

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7436657号
(P7436657)

(45)発行日 令和6年2月21日(2024.2.21)

(24)登録日 令和6年2月13日(2024.2.13)

(51)国際特許分類

F I

G 0 1 N	22/00	(2006.01)	G 0 1 N	22/00	S
G 0 1 S	13/89	(2006.01)	G 0 1 S	13/89	
B 6 4 C	37/02	(2006.01)	B 6 4 C	37/02	
B 6 4 D	47/08	(2006.01)	B 6 4 D	47/08	
B 6 4 C	27/08	(2023.01)	B 6 4 C	27/08	

請求項の数 10 (全22頁)

(21)出願番号 特願2022-526553(P2022-526553)
 (86)(22)出願日 令和3年5月25日(2021.5.25)
 (86)国際出願番号 PCT/JP2021/019701
 (87)国際公開番号 WO2021/241534
 (87)国際公開日 令和3年12月2日(2021.12.2)
 審査請求日 令和5年1月31日(2023.1.31)
 (31)優先権主張番号 特願2020-94326(P2020-94326)
 (32)優先日 令和2年5月29日(2020.5.29)
 (33)優先権主張国・地域又は機関
 日本国(JP)

(73)特許権者 306037311
 富士フイルム株式会社
 東京都港区西麻布2丁目26番30号
 (74)代理人 100083116
 弁理士 松浦 憲三
 (74)代理人 100170069
 弁理士 大原 一樹
 (74)代理人 100128635
 弁理士 松村 潔
 (74)代理人 100140992
 弁理士 松浦 憲政
 (72)発明者 笠松 直史
 神奈川県足柄上郡開成町牛島577番地
 富士フイルム株式会社内
 (72)発明者 二瓶 靖和

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 飛行撮影システム及び方法

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

可視画像を撮影する可視カメラと、
 第1のミリ波レーダと、
 レーザ距離計と、
 基準面が前記レーザ距離計で検出困難な面であるか否かを検知する基準面検知部と、
 前記可視カメラ、前記第1のミリ波レーダ、前記レーザ距離計及び前記基準面検知部を
 搭載した無人飛行体と、

前記可視カメラ、前記第1のミリ波レーダ、前記レーザ距離計、前記基準面検知部及び
 前記無人飛行体を制御するプロセッサと、を備え、

前記プロセッサは、

構造物を撮影する場合に、前記可視カメラにより前記構造物の表層の可視画像を撮影さ
 せる前記可視カメラの制御と、前記第1のミリ波レーダから前記構造物に向けてミリ波を
 送信させ、前記構造物からの前記ミリ波の反射波を受信させる前記第1のミリ波レーダの
 制御とを行い、

前記無人飛行体の飛行中に、前記基準面が前記レーザ距離計で検出困難な面でないこと
 を前記基準面検知部により検知した場合には、前記レーザ距離計により前記基準面からの
 前記無人飛行体の高度を計測させ、前記基準面が前記レーザ距離計で検出困難な面である
 ことを前記基準面検知部により検知した場合には、前記レーザ距離計で検出可能な面を新
 たな基準面として設定し、前記レーザ距離計により前記新たな基準面からの前記無人飛行

体の高度を計測させ、前記計測させた高度を示す高度情報を取得する処理を行い、
前記高度情報は、前記無人飛行体を飛行させる場合に使用される、
飛行撮影システム。

【請求項 2】

前記レーザ距離計は、前記無人飛行体から前記構造物までの距離を更に計測する、
請求項 1 に記載の飛行撮影システム。

【請求項 3】

前記検出困難な基準面は、水面である、
請求項 1 または 2 に記載の飛行撮影システム。

【請求項 4】

前記新たな基準面は、前記無人飛行体の鉛直下方向以外の方向に存在する地面である、
請求項 1 から 3 のいずれか 1 項に記載の飛行撮影システム。

【請求項 5】

前記基準面検知部は、第 2 のミリ波レーダである、
請求項 1 から 4 のいずれか 1 項に記載の飛行撮影システム。

【請求項 6】

前記第 1 のミリ波レーダは、前記第 2 のミリ波レーダとして兼用され、
前記プロセッサは、構造物を撮影する場合に前記第 1 のミリ波レーダを前記構造物の方向に向け、前記無人飛行体の飛行中に前記第 1 のミリ波レーダを下方向に向ける、
請求項 5 に記載の飛行撮影システム。

【請求項 7】

前記プロセッサは、前記構造物を撮影する場合に、前記第 1 のミリ波レーダが受信する前記構造物からの前記ミリ波の反射波に基づいて、前記構造物の内部を示すミリ波画像を生成するミリ波画像生成処理を行う、
請求項 1 から 6 のいずれか 1 項に記載の飛行撮影システム。

【請求項 8】

前記可視カメラにより撮影される前記構造物の表層の可視画像の第 1 の撮影範囲と、前記生成される前記ミリ波画像の第 2 の撮影範囲との関係を記憶するメモリを備え、
前記プロセッサは、前記メモリに記憶された前記第 1 の撮影範囲と前記第 2 の撮影範囲との関係に基づいて、前記可視画像に前記ミリ波画像を合成する合成処理を行う、
請求項 7 に記載の飛行撮影システム。

【請求項 9】

前記構造物は、コンクリート構造物であり、
前記ミリ波画像は、前記コンクリート構造物の内部欠陥を示す画像である、
請求項 7 又は 8 に記載の飛行撮影システム。

【請求項 10】

可視画像を撮影する可視カメラと、第 1 のミリ波レーダと、レーザ距離計と、基準面が前記レーザ距離計で検出困難な面であるか否かを検知する基準面検知部と、を搭載した無人飛行体による撮影及び飛行をプロセッサにより制御する飛行撮影方法であって、
前記プロセッサの各処理は、

構造物を撮影する場合に、前記可視カメラにより前記構造物の表層の可視画像を撮影させるステップと、前記第 1 のミリ波レーダから前記構造物に向けてミリ波を送信させ、前記構造物からの前記ミリ波の反射波を受信させるステップと、

前記無人飛行体の飛行中に、前記基準面が前記レーザ距離計で検出困難な面でないことを前記基準面検知部により検知した場合には、前記レーザ距離計により前記基準面からの前記無人飛行体の高度を計測させ、前記基準面が前記レーザ距離計で検出困難な面であることを前記基準面検知部により検知した場合には、前記レーザ距離計で検出可能な面を新たな基準面として設定し、前記レーザ距離計により前記新たな基準面からの前記無人飛行体の高度を計測させ、前記計測させた高度を示す高度情報を取得するステップと、を含み、
前記高度情報は、前記無人飛行体を飛行させる場合に使用される、

10

20

30

40

50

飛行撮影方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は飛行撮影システム及び方法に係り、特に飛行しながら構造物を撮影する技術に関する。

【背景技術】

【0002】

従来、ドローンなどの飛行装置に搭載されたカメラで、上下方向に長尺な構造物（鉄塔、タワー、高層建造物等）を撮像する撮像システムが提案されている（特許文献1）。

10

【0003】

特許文献1に記載の撮像システムは、飛行装置が自律的に構造物の上下方向の一方から他方に移動しながら構造物をカメラで撮像する撮像ステップを実行する飛行制御部を備え、飛行装置の高さ位置が所定位置（周辺構造物の高さ位置に基づいて設定される下降下限位置）に達すると、下降を制限する飛行制御を行うようにしている。

【0004】

一方、特許文献2には、構造物表面に存在する凹凸構造の影響を極力回避し、構造物に生じた劣化箇所をより高い精度で透視する、ミリ波帯の電磁波イメージングシステムが記載されている。

【0005】

20

特許文献2に記載の電磁波イメージングシステムは、構造物表面の画像を撮像する画像撮像装置、ミリ波帯の電磁波を構造物に照射する電磁波発生装置、ミリ波帯の電磁波の反射波を検知する1次元検波器アレイ、及び移動距離を計測する距離センサ等を備え、1次元検波器アレイが検出した反射波の強度、及び距離センサが計測した移動距離に基づいて構造物の透視イメージを生成している。

【0006】

特に、コンクリート構造物の表面に凹凸を有する表層カバーが設けられている場合に、表層カバーの凹凸の程度に応じたミリ波帯の電磁波の周波数を特定し、特定した周波数のミリ波帯の電磁波を使用することで、表層カバーの凹凸にかかわらず、表層カバーにより覆われているコンクリート構造物の透視イメージを生成することを特徴としている。尚、表層カバーの凹凸の程度は、画像撮像装置で撮影した構造物表面の画像を分析して求めている。

30

【先行技術文献】

【特許文献】

【0007】

【文献】特開2020-71863号公報

【文献】特開2007-183227号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0008】

40

特許文献1に記載の撮影システムは、飛行装置に搭載したカメラで構造物を撮影するが、構造物の情報を取得するために、ミリ波レーダを使用する記載はない。

【0009】

また、特許文献2に記載の電磁波イメージングシステムは、ミリ波帯の電磁波を使用して構造物の情報を取得する記載があるが、片手で操作可能な大きさのハンディ型装置であり、構造物の表面に沿って手で移動させられるものである。

【0010】

本発明はこのような事情に鑑みてなされたもので、可視カメラ及びミリ波レーダを搭載した無人飛行体を使用し、この無人飛行体に搭載した可視カメラ及びミリ波レーダにより構造物を撮影する場合に好適な飛行撮影システム及び方法を提供することを目的とする。

50

【課題を解決するための手段】**【0011】**

上記目的を達成するために本発明の第1態様に係る飛行撮影システムは、可視画像を撮影する可視カメラと、第1のミリ波レーダと、可視カメラ及び第1のミリ波レーダを搭載した無人飛行体と、可視カメラ、第1のミリ波レーダ及び無人飛行体を制御するプロセッサと、を備え、プロセッサは、構造物を撮影する場合に、可視カメラにより構造物の表層の可視画像を撮影させる可視カメラの制御と、第1のミリ波レーダから構造物に向けてミリ波を送信させ、構造物からのミリ波の反射波を受信させる第1のミリ波レーダの制御とを行い、無人飛行体の飛行中に、無人飛行体に搭載した高度計測器により基準面からの無人飛行体の高度を計測させ、計測させた高度を示す高度情報を取得する処理を行い、高度情報は、無人飛行体を飛行させる場合に使用される。

10

【0012】

本発明の第1態様によれば、可視カメラ及び第1のミリ波レーダを搭載した無人飛行体を使用することで、構造物を撮影する場合には、無人飛行体に搭載した可視カメラによる構造物の可視画像と第1のミリ波レーダによる構造物に対する情報を取得することができる。また、無人飛行体の飛行中には、無人飛行体に搭載した高度計測器により基準面からの無人飛行体の高度を計測し、無人飛行体の飛行制御に使用することができる。

【0013】

本発明の第2態様に係る飛行撮影システムにおいて、高度計測器は、レーザ距離計であることが好ましい。レーザ距離計は、ミリ波レーダと比較して計測精度が高いからである。

20

【0014】

本発明の第3態様に係る飛行撮影システムにおいて、レーザ距離計は、無人飛行体から構造物までの距離を更に計測することが好ましい。この計測した距離は、構造物に対して無人飛行体を所望の距離（撮影距離）に位置させる場合に使用することができる。

【0015】

本発明の第4態様に係る飛行撮影システムにおいて、基準面がレーザ距離計で検出困難な基準面であるか否かを検知する基準面検知部を備え、レーザ距離計は、基準面がレーザ距離計で検出困難な面の場合には、レーザ距離計で検出可能な新たに設定した基準面を基準面として無人飛行体の高度を計測することが好ましい。

【0016】

本発明の第5態様に係る飛行撮影システムにおいて、検出困難な基準面は、水面である。

30

【0017】

本発明の第6態様に係る飛行撮影システムにおいて、新たに設定した基準面は、無人飛行体の鉛直下方向以外の方向に存在する地面である。

【0018】

本発明の第7態様に係る飛行撮影システムにおいて、基準面検知部は、第2のミリ波レーダであることが好ましい。

【0019】

本発明の第8態様に係る飛行撮影システムにおいて、第1のミリ波レーダは、第2のミリ波レーダとして兼用され、プロセッサは、構造物を撮影する場合に第1のミリ波レーダを構造物の方向に向け、無人飛行体の飛行中に第1のミリ波レーダを下方向に向けることが好ましい。

40

【0020】

本発明の第9態様に係る飛行撮影システムにおいて、プロセッサは、構造物を撮影する場合に、第1のミリ波レーダが受信する構造物からのミリ波の反射波に基づいて、構造物の内部を示すミリ波画像を生成するミリ波画像生成処理を行うことが好ましい。

【0021】

本発明の第10態様に係る飛行撮影システムにおいて、可視カメラにより撮影される構造物の表層の可視画像の第1の撮影範囲と、生成されるミリ波画像の第2の撮影範囲との関係を記憶するメモリを備え、プロセッサは、メモリに記憶された第1の撮影範囲と第2

50

の撮影範囲との関係に基づいて、可視画像にミリ波画像を合成する合成処理を行うことが好ましい。

【0022】

本発明の第1態様に係る飛行撮影システムにおいて、構造物は、コンクリート構造物であり、ミリ波画像は、コンクリート構造物の内部欠陥を示す画像である。

【0023】

第12態様に係る発明は、可視カメラ及び第1のミリ波レーダを搭載した無人飛行体による撮影及び飛行をプロセッサにより制御する飛行撮影方法であって、プロセッサの各処理は、構造物を撮影する場合に、可視カメラにより構造物の表層の可視画像を撮影させるステップと、第1のミリ波レーダから構造物に向けてミリ波を送信させ、構造物からのミリ波の反射波を受信させるステップと、を含み、無人飛行体の飛行中に、無人飛行体に搭載した高度計測器により基準面からの無人飛行体の高度を計測させ、計測させた高度を示す高度情報を取得するステップを含み、高度情報は、無人飛行体を飛行させる場合に使用される。

10

【発明の効果】

【0024】

本発明によれば、可視カメラ及び第1のミリ波レーダを搭載した無人飛行体を使用することで、構造物を撮影する場合には、無人飛行体に搭載した可視カメラによる構造物の可視画像と第1のミリ波レーダによる構造物に対する情報を取得することができる。また、無人飛行体の飛行中には、無人飛行体に搭載した高度計測器により基準面からの無人飛行体の高度を計測し、無人飛行体の飛行制御に使用することができる。

20

【図面の簡単な説明】

【0025】

【図1】図1は、本発明に係る飛行撮影システムの概略構成を示す図である。

【図2】図2は、本発明に係る飛行撮影システムの第1実施形態の概要を示す図であり、飛行時のドローンの状態を示す図である。

【図3】図3は、本発明に係る飛行撮影システムの第1実施形態の概要を示す図であり、撮影時のドローンの状態を示す図である。

【図4】図4は、可視画像とミリ波画像との関係を示す図である。

【図5】図5は、複数の距離と各距離におけるミリ波画像の4点の座標との関係を示すテーブルである。

30

【図6】図6は、ミリ波画像のある画素位置におけるミリ波の反射強度と距離との関係を模式的に示した図である。

【図7】図7は、可視画像と内部欠陥を示すミリ波画像との関係を示す図である。

【図8】図8は、本発明に係る飛行撮影システムの第2実施形態の概要を示す図である。

【図9】図9は、本発明に係る飛行撮影システムの第3実施形態の概要を示す図であり、飛行時のドローンの状態を示す図である。

【図10】図10は、本発明に係る飛行撮影システムの第3実施形態の概要を示す図であり、撮影時のドローンの状態を示す図である。

【図11】図11は、本発明に係る飛行撮影システムのハードウェア構成の実施形態を示すブロック図である。

40

【図12】図12は、本発明に係る飛行撮影システムに適用されるサーバの実施形態を示すブロック図である。

【図13】図13は、図12に示したサーバの機能を示す機能ブロック図である。

【図14】図14は、本発明に係る飛行撮影方法の実施形態を示すフローチャートである。

【発明を実施するための形態】

【0026】

以下、添付図面に従って本発明に係る飛行撮影システム及び方法の好ましい実施形態について説明する。

【0027】

50

〔本発明の概要〕

図 1 は、本発明に係る飛行撮影システムの概略構成を示す図である。

【0028】

図 1 に示す飛行撮影システム 1 は、無人飛行体であるドローン 100、リモートコントローラ 200、ユーザ端末 300、及びサーバ 400 から構成されている。ユーザ端末 300 は、サーバ 400 との間で通信可能な PC (Personal Computer) (ノート PC、タブレット PC)、スマートフォン等が考えられる。

【0029】

図 2 は、飛行中のドローンの状態を示す図であり、図 3 は、ドローンに搭載した可視カメラ等により構造物を撮影する撮影時のドローンの状態を示す図である。図 2 及び図 3 に示すようにドローン 100 には、可視カメラ 120 及びミリ波レーダ (第 1 のミリ波レーダ) 130 が搭載されている。

10

【0030】

この飛行撮影システム 1 は、ドローン 100 で各撮影ポイントに順次移動し、各撮影ポイントで構造物を可視カメラ 120 で撮影し、構造物の表層の可視画像を取得し、また、可視画像に対応するミリ波画像を取得するために、各撮影ポイントでミリ波レーダ 130 から構造物に向けてミリ波を送信し、構造物からのミリ波の反射波を受信するものである。

【0031】

構造物からのミリ波の反射波は、構造物の表面で反射するが、一部は構造物の表面から一定の距離 (例えば、数 cm) まで到達するため、ミリ波エリアから受信されるミリ波受信データは、構造物の表面から一定の距離までの 3 次元情報を含む。本例では、ミリ波受信データを取得することを、ミリ波レーダによるミリ波画像の撮影ともいう。

20

【0032】

図 2 及び図 3 に示す構造物 10 は、橋梁、トンネル等の社会インフラ構造物、及び建造物である。

【0033】

ドローン 100 は、例えば、予め決定した飛行ルートに沿って自律飛行し、又はリモートコントローラ 200 からの指示を受けて半自律飛行する。飛行ルートは、構造物の各撮影ポイントを最短経路で結ぶように設計することが好ましい。

【0034】

各撮影ポイントで撮影された可視画像及びミリ波画像は、全ての撮影ポイントでの撮影終了後にドローン 100 からユーザ端末 300 を介してサーバ 400 に送信される。ドローン 100 からユーザ端末 300 への可視画像及びミリ波画像のデータの引き渡しは、可視画像及びミリ波画像が記録されたメモリカード 150 により行い、あるいはドローン 100 とユーザ端末 300 との間を USB (Universal Serial Bus) ケーブル) で接続し、又は近距離無線で接続して行うことができる。

30

【0035】

<第 1 実施形態>

図 2 及び図 3 は、本発明に係る飛行撮影システムの第 1 実施形態の概要を示す図であり、図 2 は、飛行時のドローンの状態を示し、図 3 は、撮影時のドローンの状態を示している。

40

【0036】

〔飛行時〕

図 2 に示すミリ波レーダ 130 は、ミリ波レーダ 130 の全体、又は一部 (例えば、送受信モジュール) がドローン 100 に対して回転 (チルト) できるように構成されている。

【0037】

ドローン 100 の飛行中は、ミリ波レーダ 130 を下方向に向ける。即ち、ミリ波レーダ 130 は、ミリ波レーダ 130 からのミリ波の送受信方向が、ドローン 100 の下方向になるようにミリ波レーダ 130 の回転角度が制御される。

【0038】

50

尚、本例では、可視カメラ120とミリ波レーダ130とは一体化され、同時に回転角度が制御されるが、個別に回転角度が制御できるように構成してもよい。また、ドローン100の「飛行時」又は「飛行中」とは、ドローン100が空中を移動している場合の飛行、及びドローン100が空中で静止する静止飛行（ホバリング）を含むものとする。

【0039】

ミリ波レーダ130は、例えば、ビーム切換方式、フェーズドアレー方式、デジタルビーム形成方式等の種々のものを適用することができる。

【0040】

ビーム切換方式は、指向方向が少しずつ異なるビーム幅の狭い固定ビームを複数形成し、電氣的に時分割で固定ビームを切り換える方式である。

【0041】

フェーズドアレー方式は、複数の素子アンテナを一定の間隔に配置してなるフェーズドアレーアンテナを使用し、複数の素子アンテナに接続された位相器で信号の位相を制御することによりビームを高周波数帯で形成して走査する方式である。

【0042】

デジタルビーム形成方式は、フェーズドアレー方式と同様にフェーズドアレーアンテナを使用し、複数の素子アンテナで受信される信号を受信内で検波してベースバンド信号に変換し、これをデジタル信号に変換した後、信号処理演算によりビームを形成する方式である。この方式は、受信信号の波形情報を数値データとして記憶するため、演算により様々な特性、形状をもつビーム等を形成することができる。

【0043】

ミリ波レーダ130は、ミリ波レーダ130からのミリ波の送受信方向が、ドローン100の下方向になるように制御される場合、地面又は水面の基準面20上のミリ波エリア（ミリ波が送受信されるエリア）134内で距離を計測することができる。ミリ波エリア134内で計測した距離のうちの最短距離は、ドローン100の基準面20から高さ（高度）である。

【0044】

本発明に係る飛行撮影システムの第1実施形では、ドローン100の飛行中のミリ波レーダ130は高度計測器として機能し、ドローン100の高度を計測する。計測した高度を示す高度情報は、ドローン100を飛行（自律飛行、又は半自律飛行）させる場合の情報として使用する。

【0045】

尚、一般にドローンには、GPS(Global Positioning System)モジュールが搭載されており、GPSモジュールは、複数のGPS衛星から送信されるGPS信号を受信し、受信した複数のGPS信号に基づく測位演算処理を実行し、GPSモジュールの緯度、経度、及び高度からなる位置情報を検出することができる。

【0046】

しかしながら、GPSモジュールは、トンネル内、橋梁の下のようにGPS信号を受信することができない場所では、位置情報（高度情報）を取得できないという欠点がある。

【0047】

これに対し、ドローン100に搭載したミリ波レーダ130によれば、いかなる環境下でもドローン100の高度を計測することができ、計測した高度をドローン100の自律飛行等に使用することができる。

【0048】

〔撮影時〕

可視カメラ120は、可視カメラ120の全体、又は一部（例えば、レンズ及びイメージセンサを含む撮像部）がドローン100に対して回転（チルト）できるように構成されている。

【0049】

図3に示すようにドローン100による撮影時は、ドローン100は、空中で静止する

10

20

30

40

50

ホバリングに遷移する。ホバリング中は、ドローン 100 に搭載されているジャイロセンサ及び加速度センサ等のセンサ出力に基づいて、ドローン 100 の位置及び姿勢が保持されるように制御される。尚、ドローン 100 の静止中、ドローン 100 の高度は、ミリ波レーダ 130 により計測された高度情報に基づいて所望の高度になる制御されている。

【0050】

また、ドローン 100 の静止中は、可視カメラ 120 の撮影方向が構造物 10 の方向になるように、可視カメラ 120 の回転角度が制御される。同様に、ミリ波レーダ 130 からのミリ波の送受信方向が、構造物 10 の方向になるようにミリ波レーダ 130 の回転角度が制御される。

【0051】

この場合、可視カメラ 120 及びミリ波レーダ 130 は、構造物 10 と正対するように回転制御することが好ましい。

【0052】

その後、ドローン 100 は、ユーザ操作によりリモートコントローラ 200 から撮影指示を受信すると、又はドローン 100 が静止して撮影可能な状態になると自動的に、可視カメラ 120 により構造物 10 の表層の可視画像を撮影させ、また、ミリ波レーダ 130 から構造物 10 に向けてミリ波を送信させ、構造物 10 からのミリ波の反射波を受信させ、ミリ波受信データを取得する。

【0053】

<可視画像とミリ波画像との関係>

図 4 は、可視画像とミリ波画像との関係を示す図である。

【0054】

図 4 において、124 は、可視画像に対応する第 1 の撮影範囲（可視画像エリア）124 を示し、134 は、ミリ波画像に対応する第 2 の撮影範囲（ミリ波エリア）を示す。

【0055】

図 4 に示すように可視画像エリア 124 を特定する x y 座標系（可視カメラ 120 のイメージセンサの座標系）において、予めミリ波エリア 134 の 4 点 A, B, C, D の座標（ $A(x_1(d), y_1(d))$, $B(x_2(d), y_2(d))$, $C(x_3(d), y_3(d))$, $D(x_4(d), y_4(d))$ ）を求めておく。例えば、予め工場で、ある距離 d でのミリ波画像の 4 点が、可視画像内のどの位置に対応するかを計測する。ミリ波が強く反射するアルミ金属板を、可視画像の撮影エリア内に配置し、アルミ金属板をずらしながら、ミリ波の反射強度を観察し、ミリ波の反射波が最初に検出できなくなるアルミ金属板の可視画像エリア 124 内の位置に基づいて、ミリ波エリア 134 を同定する。

【0056】

そして、距離 d を変更して、複数の距離（ d_1 , d_2 , d_3 , ...）ごとに、ミリ波エリア 134 の 4 点 A, B, C, D の座標を求める。

【0057】

図 5 は、複数の距離と各距離におけるミリ波画像の 4 点の座標との関係を示すテーブルである。

【0058】

運用時は、ドローン 100 と構造物 10 との距離 d を計測し、ミリ波エリア 134 の 4 点 A, B, C, D が、可視画像内のどの画素位置かを、図 5 に示すテーブルを用いて推定する。計測した距離 d がテーブルに存在しない場合には、その前後の距離に対応する 4 点 A, B, C, D の画素位置を線形補間する。

【0059】

さて、構造物 10 がコンクリート構造物であり、構造物 10 の内部に発生するひび割れ、あるいはコンクリートの浮きなどの内部欠陥 12 がある場合、ミリ波レーダ 130 は、内部欠陥 12 で反射する反射波も受信することができる。また、構造物 10 に外壁タイルが貼られている場合、ミリ波レーダ 130 は、外壁タイルの浮き等の欠陥で反射する反射波を受信することができる。

10

20

30

40

50

【 0 0 6 0 】

図 6 は、ミリ波画像のある画素位置におけるミリ波の反射強度と距離との関係を模式的に示した図である。

【 0 0 6 1 】

図 6 において、P 1 は、構造物 1 0 の表面からの反射波を示し、P 2 は、構造物 1 0 の内部欠陥 1 2 からの反射波を示している。

【 0 0 6 2 】

反射波 P 1 と P 2 との距離は、内部欠陥 1 2 の深さに対応する。

【 0 0 6 3 】

図 7 は、可視画像と内部欠陥を示すミリ波画像との関係を示す図である。

10

【 0 0 6 4 】

図 7 (A) は、可視画像とミリ波画像とを重ね合わせた場合の正面図であり、図 7 (B) は、可視画像とミリ波画像の撮影対象の構造物 1 0 を上から見た透視図である。

【 0 0 6 5 】

図 7 (B) において、ミリ波レーダ 1 3 0 から構造物 1 0 のある位置にミリ波 T が照射された場合、構造物 1 0 の表面からの反射波 P 1 と、構造物 1 0 の内部検出エリア 1 0 A に存在する内部欠陥 1 2 からの反射波 P 2 として検出することができる。尚、反射波 P 1 , P 2 の反射強度と距離は、図 5 に示した通りである。

【 0 0 6 6 】

したがって、内部欠陥 1 2 からの反射波 P 2 に基づいてミリ波画像を生成すると、ミリ波画像は、内部欠陥 1 2 を示す画像となる。また、可視画像とミリ波画像との位置関係は、図 6 に示したテーブルに基づいて特定することができるため、可視画像にミリ波画像を合成することができる。

20

【 0 0 6 7 】

尚、図 7 (A) 上で、1 3 6 は、ミリ波画像のある画素を表している。また、ミリ波画像は、赤色等の可視画像とは異なる色とし、深さや反射強度に応じた濃淡で表すことで、構造物 1 0 の表層の可視画像と区別できるようにすることが好ましい。

【 0 0 6 8 】

図 3 に戻って、ミリ波レーダ 1 3 0 は、撮影時にドローン 1 0 0 と構造物 1 0 との距離 d を計測することができる。

30

【 0 0 6 9 】

ミリ波レーダ 1 3 0 により計測される距離 d は、図 5 に示したテーブルからミリ波エリア 1 3 4 の 4 点 A , B , C , D の座標を読み出す場合に使用することができる。また、距離 d は、ドローン 1 0 0 から構造物 1 0 までの撮影距離を、所望の撮影距離に保持する場合のドローン 1 0 0 の撮影ポイントの位置制御に使用することができ、更に、可視カメラ 1 2 0 の撮影レンズの焦点合わせに使用することができる。

【 0 0 7 0 】

このようにして、ドローン 1 0 0 は、ある撮影ポイントにおける可視画像とミリ波画像の撮影を行うと、次の撮影ポイントまで飛行して可視画像とミリ波画像の撮影を行い、これを、構造物 1 0 の全ての撮影ポイントでの可視画像及びミリ波画像の撮影が終了するまで繰り返す。

40

【 0 0 7 1 】

< 第 2 実施形態 >

図 8 は、本発明に係る飛行撮影システムの第 2 実施形態の概要を示す図である。尚、図 8 において、図 2 等に示した第 1 実施形態の飛行撮影システムと共通する部分には同一の符号を付し、その詳細な説明は省略する。

【 0 0 7 2 】

図 8 に示す第 2 実施形態の飛行撮影システムは、ミリ波レーダ 1 3 1 が追加されている点で、図 2 等に示した第 1 実施形態の飛行撮影システムと相違する。

【 0 0 7 3 】

50

即ち、ミリ波レーダ（第１のミリ波レーダ）１３０は、構造物１０に向けられ、構造物１０のミリ波画像の撮影に使用され、ミリ波レーダ（第２のミリ波レーダ）１３１は、ドローン１００の下方方向に向けられ、ドローン１００の高度を計測する高度計測器として機能する。

【００７４】

尚、第２実施形態の飛行撮影システムの他の構成及び機能は、図２から図７に示した第１実施形態の飛行撮影システムと共通する。

【００７５】

<第３実施形態>

図９及び図１０は、本発明に係る飛行撮影システムの第３実施形態の概要を示す図であり、図９は、飛行時のドローンの状態を示し、図１０は、撮影時のドローンの状態を示している。尚、図９及び図１０において、図２等に示した第１実施形態の飛行撮影システムと共通する部分には同一の符号を付し、その詳細な説明は省略する。

10

【００７６】

図９及び図１０に示す第３実施形態の飛行撮影システムは、レーザ距離計１４０が追加されている点で、図２等に示した第１実施形態の飛行撮影システムと相違する。

【００７７】

〔飛行時〕

図９に示すミリ波レーダ１３０は、ドローン１００の飛行中は第１実施形態と同様にミリ波レーダ１３０を下方方向に向け、ドローン１００の高度を計測する。

20

【００７８】

ミリ波レーダ１３０は、レーザ距離計１４０と比較して距離の計測の精度が低い、ドローン１００の飛行には支障がない程度に距離（高度）を計測することができ、特に基準面２０が水面の場合でも高度を計測できる点で、レーザ距離計１４０と比較して有利である。

【００７９】

また、ミリ波レーダ１３０は、ドローン１００の高度を計測する場合の基準となる基準面２０が、レーザ距離計１４０で検出困難な基準面であるか否かを検知する基準面検知部として兼用される。ここで、レーザ距離計１４０で検出困難な面とは、水面である。

【００８０】

図１０を使用して後に説明するが、ドローン１００の静止飛行時のドローン１００の高度 h は、レーザ距離計１４０で計測する。レーザ距離計１４０は、ミリ波レーダ１３０と比較して精度よく距離（高度）を計測できるからである。

30

【００８１】

ミリ波レーダ１３０によりドローン１００の鉛直下方向の基準面が、レーザ距離計１４０で検出困難な面（水面）であると検知された場合には、レーザ距離計１４０で検出可能な新たに設定した基準面（地面）を、ドローン１００の高度計測の基準面とする。

【００８２】

ミリ波レーダ１３０は、ドローン１００の移動飛行中にドローン１００の高度を計測し、ドローン１００が空中で静止すると、ミリ波エリア内で地面エリアと水面エリアとを判別する。

40

【００８３】

ドローン１００が静止している場合、水面エリアからの反射波は、水面の波の影響を受けて強度が経時変化するのに対し、地面エリアからの反射波はその強度の経時変化はほとんどない。

【００８４】

したがって、ドローン１００が空中で静止し、構造物１０の撮影のためにミリ波レーダ１３０の方向を切り換える前に、ミリ波レーダ１３０から得られる反射波を解析することで、ミリ波エリア内における地面エリアと水面エリアとを判別することができる。

【００８５】

50

レーザ距離計 140 は、照射したレーザ光が測定対象で反射して受光するまでの時間を計測して、測定対象までの距離を測定するものであり、LiDAR (Light Detection and Ranging) を使用することが好ましい。LiDAR は、自動運転システムにおいて使用されており、対象物までの距離の他に、対象物の空間内の位置、及び形状の測定が可能である。

【0086】

レーザ距離計 140 は、ドローン 100 の移動飛行時には飛行ルート上の障害物を検出したり、ドローン 100 から構造物 10 までの距離 d を計測する。レーザ距離計 140 により計測される対象物の情報は、ドローン 100 を自律飛行又は半自律飛行させる場合に使用される。例えば、ドローン 100 と構造物 10 との距離 d を所望の距離に保持するようにドローン 100 の自律飛行に使用することができる。

10

【0087】

〔撮影時〕

図 10 に示すようにドローン 100 による撮影時は、ドローン 100 は、空中で静止するホバリングに遷移する。

【0088】

ドローン 100 が静止すると、前述したように、構造物 10 の撮影のためにミリ波レーダ 130 の方向を切り換える前に、ミリ波レーダ 130 から得られる反射波を解析し、ドローン 100 の下方向のミリ波エリア内における地面エリアと水面エリアとを判別する。

【0089】

ドローン 100 の鉛直下方向のエリアが地面エリアと判別されると、その地面エリアに対応する地面を基準面 20A とし、レーザ距離計 140 により基準面 20A までの距離を計測させる。そして、ドローン 100 は、レーザ距離計 140 による計測された距離のうちの最短距離を、ドローン 100 の高度 $h(h1)$ として取得する。

20

【0090】

ドローン 100 の鉛直下方向のエリアが水面エリアと判別されると、その水面エリアに対応する基準面 20B の代わりに、レーザ距離計 140 で検出可能な新たな基準面 20A (鉛直下方向以外の地面エリアに対応する地面の基準面) を設定し、レーザ距離計 140 によりドローン 100 と新たな基準面 20A との距離 L を計測させる。

【0091】

そして、計測した距離 L と、距離 L の計測時のレーザ光の鉛直下方向とのなす角度 θ に基づいて、ドローン 100 の高度 $h(h2)$ を、次式、

30

〔数 1〕

$$h2 = L \times \cos \theta$$

により算出する。

【0092】

レーザ距離計 140 により計測されるドローン 100 の高度情報は、ドローン 100 の撮影ポイント (少なくとも高度) が設定されている場合、ドローン 100 の静止時の高度の制御に使用することができる。

【0093】

その後、図 2 等に示した第 1 実施形態と同様に、可視カメラ 120 の撮影方向が構造物 10 の方向になるように、可視カメラ 120 の回転角度が制御される。同様に、ミリ波レーダ 130 からのミリ波の送受信方向が、構造物 10 の方向になるようにミリ波レーダ 130 の回転角度が制御される。

40

【0094】

ドローン 100 は、ユーザ操作によりリモートコントローラ 200 から撮影指示を受信すると、又はドローン 100 が静止して撮影可能な状態になると自動的に、可視カメラ 120 により構造物 10 の表層の可視画像を撮影させ、また、ミリ波レーダ 130 によりミリ波画像を撮影させる。

【0095】

50

また、可視画像及びミリ波画像の撮影時には、レーザ距離計140によりドローン100（可視カメラ120、ミリ波レーダ130）と構造物10との距離dを計測させる。レーザ距離計140により計測される距離dは、図5に示したテーブルからミリ波エリア134の4点A、B、C、Dの座標を読み出す場合に使用することができる。また、距離dは、ドローン100から構造物10までの撮影距離を、所望の撮影距離に保持する場合のドローン100の撮影ポイントの位置制御に使用することができ、更に、可視カメラ120の撮影レンズの焦点合わせに使用することができる。

【0096】

[飛行撮影システムのハードウェア構成]

図11は、本発明に係る飛行撮影システムのハードウェア構成の実施形態を示すブロック図である。

10

【0097】

図11に示すドローン100は、図9及び図10に示した第3実施形態に対応するものであり、プロセッサ102、ジャイロセンサ104、GPSモジュール106、加速度センサ108、メモリ110、通信インターフェース（通信I/F）112、入出力I/F114、複数のプロペラ119、複数のプロペラ119をそれぞれ駆動する複数のモータ118、及び複数のモータ118の動作を制御するプロペラ制御部116の他に、可視カメラ120、ミリ波レーダ130、及びレーザ距離計140等を備えている。

【0098】

メモリ110は、RAM(Random Access Memory)、ROM(Read Only Memory)、フラッシュROM等を含み、ROMあるいはフラッシュROMには、オペレーティングシステム、飛行撮影方法を実行するためのプログラム、飛行ルート等の飛行計画情報、図5に示したテーブル等が記憶されている。RAMは、ROMあるいはフラッシュROMから読み出したプログラムを一時記憶するとともに、プロセッサ102の作業エリアとして機能する。また、フラッシュROMは、可視カメラ120で撮影された可視画像、及びミリ波レーダ130により撮影されたミリ波画像を記憶する内部メモリと機能することができる。

20

【0099】

プロセッサ102は、メモリ110から各種のプログラム等を読み出し、各部を統括制御する部分であり、ドローン100の飛行制御、可視カメラ120による可視画像の撮影制御、ミリ波レーダ130によるミリ波画像を撮影制御及び高度の計測、レーザ距離計140による高度の計測等を実施させる。

30

【0100】

また、ジャイロセンサ104、GPSモジュール106、及び加速度センサ108の各出力信号は、プロセッサ102に入力される。プロセッサ102は、ジャイロセンサ104の出力信号に基づいて、ドローン100の姿勢、角速度、及び角加速度を知ることができる。また、プロセッサ102は、GPSモジュール106のGPS信号に基づいて、ドローン100の位置（緯度、経度、高度）を知ることができる。更に、プロセッサ102は、加速度センサ108の出力信号に基づいて、ドローン100の加速度を知ることができる。

40

【0101】

プロセッサ102は、ジャイロセンサ104、GPSモジュール106、及び加速度センサ108の各出力信号に基づいて、複数のモータ118をそれぞれプロペラ制御部116を介して制御することにより、予め飛行計画により設定された飛行ルートにしたがってドローン100の離陸、移動飛行、ホバリング、旋回及び着陸などの自律飛行、あるいは飛行中の一部をリモートコントローラ200からの指示を受け付けて飛行する半自律飛行の各種の動作を実行する。

【0102】

尚、ドローン100は、自律飛行、あるいは半自律飛行以外に、リモートコントローラ200からの飛行指示に基づいて任意に飛行できることは言うまでもない。また、ホバリ

50

ング時には、ジャイロセンサ 104 や加速度センサ 108 の検出出力に基づいてドローン 100 の位置及び姿勢を保持するように自動制御することができる。更に、ジャイロセンサ 104 は、ドローン 100 の移動による角速度を検知し、角速度の積分演算により角度を検出することができ、加速度センサ 108 は、ドローン 100 の傾き（重力方向）の検出、平行移動、積分による速度等の検出が可能である。

【0103】

プロセッサ 102 は、可視カメラ 120 により構造物の表層の可視画像を撮影させる処理、ミリ波レーダ 130 から構造物に向けてミリ波を送信させ、構造物からのミリ波の反射波を受信させてミリ波画像を撮影させる処理、ドローン 100 の移動飛行中に、ミリ波レーダ 130 により基準面からの高度を計測させ、ドローン 100 の静止飛行時にレーザ距離計 140 により基準面からの高度を計測させる。これらの高度を示す高度情報は、ドローン 100 の飛行制御に使用される。

10

【0104】

このドローン 100 は、ミリ波レーダ 130、及びレーザ距離計 140 により計測される高度、構造物との距離等の情報を使用することで、GPS 電波の届かない環境での自律飛行、又は半自律飛行を行うことができる。

【0105】

ドローン 100 は、ミリ波レーダ 130 又はレーザ距離計 140 により計測される基準面からの距離（高度）、及び構造物 10 との距離を一定に保ちながら飛行することができる。尚、ドローン 100 の飛行すべき高度、及び構造物 10 との距離は、メモリ 110 から飛行ルート等の飛行計画情報として取得することができ、又はリモートコントローラ 200 からユーザ指示により受け付けることができる。

20

【0106】

また、プロセッサ 102 によるドローン 100 の飛行時、及び撮影時の具体的な制御については、図 9 及び図 10 を使用して説明した第 3 実施形態と同様であるため、ここではその説明は省略する。

【0107】

リモートコントローラ 200 は、ユーザ操作によりドローン 100 を遠隔制御するために使用されるもので、通信 I/F 210、CPU (Central Processing Unit) 220、操作部 230、メモリ 240、及びモニタ 250 を備えている。

30

【0108】

CPU 220 は、メモリ 240 に記憶されたファームウェアを実行することで、各部を統括制御する。ドローン 100 のプロセッサ 102 とリモートコントローラ 200 の CPU 220 とは、通信 I/F 112、210 を介して必要な情報のやり取りを行うことができ、また、リモートコントローラ 200 は、可視カメラ 120 により撮影されるライブビュー画像を通信 I/F 112、210 を介して受信し、モニタ 250 に表示させることができる。

【0109】

ユーザは、モニタ 250 に表示されるライブビュー画像を見ながら操作部 230 を操作し、構造物 10 の最初の撮影ポイントまでドローン 100 の飛行を誘導することができる。また、最初の撮影ポイントまでの飛行ルートが GPS 電波を受信できる環境の場合には、予め飛行ルートをドローン 100 に設定しておくことで、ドローン 100 は、GPS モジュール 106 で現在位置を捕捉しながら最初の撮影ポイントまで自律飛行することができる。この場合、ユーザは、リモートコントローラ 200 から最初の撮影ポイントまでの自律飛行の指示をドローン 100 に与える。

40

【0110】

ドローン 100 が最初の撮影ポイントに到達すると、ユーザは、リモートコントローラ 200 から本発明に係る飛行撮影方法を実行させる指示をドローン 100 に与える。これにより、ドローン 100 は、ミリ波レーダ 130、及びレーザ距離計 140 により計測される高度、構造物 10 との距離等の情報を取得し、ドローン 100 を予め設定した高度、

50

及び構造物 10 との距離を維持しながら各撮影ポイントに移動する。そして、ドローン 100 は、各撮影ポイントで静止して可視カメラ 120 により可視画像の撮影、及びミリ波レーダ 130 によるミリ波画像の撮影を行わせる。

【0111】

各撮影ポイントでの可視カメラ 120 により可視画像の撮影、及びミリ波レーダ 130 によるミリ波画像の撮影は、各撮影ポイントでのドローン 100 のホバリングが安定した時点で自動的に行うようにしてもよいし、ユーザ操作によるリモートコントローラ 200 からの撮影指示を受け付けて行うようにしてもよい。

【0112】

ドローン 100 は、ある撮影ポイントでの撮影が終了すると、次に撮影ポイントに移動する。各撮影ポイントの間の距離は、撮影される可視画像に対応する構造物 10 上の撮影エリアに基づいて予め設定することができる。例えば、各撮影ポイントの間の距離は、ドローン 100 を水平方向に移動させる場合には、撮影エリアの長辺の長さよりも短い距離とし、ドローン 100 を鉛直方向に移動させる場合には、撮影エリアの短辺の長さよりも短い距離とすることが好ましい。これは、撮影された可視画像をパノラマ合成する場合、隣接する可視画像間で重複する画像エリアが必要だからである。

10

【0113】

加速度センサ 108 の検出出力に基づいてドローン 100 の移動距離を推定することができるため、ある撮影ポイントからのドローン 100 の移動距離が、予め設定した距離に達する位置を次の撮影ポイントとしてドローン 100 を停止させることができる。また、ある撮影ポイントから次の撮影ポイントまでの速度パターンが決まっている場合には、飛行時間を制御して次に撮影ポイントまでドローン 100 を移動させることができる。

20

【0114】

ドローン 100 により最後の撮影ポイントでの撮影が終了すると、ユーザは、モニタ 250 に表示されるライブビュー画像を見ながら操作部 230 を操作し、ドローン 100 を帰還させることができる。また、GPS 電波を受信できる環境の場合には、ユーザはリモートコントローラ 200 から帰還を指示することで、ドローン 100 を自動帰還させることができる。

【0115】

図 12 は、本発明に係る飛行撮影システムに適用されるサーバの実施形態を示すブロック図である。

30

【0116】

図 12 に示すサーバ 400 は、ユーザ端末 300 からアップロードされ、又はユーザ端末 300 から集信した可視画像及びミリ波画像を処理し、その処理結果をユーザ端末 300 に返信するもので、通信 I/F 410、CPU 420、メモリ 430、及びデータベース 440 を備えている。

【0117】

CPU 220 は、メモリ 240 に記憶されたプログラムを実行することで、各部を統括制御するとともに、後述するように可視画像に基づいて構造物 10 の表層に現れる損傷を検出する処理、構造物の表層から所定の深さまでの 3 次元情報を含むミリ波受信データから構造物の内部のミリ波画像を生成する処理、及び可視画像とミリ波画像の合成処理等を行う。

40

【0118】

データベース 440 は、ユーザ端末 300 から通信 I/F 410 を介して取得した可視画像及びミリ波受信データと、可視画像及びミリ波受信データに対する処理結果とを保存、管理する。

【0119】

図 13 は、図 12 に示したサーバの機能を示す機能ブロック図である。

【0120】

図 13 に示すサーバ 400 は、主として入力部 410 A、損傷検出部 422、ミリ波画

50

像生成処理部 4 2 4、合成処理部 4 2 6、及び出力部 4 1 0 Bを備えている。

【 0 1 2 1 】

入力部 4 1 0 Aは、ユーザ端末 3 0 0 から可視画像 1 2 2 及びミリ波受信データ 1 3 2 を取得する。この入力部 4 1 0 Aは、ユーザ端末 3 0 0 から送信された可視画像 1 2 2 及びミリ波受信データ 1 3 2 を受信するサーバ 4 0 0 の通信 I / F 4 1 0 に相当する。

【 0 1 2 2 】

損傷検出部 4 2 2 は、可視画像 1 2 2 に基づいて構造物 1 0 の表層に現れる損傷（例えば、ひび割れ、遊離石灰、鉄筋露出、コンクリート剥離等）を検出する処理を行い、損傷エリア及び損傷種類を特定して、損傷画像を出力する。

【 0 1 2 3 】

損傷検出部 4 2 2 は、画像処理アルゴリズムにより行うものでもよいし、人工知能（A I : artificial intelligence）により行うようにしてもよい。A I としては、例えば、畳み込みニューラルネットワーク（C N N : Convolution Neural Network）による学習済みモデルを使用することができる。

【 0 1 2 4 】

ミリ波画像生成処理部 4 2 4 は、構造物からのミリ波の反射波を示すミリ波受信データ 1 3 2 に基づいて、構造物の内部を示すミリ波画像を生成する。図 6 に示したようにミリ波の反射波は、構造物の表面からの反射波、及び構造物の内部欠陥等からの反射波を含み、前者の反射波は、後者の反射波よりも反射強度が大きい。ミリ波画像生成処理部 4 2 4 は、構造物の表面からの反射波以外の反射波を示すミリ波受信データを抽出し、抽出したミリ波受信データに基づいてミリ波画像を生成することが好ましい。また、ミリ波画像は、赤色等の可視画像とは異なる色とし、深さや反射強度に応じた濃淡で表すことで、構造物 1 0 の表層の可視画像と区別できるようにすることが好ましい。

【 0 1 2 5 】

合成処理部 4 2 6 は、可視画像と損傷検出部 4 2 2 部から出力される損傷画像と、ミリ波画像生成処理部 4 2 4 から出力されるミリ波画像とを合成する。尚、可視画像とミリ波画像との位置関係は、図 6 に示したテーブルに基づいて特定することができるため、可視画像にミリ波画像を合成することができる。

【 0 1 2 6 】

本例では、可視画像と損傷画像とミリ波画像とを合成するが、これに限らず、可視画像とミリ波画像とを合成してもよいし、損傷画像とミリ波画像とを合成するようにしてもよい。また、サーバ 4 0 0 では、可視画像等のパノラマ合成も行うことができる。

【 0 1 2 7 】

損傷検出部 4 2 2、ミリ波画像生成処理部 4 2 4、及び合成処理部 4 2 6 は、サーバ 4 0 0 の C P U 4 2 0 の各機能に相当する。

【 0 1 2 8 】

合成処理部 4 2 6 により合成された合成画像は、出力部 4 1 0 B を介してユーザ端末 3 0 0 に送信される。この入力部 4 1 0 A は、サーバ 4 0 0 の通信 I / F 4 1 0 に相当する。

【 0 1 2 9 】

これにより、ユーザは、構造物の表層の損傷の他に、内部欠陥を確認することができる。

【 0 1 3 0 】

尚、本例のサーバ 4 0 0 の処理機能を、ユーザ端末 3 0 0 が持つように構成してもよい。

【 0 1 3 1 】

[飛行撮影方法]

図 1 4 は、本発明に係る飛行撮影方法の実施形態を示すフローチャートである。

【 0 1 3 2 】

図 1 4 に示す各ステップの処理は、例えば、図 1 1 に示したドローン 1 0 0 のプロセッサ 1 0 2 等により行われる。

【 0 1 3 3 】

図 1 3 において、ドローン 1 0 0 を構造物の撮影を行う最初の撮影ポイントに移動（飛

10

20

30

40

50

行)させる(ステップS10)。このドローン100の飛行は、飛行計画にしたがったドローン100の自律飛行により行ってもよいし、ユーザ操作されるリモートコントローラ200からの指示によりおこなってもよい。

【0134】

プロセッサ102は、ドローン100が最初の撮影ポイントに移動したか否かを判別する(ステップS12)。最初の撮影ポイントに移動したと判別すると(「Yes」の場合)、プロセッサ102は、ドローン100を撮影ポイントにて静止飛行させ、レーザ距離計140によりドローン100の基準面からの距離(高度)を計測させる(ステップS13)。

【0135】

続いて、プロセッサ102は、可視カメラ120により構造物の可視画像を撮影させ(ステップS14)、ミリ波レーダ130により構造物のミリ波画像を撮影させる(ステップS16)。ミリ波画像の撮影は、構造物にミリ波を送信させ、ミリ波エリアからの反射波を受信させ、ミリ波受信データを取得することで行う。

【0136】

プロセッサ102は、撮影された可視画像とミリ波画像とを関連付けてメモリ110に記憶させる(ステップS18)。

【0137】

プロセッサ102は、撮影ポイントでの構造物の撮影が終了すると、飛行計画にしたがってドローン100を次の撮影ポイントに移動させる(ステップS20)。

【0138】

次の撮影ポイントに移動したと判別すると(「Yes」の場合)、プロセッサ102は、ステップS13に遷移させ、ここで、撮影ポイントにて静止飛行させ、レーザ距離計140によりドローン100の高度を計測させる。

【0139】

プロセッサ102は、全ての撮影ポイントでの撮影が終了するまで、ステップS13からステップS22までの処理を繰り返す。

【0140】

[その他]

本発明に係る飛行撮影システムの無人飛行体のプロセッサ、サーバのCPUの各種プロセッサには、プログラムを実行して各種の処理部として機能する汎用的なプロセッサであるCPU(Central Processing Unit)、FPGA(Field Programmable Gate Array)などの製造後に回路構成を変更可能なプロセッサであるプログラマブルロジックデバイス(Programmable Logic Device; PLD)、ASIC(Application Specific Integrated Circuit)などの特定の処理を実行させるために専用に設計された回路構成を有するプロセッサである専用電気回路などが含まれる。飛行撮影システムを構成する1つの処理部は、上記各種プロセッサのうちの1つで構成されていてもよいし、同種又は異種の2つ以上のプロセッサで構成されてもよい。例えば、1つの処理部は、複数のFPGA、あるいは、CPUとFPGAの組み合わせによって構成されてもよい。また、複数の処理部を1つのプロセッサで構成してもよい。複数の処理部を1つのプロセッサで構成する例としては、第1に、クライアントやサーバなどのコンピュータに代表されるように、1つ以上のCPUとソフトウェアの組み合わせで1つのプロセッサを構成し、このプロセッサが複数の処理部として機能する形態がある。第2に、システムオンチップ(System On Chip; SoC)などに代表されるように、複数の処理部を含むシステム全体の機能を1つのIC(Integrated Circuit)チップで実現するプロセッサを使用する形態がある。このように、各種の処理部は、ハードウェア的な構造として、上記各種プロセッサを1つ以上用いて構成される。更に、これらの各種のプロセッサのハードウェア的な構造は、より具体的には、半導体素子などの回路素子を組み合わせた電気回路(circuitry)である。

【0141】

また、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

10

20

30

40

50

の変形が可能であることは言うまでもない。

【符号の説明】

【0142】

1 飛行撮影システム

10 構造物

12 内部欠陥

20、20A、20B 基準面

100 ドローン

102 プロセッサ

104 ジャイロセンサ

10

106 GPSモジュール

108 加速度センサ

110 メモリ

112 通信I/F

114 入出力I/F

116 プロペラ制御部

118 モータ

119 プロペラ

120 可視カメラ

122 可視画像

20

124 可視画像エリア

130、131 ミリ波レーダ

132 ミリ波受信データ

134 ミリ波エリア

140 レーザ距離計

150 メモリカード

200 リモートコントローラ

210 通信I/F

220 CPU

230 操作部

30

240 メモリ

250 モニタ

300 ユーザ端末

400 サーバ

410 通信I/F

410A 入力部

410B 出力部

420 CPU

422 損傷検出部

424 ミリ波画像生成処理部

40

426 合成処理部

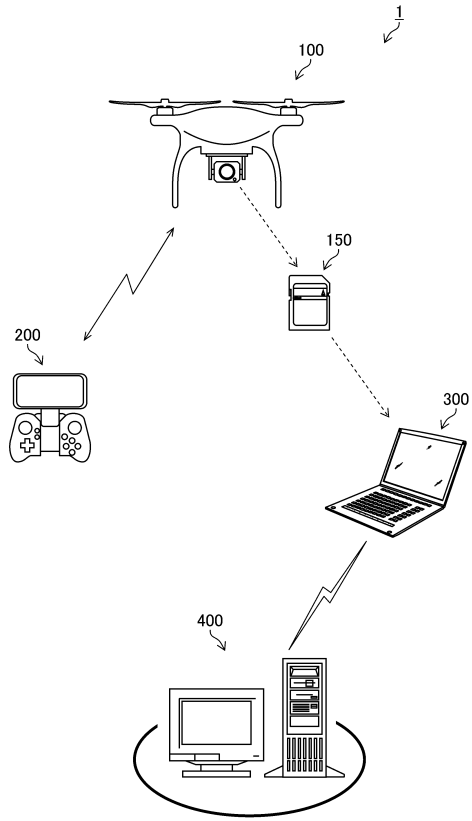
430 メモリ

440 データベース

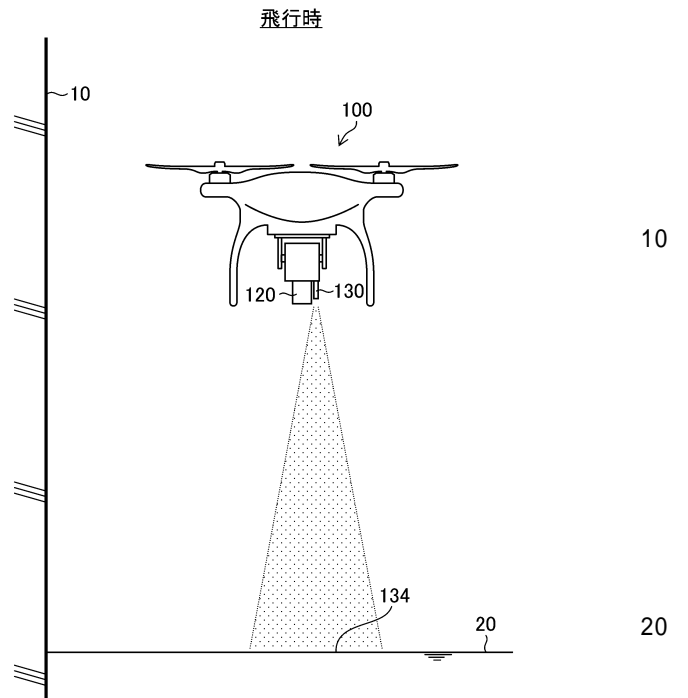
S10 ~ S22 ステップ

【図面】

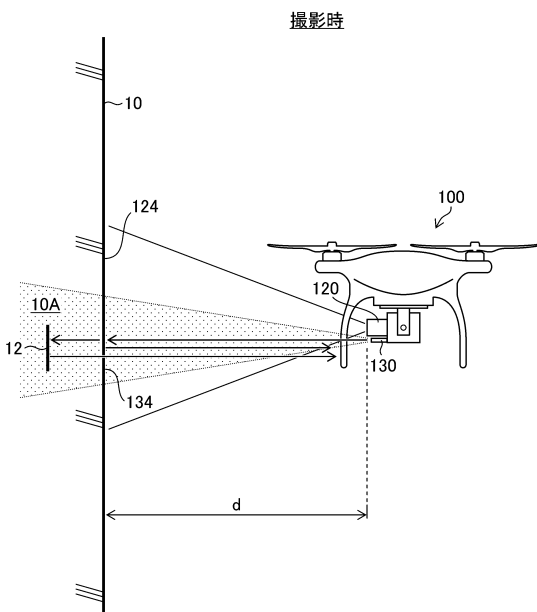
【図 1】



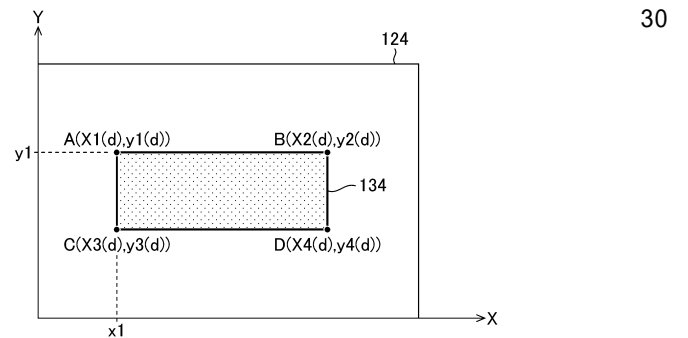
【図 2】



【図 3】



【図 4】



10

20

30

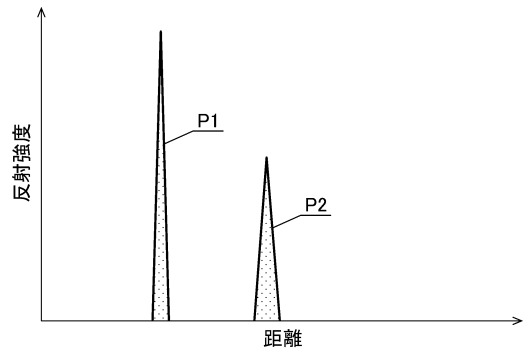
40

50

【 図 5 】

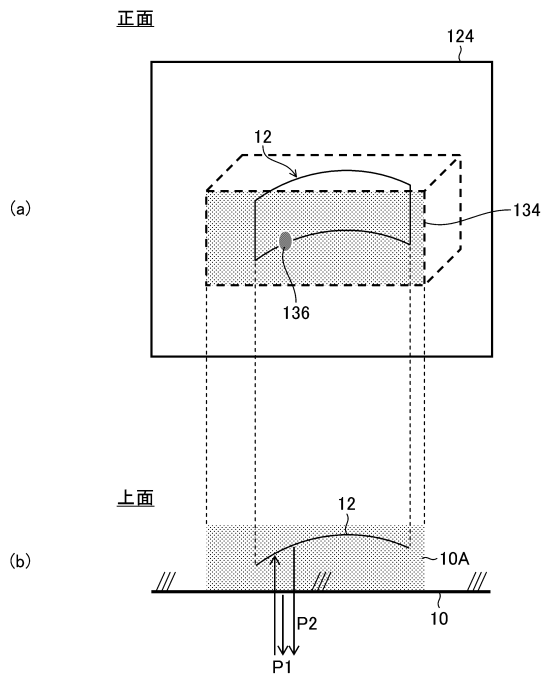
距離	A	B	C	D
d1	x1(d1), y1(d1)	x2(d1), y2(d1)
d2	⋮	⋮	⋮	⋮
d3				
d4				
⋮				

【 図 6 】

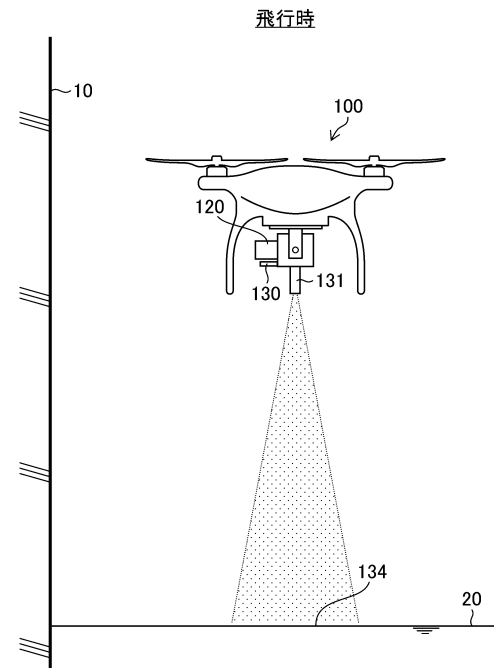


10

【 図 7 】



【 図 8 】



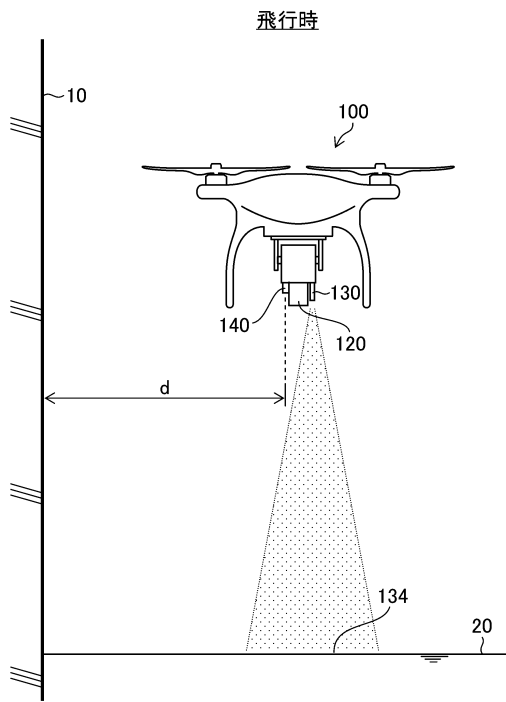
20

30

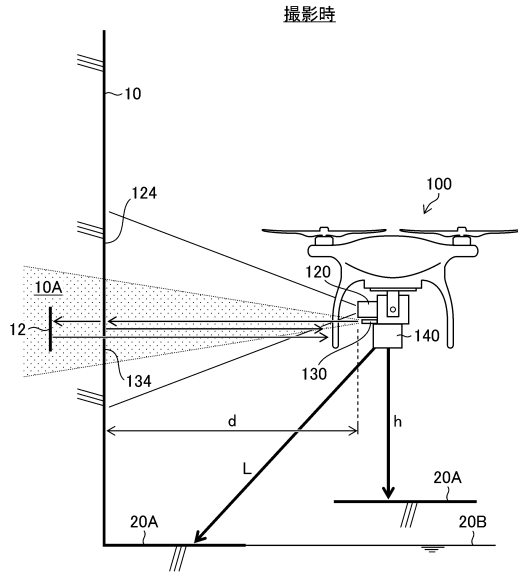
40

50

【図 9】



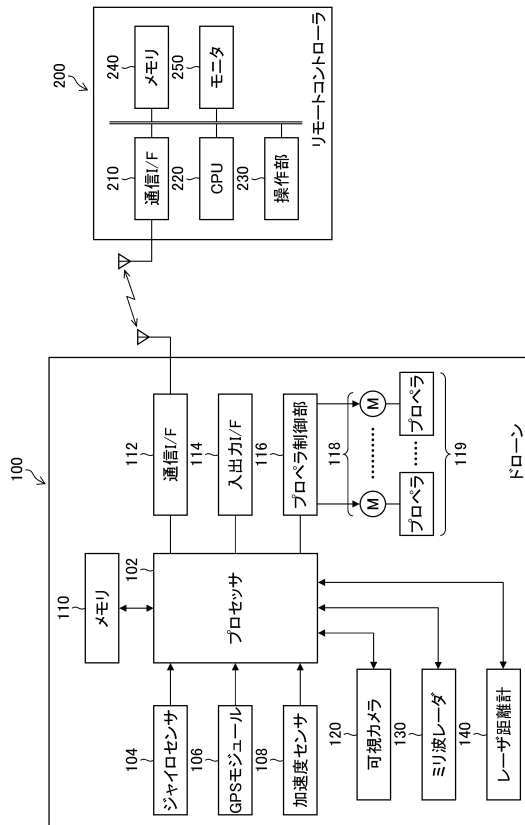
【図 10】



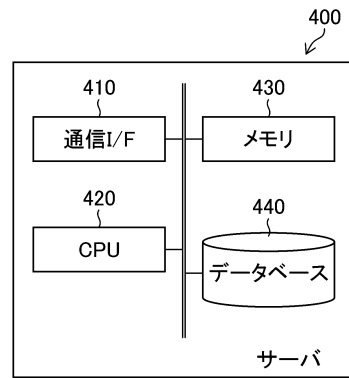
10

20

【図 11】



【図 12】

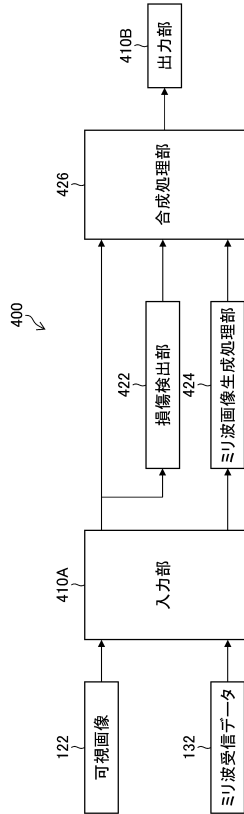


30

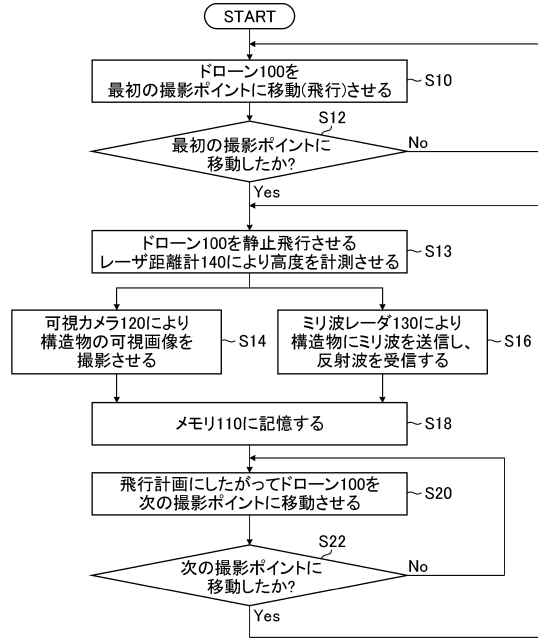
40

50

【図13】



【図14】



10

20

30

40

50

フロントページの続き

- 神奈川県足柄上郡開成町牛島 5 7 7 番地 富士フイルム株式会社内
- (72)発明者 中村 博明
東京都港区西麻布 2 丁目 2 6 番 3 0 号 富士フイルム株式会社内
- (72)発明者 吉田 那緒子
神奈川県足柄上郡開成町宮台 7 9 8 番地 富士フイルム株式会社内
- (72)発明者 與那覇 誠
東京都港区西麻布 2 丁目 2 6 番 3 0 号 富士フイルム株式会社内
- 審査官 田中 洋介
- (56)参考文献 特開 2 0 1 9 - 0 2 7 9 0 8 (J P , A)
特開 2 0 0 7 - 1 2 1 2 1 4 (J P , A)
特開 2 0 1 9 - 1 3 0 9 2 7 (J P , A)
特開 2 0 1 6 - 1 1 1 4 1 4 (J P , A)
特開 2 0 0 8 - 2 0 3 1 2 3 (J P , A)
特表 2 0 2 0 - 5 0 4 8 1 1 (J P , A)
米国特許出願公開第 2 0 0 5 / 0 1 1 0 6 7 2 (U S , A 1)
- (58)調査した分野 (Int.Cl. , D B 名)
G 0 1 N 2 2 / 0 0 - 2 2 / 0 4
G 0 1 N 2 1 / 8 4 - 2 1 / 9 5 8
G 0 1 S 1 3 / 0 0 - 1 3 / 9 5
B 6 4 C 2 7 / 0 0 - 2 7 / 8 2
G 0 1 M 9 9 / 0 0