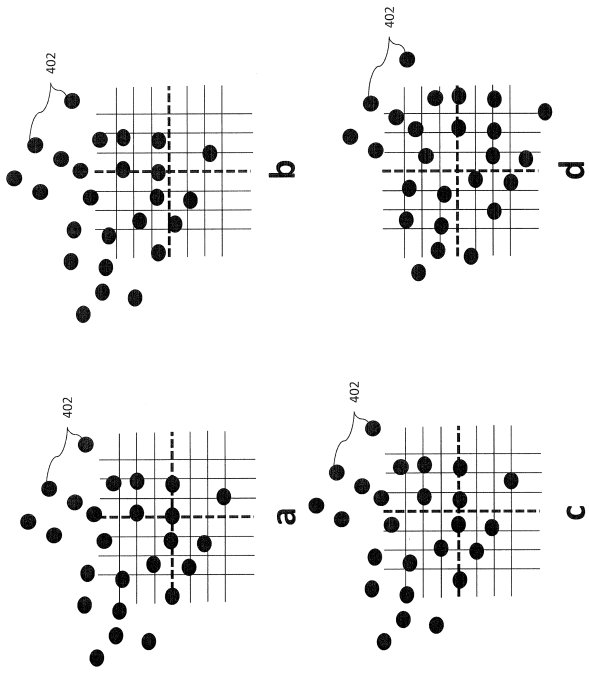
【図 3】



【図 4】



【図 5】



10

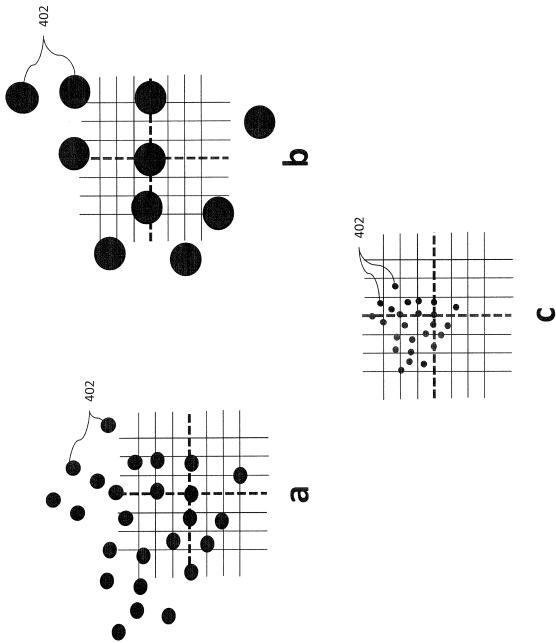
20

30

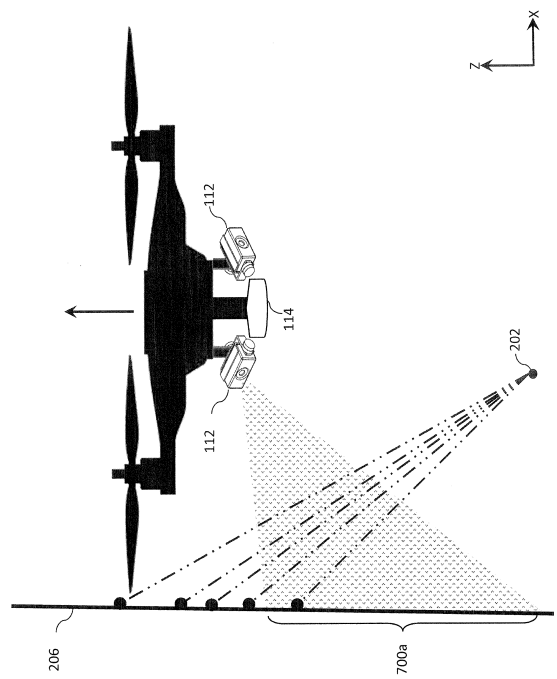
40

50

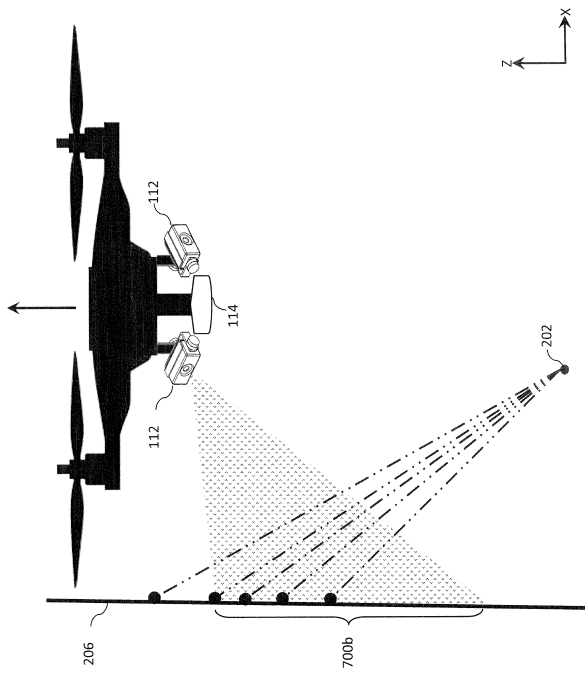
【図 6】



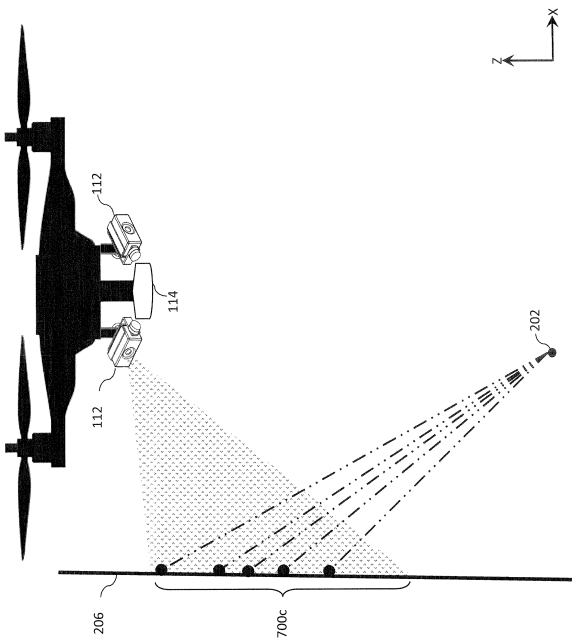
【図 7 a】



【図 7 b】



【図 7 c】



10

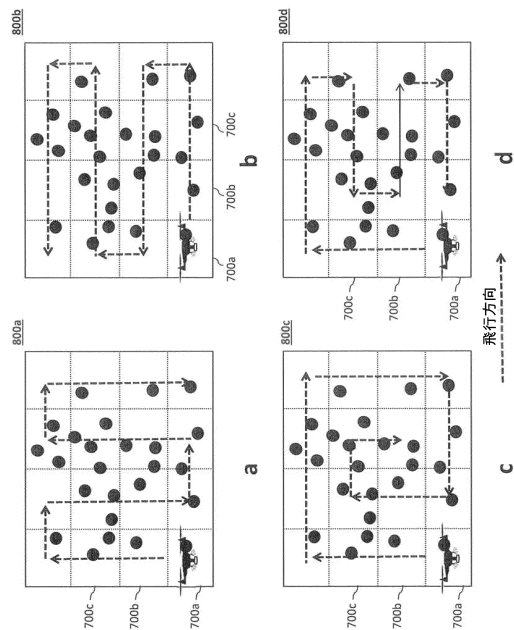
20

30

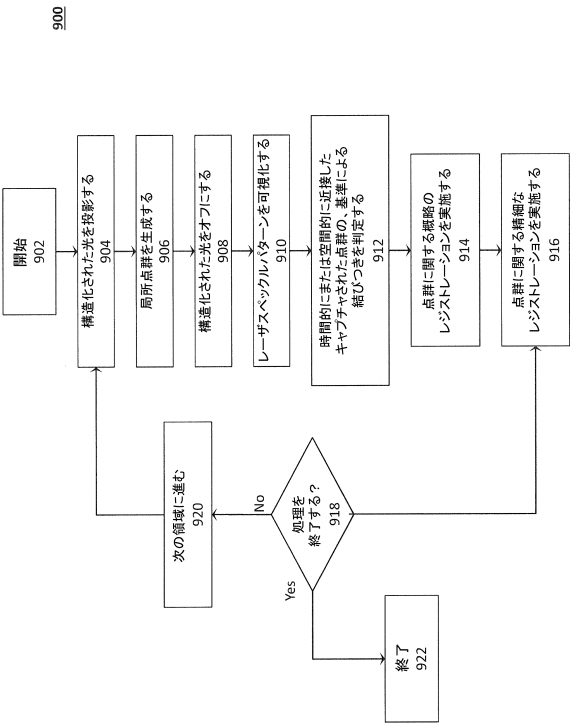
40

50

【図 8】



【図 9】



フロントページの続き

審査官 續山 浩二

- (56)参考文献 特開 2008-145431 (JP, A)
特開 2001-066123 (JP, A)
米国特許出願公開第 2017/0067734 (US, A1)
国際公開第 2016/059930 (WO, A1)
中国特許出願公開第 105046746 (CN, A)
中国特許出願公開第 104062977 (CN, A)
特開 2015-184056 (JP, A)
国際公開第 2014/014341 (WO, A1)
米国特許出願公開第 2008/0101688 (US, A1)
- (58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)
G01B 11/00
B64D 45/00