

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2018年4月26日(26.04.2018)



(10) 国際公開番号

WO 2018/073878 A1

(51) 国際特許分類:

G01C 11/06 (2006.01)

(21) 国際出願番号: PCT/JP2016/080751

(22) 国際出願日: 2016年10月17日(17.10.2016)

(25) 国際出願の言語: 日本語

(26) 国際公開の言語: 日本語

(71) 出願人: エスゼット ディージェイアイ
テクノロジー カンパニー リミテッド
(SZ DJI TECHNOLOGY CO., LTD) [CN/JP];
〒1350091 東京都港区台場 2-3-1 トレ
ードピアお台場 9階 Tokyo (JP).

(72) 発明者: 顧 磊(GU Lei); 〒1350091 東京都港区
台場 2-3-1 トレードピアお台場 9階 D
J I J A P A N株式会社内 Tokyo (JP). 笹

尾 幸良(SASAO Yukiyoishi); 〒1350091 東京都
港区台場 2-3-1 トレードピアお台場 9
階 D J I J A P A N株式会社内 Tokyo (JP).
瞿 宗耀(QU Zongyao); 〒1350091 東京都港区
台場 2-3-1 トレードピアお台場 9階 D
J I J A P A N株式会社内 Tokyo (JP). 呉
韜(WU Tao); 〒1350091 東京都港区台場 2-
3-1 トレードピアお台場 9階 D J I J
A P A N株式会社内 Tokyo (JP).

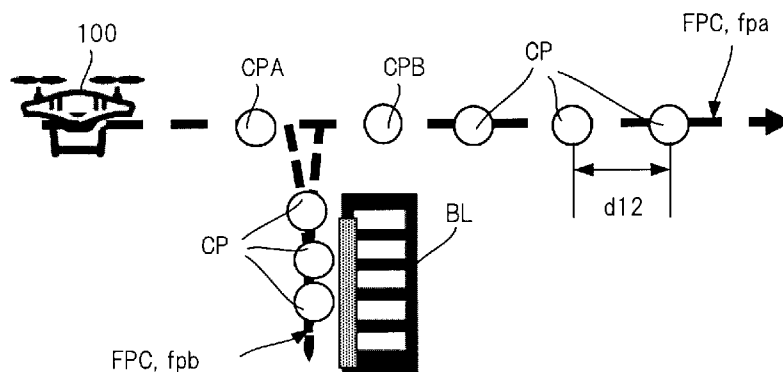
(74) 代理人: 特許業務法人栄光特許事務所(EIKOH
PATENT FIRM, P.C.); 〒1050003 東京都港区
西新橋一丁目 7 番 1 3 号 虎ノ門イースト
ビルディング 10階 Tokyo (JP).

(81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保
護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ,

(54) Title: THREE-DIMENSIONAL-SHAPE ESTIMATION METHOD, THREE-DIMENSIONAL-SHAPE ESTI-
MATION SYSTEM, FLYING BODY, PROGRAM, AND RECORDING MEDIUM

(54) 発明の名称: 3次元形状推定方法、3次元形状推定システム、飛行体、プログラム、及び記録媒体

【図12】



(57) Abstract: Provided is a three-dimensional-shape estimation method whereby the precision of estimating the three-dimensional shape of an object periphery can be enhanced. A three-dimensional-shape estimation method for estimating a three-dimensional shape on the basis of an image captured by a flying body, the method including a step for generating first three-dimensional-shape data in the flight range of the flying body on the basis of a plurality of first captured images, a step for detecting a deficient region according to the first three-dimensional-shape data, a step for generating a first flight route for capturing an image of the deficient region, a step for capturing a plurality of images along a horizontal direction toward the deficient region so as to partially superimpose the imaging ranges thereof and acquiring a plurality of second captured images, and a step for generating three-dimensional-shape data in the deficient region on the basis of the plurality of second captured images.



BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

- (84) 指定国(表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, 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), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

- 一 国際調査報告(条約第21条(3))

(57) 要約: オブジェクト周辺の3次元形状の推定精度を容易に向上できる3次元形状推定方法を提供する。飛行体により撮像された画像に基づいて3次元形状を推定する3次元形状推定方法であって、複数の第1の撮像画像に基づいて、飛行体の飛行範囲における第1の3次元形状データを生成する段階と、第1の3次元形状データによる欠損領域を検出する段階と、欠損領域を撮像するための第1の飛行経路を生成する段階と、第1の飛行経路において、欠損領域に向けて水平方向を、撮像範囲を一部重複させて複数撮像して、複数の第2の撮像画像を取得する段階と、複数の第2の撮像画像に基づいて、欠損領域における3次元形状データを生成する段階と、を含む。

明 細 書

発明の名称：

3次元形状推定方法、3次元形状推定システム、飛行体、プログラム、及び記録媒体

技術分野

[0001] 本発明は、3次元形状推定方法、3次元形状推定システム、飛行体、プログラム、及び記録媒体に関する。

背景技術

[0002] 従来、予め設定された固定経路を通りながら撮像を行うプラットフォーム（無人機）が知られている。このプラットフォームは、地上基地から撮像指示を受け、撮像対象を撮像する。このプラットフォームは、撮像対象を撮像する場合、固定経路を飛行しながら、プラットフォームと撮像対象との位置関係により、プラットフォームの撮像機器を傾けて撮像する。

先行技術文献

特許文献

[0003] 特許文献1：日本国特開2010-61216号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0004] 特許文献1に記載されたプラットフォームでは、固定経路を通りながら撮像するが、固定経路から鉛直方向に位置するオブジェクト（例えば建物）の存在を十分に考慮されていない。そのため、オブジェクトの側面の撮像画像や上空から観察可能なオブジェクトの一部に隠された他の一部の撮像画像を十分に取得することが困難である。従って、3次元形状を推定するための撮像画像が不足し、3次元形状の推定精度が低下する。

[0005] オブジェクトの側面を撮像する場合、撮像者が撮像装置を把持してオブジェクトの側面を撮像することが考えられる。この場合、ユーザがオブジェク

トの周辺まで移動する必要があるため、ユーザの利便性が低下する。また、ユーザ手動による撮像となるため、所望の状態（例えばオブジェクトの所望の撮像位置、オブジェクトの所望の撮像サイズ、オブジェクトの所望の撮像向き）の撮像画像を十分に取得できない可能性がある。

[0006] また、特定のオブジェクトの側面を無人航空機により撮像する場合、無人航空機が飛行する飛行経路を決定することが考えられる。オブジェクトの周囲における所望の位置を撮像位置として指定する場合、3次元空間の位置（緯度、経度、高度）をユーザ入力して指定することが考えられる。この場合、各撮像位置をユーザ入力により決定するので、ユーザの利便性が低下する。

課題を解決するための手段

[0007] 一態様において、3次元形状推定方法は、飛行体により撮像された画像に基づいて3次元形状を推定する3次元形状推定方法であって、複数の第1の撮像画像に基づいて、飛行体の飛行範囲における第1の3次元形状データを生成する段階と、第1の3次元形状データによる欠損領域を検出する段階と、欠損領域を撮像するための第1の飛行経路を生成する段階と、第1の飛行経路において、欠損領域に向けて水平方向を、撮像範囲を一部重複させて複数撮像して、複数の第2の撮像画像を取得する段階と、複数の第2の撮像画像に基づいて、欠損領域における3次元形状データを生成する段階と、を含む。

[0008] 3次元形状推定方法は、飛行体の飛行範囲において飛行体により撮像するための第2の飛行経路を生成する段階と、第2の飛行経路において、撮像範囲を一部重複させて複数撮像して、複数の第1の撮像画像を取得する段階と、を更に含んでよい。

[0009] 第2の飛行経路は、飛行体の飛行範囲において飛行体により鉛直方向を撮像するための飛行経路でよい。第1の撮像画像は、第2の飛行経路において、撮像範囲を一部重複させて鉛直方向を撮像して取得された画像でよい。

[0010] 第1の飛行経路は、欠損領域を異なる高度で撮像するための飛行経路でよ

い。第2の撮像画像は、第1の飛行経路において、欠損領域に向けて水平方向を異なる高度で、撮像範囲を一部重複させて撮像して取得された画像でよい。

[0011] 3次元形状推定方法は、欠損領域の位置情報に基づいて第2の飛行経路に第1の飛行経路を挿入して、第3の飛行経路を生成する段階と、第3の飛行経路において、飛行体により鉛直方向と欠損領域の水平方向とを複数撮像して、複数の第1の撮像画像と複数の第2の撮像画像とを取得する段階と、第1の撮像画像と第2の撮像画像とに基づいて、飛行範囲における第2の3次元形状データを生成する段階と、を更に含んでよい。

[0012] 3次元形状推定方法は、飛行体が第2の飛行経路の飛行後に第3の飛行経路を飛行する段階と、第2の飛行経路では第1の撮像位置間隔で撮像する段階と、第3の飛行経路では第1の撮像位置間隔よりも短い第2の撮像位置間隔で撮像する段階と、を更に含んでよい。

[0013] 3次元形状推定方法は、飛行範囲における第1の3次元形状データと欠損領域における3次元形状データとを合成して、飛行範囲における第3の3次元形状データを生成する段階、を更に含んでよい。

[0014] 一態様において、3次元形状推定方法は、飛行体により撮像された画像に基づいて3次元形状を推定する3次元形状推定方法であって、飛行体の飛行中に、複数の第1の撮像画像に基づいて、飛行体の飛行範囲における第1の3次元形状データを生成する段階と、飛行中に、第1の3次元形状データによる欠損領域の有無を判定する段階と、欠損領域が存在すると判定された場合、飛行体を欠損領域の方向へ移動させる段階と、飛行中に、欠損領域を撮像するための第1の飛行経路を生成する段階と、第1の飛行経路において、欠損領域に向けて水平方向を、撮像範囲を一部重複させて複数撮像して、複数の第2の撮像画像を取得する段階と、複数の第2の撮像画像に基づいて、欠損領域における3次元形状データを生成する段階と、を含む。

[0015] 3次元形状推定方法は、飛行体の飛行範囲において飛行体により撮像するための第2の飛行経路を生成する段階と、第2の飛行経路において、撮像範

囲を一部重複させて複数撮像して、複数の第1の撮像画像を取得する段階と、を更に含んでよい。

[0016] 第2の飛行経路は、飛行体の飛行範囲において飛行体により鉛直方向を撮像するための飛行経路でよい。第1の撮像画像は、第2の飛行経路において、撮像範囲を一部重複させて鉛直方向を撮像して取得された画像でよい。

[0017] 第1の飛行経路は、欠損領域を異なる高度で撮像するための飛行経路でよい。第2の撮像画像は、第1の飛行経路において、欠損領域に向けて水平方向を異なる高度で、撮像範囲を一部重複させて撮像して取得された画像でよい。

[0018] 3次元形状推定方法は、第2の撮像画像の取得後、飛行体が第2の飛行経路に従う飛行に復帰する段階、を更に含んでよい。

[0019] 3次元形状推定方法は、第2の飛行経路において未撮像の撮像位置において、第1の撮像画像を取得する段階、を更に含んでよい。

[0020] 3次元形状推定方法は、飛行中に、飛行範囲における第1の3次元形状データと欠損領域における3次元形状データとを合成して、飛行範囲における第4の3次元形状データを生成する段階、を更に含んでよい。

[0021] 一態様において、3次元形状推定システムは、飛行体により撮像された画像に基づいて3次元形状を推定する3次元形状推定システムであって、複数の第1の撮像画像に基づいて、飛行体の飛行範囲における第1の3次元形状データを生成する形状データ生成部と、第1の3次元形状データによる欠損領域を検出する検出部と、欠損領域を撮像するための第1の飛行経路を生成する経路生成部と、第1の飛行経路において、欠損領域に向けて水平方向を、撮像範囲を一部重複させて複数撮像して、複数の第2の撮像画像を取得する撮像部と、を備え、形状データ生成部は、複数の第2の撮像画像に基づいて、欠損領域における3次元形状データを生成する。

[0022] 経路生成部は、飛行体の飛行範囲において飛行体により撮像するための第2の飛行経路を生成してよい。撮像部は、第2の飛行経路において、撮像範囲を一部重複させて複数撮像して、複数の第1の撮像画像を取得してよい。

- [0023] 経路生成部は、飛行体の飛行範囲において飛行体により鉛直方向を撮像するための第2の飛行経路を生成してよい。撮像部は、第2の飛行経路において、撮像範囲を一部重複させて鉛直方向を複数撮像して、複数の第1の撮像画像を取得してよい。
- [0024] 経路生成部は、欠損領域を異なる高度で撮像するための第1の飛行経路を生成してよい。撮像部は、第1の飛行経路において、欠損領域に向けて水平方向を異なる高度で、撮像範囲を一部重複させて複数撮像して、複数の第2の撮像画像を取得してよい。
- [0025] 経路生成部は、欠損領域の位置情報に基づいて第2の飛行経路に第1の飛行経路を挿入して、第3の飛行経路を生成してよい。撮像部は、第3の飛行経路において、鉛直方向と欠損領域の水平方向とを複数撮像して、複数の第1の撮像画像と複数の第2の撮像画像とを取得してよい。形状データ生成部は、第1の撮像画像と第2の撮像画像とに基づいて、飛行範囲における第2の3次元形状データを生成してよい。
- [0026] 3次元形状推定システムは、飛行制御部を更に備えてよい。飛行制御部は、飛行体に、第2の飛行経路の飛行後に第3の飛行経路を飛行させてよい。撮像部は、第2の飛行経路では第1の撮像位置間隔で撮像し、第3の飛行経路では第1の撮像位置間隔よりも短い第2の撮像位置間隔で撮像してよい。
- [0027] 形状データ生成部は、飛行範囲における第1の3次元形状データと欠損領域における3次元形状データとを合成して、飛行範囲における第3の3次元形状データを生成してよい。
- [0028] 一態様において、3次元形状推定システムは、飛行体により撮像された画像に基づいて3次元形状を推定する3次元形状推定システムであって、飛行体の飛行を制御する飛行制御部と、飛行体の飛行中に、複数の第1の撮像画像に基づいて、飛行体の飛行範囲における第1の3次元形状データを生成する形状データ生成部と、飛行中に、第1の3次元形状データによる欠損領域の有無を判定する検出部と、飛行中に、欠損領域を撮像するための第1の飛行経路を生成する経路生成部と、第1の飛行経路において、欠損領域に向け

て水平方向を、撮像範囲を一部重複させて複数撮像して、複数の第2の撮像画像を取得する撮像部と、を備え、飛行制御部は、欠損領域が存在すると判定された場合、飛行体を欠損領域の方向へ移動させ、形状データ生成部は、複数の第2の撮像画像に基づいて、欠損領域における3次元形状データを生成する。

[0029] 経路生成部は、飛行体の飛行範囲において飛行体により撮像するための第2の飛行経路を生成してよい。撮像部は、第2の飛行経路において、撮像範囲を一部重複させて複数撮像して、複数の第1の撮像画像を取得してよい。

[0030] 経路生成部は、飛行体の飛行範囲において飛行体により鉛直方向を撮像するための第2の飛行経路を生成してよい。撮像部は、第2の飛行経路において、撮像範囲を一部重複させて鉛直方向を複数撮像して、複数の第1の撮像画像を取得してよい。

[0031] 経路生成部は、欠損領域を異なる高度で撮像するための第1の飛行経路を生成してよい。撮像部は、第1の飛行経路において、欠損領域に向けて水平方向を異なる高度で、撮像範囲を一部重複させて複数撮像して、複数の第2の撮像画像を取得してよい。

[0032] 飛行制御部は、第2の撮像画像の取得後、飛行体に、第2の飛行経路に従う飛行に復帰させてよい。

[0033] 撮像部は、第2の飛行経路において未撮像の撮像位置において、第1の撮像画像を取得してよい。

[0034] 形状データ生成部は、飛行中に、飛行範囲における第1の3次元形状データと欠損領域における3次元形状データとを合成して、飛行範囲における第4の3次元形状データを生成してよい。

[0035] 3次元形状推定システムは、飛行体と飛行体との間で通信する通信端末とを備えてよい。飛行体は、第1の通信部と、経路生成部と、撮像部と、形状データ生成部と、検出部と、を備えてよい。通信端末は、操作部と、第2の通信部を備えてよい。

[0036] 3次元形状推定システムは、飛行体と飛行体との間で通信する通信端末と

を備えてよい。飛行体は、第1の通信部と、撮像部と、を備えてよい。通信端末は、操作部と、第2の通信部、経路生成部と、形状データ生成部と、検出部と、を備えてよい。

[0037] 一態様において、飛行体は、画像を撮像して3次元形状を推定する飛行体であって、複数の第1の撮像画像に基づいて、飛行範囲における第1の3次元形状データを生成する形状データ生成部と、第1の3次元形状データによる欠損領域を検出する検出部と、欠損領域を撮像するための第1の飛行経路を生成する経路生成部と、第1の飛行経路において、欠損領域に向けて水平方向を、撮像範囲を一部重複させて複数撮像して、複数の第2の撮像画像を取得する撮像部と、を備え、形状データ生成部は、複数の第2の撮像画像に基づいて、欠損領域における3次元形状データを生成する。

[0038] 経路生成部は、飛行体の飛行範囲において飛行体により撮像するための第2の飛行経路を生成してよい。撮像部は、第2の飛行経路において、撮像範囲を一部重複させて複数撮像して、複数の第1の撮像画像を取得してよい。

[0039] 経路生成部は、飛行体の飛行範囲において飛行体により鉛直方向を撮像するための第2の飛行経路を生成してよい。撮像部は、第2の飛行経路において、撮像範囲を一部重複させて鉛直方向を複数撮像して、複数の第1の撮像画像を取得してよい。

[0040] 経路生成部は、欠損領域を異なる高度で撮像するための第1の飛行経路を生成してよい。撮像部は、第1の飛行経路において、欠損領域に向けて水平方向を異なる高度で、撮像範囲を一部重複させて複数撮像して、複数の第2の撮像画像を取得してよい。

[0041] 経路生成部は、欠損領域の位置情報に基づいて第2の飛行経路に第1の飛行経路を挿入して、第3の飛行経路を生成してよい。撮像部は、第3の飛行経路において、鉛直方向と欠損領域の水平方向とを複数撮像して、複数の第1の撮像画像と複数の第2の撮像画像とを取得してよい。形状データ生成部は、第1の撮像画像と第2の撮像画像とに基づいて、飛行範囲における第2の3次元形状データを生成してよい。

- [0042] 飛行体は、飛行制御部を更に備えてよい。飛行制御部は、飛行体に、第2の飛行経路の飛行後に第3の飛行経路を飛行させてよい。撮像部は、第2の飛行経路では第1の撮像位置間隔で撮像し、第3の飛行経路では第1の撮像位置間隔よりも短い第2の撮像位置間隔で撮像してよい。
- [0043] 形状データ生成部は、飛行範囲における第1の3次元形状データと欠損領域における3次元形状データとを合成して、飛行範囲における第3の3次元形状データを生成してよい。
- [0044] 一態様において、飛行体は、画像を撮像して3次元形状を推定する飛行体であって、飛行体の飛行を制御する飛行制御部と、飛行体の飛行中に、複数の第1の撮像画像に基づいて、飛行体の飛行範囲における第1の3次元形状データを生成する形状データ生成部と、飛行中に、第1の3次元形状データによる欠損領域の有無を判定する検出部と、飛行中に、欠損領域を撮像するための第1の飛行経路を生成する経路生成部と、第1の飛行経路において、欠損領域に向けて水平方向を、撮像範囲を一部重複させて複数撮像して、複数の第2の撮像画像を取得する撮像部と、を備え、飛行制御部は、欠損領域が存在すると判定された場合、飛行体を欠損領域の方向へ移動させ、形状データ生成部は、複数の第2の撮像画像に基づいて、欠損領域における3次元形状データを生成する。
- [0045] 経路生成部は、飛行体の飛行範囲において飛行体により撮像するための第2の飛行経路を生成してよい。撮像部は、第2の飛行経路において、撮像範囲を一部重複させて複数撮像して、複数の第1の撮像画像を取得してよい。
- [0046] 経路生成部は、飛行体の飛行範囲において飛行体により鉛直方向を撮像するための第2の飛行経路を生成してよい。撮像部は、第2の飛行経路において、撮像範囲を一部重複させて鉛直方向を複数撮像して、複数の第1の撮像画像を取得してよい。
- [0047] 経路生成部は、欠損領域を異なる高度で撮像するための第1の飛行経路を生成してよい。撮像部は、第1の飛行経路において、欠損領域に向けて水平方向を異なる高度で、撮像範囲を一部重複させて複数撮像して、複数の第2

の撮像画像を取得してよい。

[0048] 飛行制御部は、第2の撮像画像の取得後、飛行体に、第2の飛行経路に従う飛行に復帰させてよい。

[0049] 撮像部は、第2の飛行経路において未撮像の撮像位置において、第1の撮像画像を取得してよい。

[0050] 形状データ生成部は、飛行中に、飛行範囲における第1の3次元形状データと欠損領域における3次元形状データとを合成して、飛行範囲における第4の3次元形状データを生成してよい。

[0051] 一態様において、プログラムは、飛行体により撮像された画像に基づいて3次元形状を推定するコンピュータに、複数の第1の撮像画像に基づいて、飛行体の飛行範囲における第1の3次元形状データを生成する手順と、第1の3次元形状データによる欠損領域を検出する手順と、欠損領域を撮像するための第1の飛行経路を生成する手順と、第1の飛行経路において、欠損領域に向けて水平方向を、撮像範囲を一部重複させて複数撮像して、複数の第2の撮像画像を取得する手順と、複数の第2の撮像画像に基づいて、欠損領域における3次元形状データを生成する手順と、を実行させるためのプログラムである。

[0052] 一態様において、記録媒体は、飛行体により撮像された画像に基づいて3次元形状を推定するコンピュータに、複数の第1の撮像画像に基づいて、飛行体の飛行範囲における第1の3次元形状データを生成する手順と、第1の3次元形状データによる欠損領域を検出する手順と、欠損領域を撮像するための第1の飛行経路を生成する手順と、第1の飛行経路において、欠損領域に向けて水平方向を、撮像範囲を一部重複させて複数撮像して、複数の第2の撮像画像を取得する手順と、複数の第2の撮像画像に基づいて、欠損領域における3次元形状データを生成する手順と、を実行させるためのプログラムを記録したコンピュータ読み取り可能な記録媒体である。

[0053] なお、上記の発明の概要は、本発明の特徴の全てを列挙したものではない。また、これらの特徴群のサブコンビネーションもまた、発明となりうる。

図面の簡単な説明

- [0054] [図1]第1の実施形態における3次元形状推定システムの構成例を示す模式図
- [図2]無人航空機の外観の一例を示す図
- [図3]無人航空機具体的な外観の一例を示す図
- [図4]無人航空機のハードウェア構成の一例を示すブロック図
- [図5]送信機の外観の一例を示す斜視図
- [図6]送信機のハードウェア構成の一例を示すブロック図
- [図7]飛行範囲の入力例を説明するための図
- [図8]飛行経路F P Aでの概略撮像を説明するための図
- [図9]飛行経路F P Aにより得られた概略撮像に基づく3次元形状データの生成を説明するための図
- [図10]欠損領域の検出を説明するための図
- [図11]飛行経路F P Bの生成例を説明するための図
- [図12]飛行経路F P Cの生成例を説明するための図
- [図13]飛行経路F P Cにより得られた撮像画像に基づく3次元形状データの生成例を説明するための図
- [図14]3次元形状推定システムの第1動作例を示すフローチャート
- [図15]飛行経路F P Aでの詳細撮像を説明するための図
- [図16]飛行経路F P Aにより得られた詳細撮像に基づく3次元形状データの生成を説明するための図
- [図17]複数の欠損領域を撮像するための飛行経路F P Bを説明するための図
- [図18]欠損領域の撮像画像に基づく3次元形状データの生成と複数の3次元形状データの合成とを説明するための図
- [図19]3次元形状推定システムの第2動作例を示すフローチャート
- [図20]3次元形状推定システムの第3動作例を示すフローチャート
- [図21]第2の実施形態における3次元形状推定システムの構成例を示す模式図
- [図22]送信機のハードウェア構成の一例を示すブロック図

[図23]無人航空機のハードウェア構成の一例を示すブロック図

[図24]第3の実施形態における3次元形状推定システムの構成例を示す模式図

発明を実施するための形態

[0055] 以下、発明の実施の形態を通じて本発明を説明するが、以下の実施形態は特許請求の範囲に係る発明を限定するものではない。実施形態の中で説明されている特徴の組み合わせの全てが発明の解決手段に必須とは限らない。

[0056] 特許請求の範囲、明細書、図面、及び要約書には、著作権による保護の対象となる事項が含まれる。著作権者は、これらの書類の何人による複製に対しても、特許庁のファイル又はレコードに表示される通りであれば異議を唱えない。但し、それ以外の場合、一切の著作権を留保する。

[0057] 以下の実施形態では、飛行体として、無人航空機（UAV : Unmanned Aerial Vehicle）を例示する。本明細書に添付する図面では、無人航空機を「UAV」と表記する。3次元形状推定方法は、3次元形状推定システムにおける動作が規定されたものである。また、記録媒体は、プログラム（例えば無人航空機及び送信機の少なくとも一方に各種の処理を実行させるプログラム）が記録媒体に記録されたものである。

[0058] （第1の実施形態）

図1は、第1の実施形態における3次元形状推定システム10の構成例を示す模式図である。3次元形状推定システム10は、無人航空機100及び送信機50を備える。無人航空機100及び送信機50は、有線通信又は無線通信（例えば無線LAN（Local Area Network）、Bluetooth（登録商標））により通信可能である。

[0059] 図2は、無人航空機100の外観の一例を示す図である。図3は、無人航空機100の具体的な外観の一例を示す図である。無人航空機100が移動方向STVOに飛行する時の側面図が図2に示され、無人航空機100が移動方向STVOに飛行する時の斜視図が図3に示されている。

[0060] 図2及び図3に示すように、地面と平行であって移動方向STVOに沿う

方向にロール軸（ x 軸参照）が定義されたとする。この場合、地面と平行であってロール軸に垂直な方向にピッチ軸（ y 軸参照）が定められ、更に、地面に垂直であってロール軸及びピッチ軸に垂直な方向にヨー軸（ z 軸参照）が定められる。

[0061] 無人航空機 100 は、UAV 本体 102 と、ジンバル 200 と、撮像装置 220 と、複数の撮像装置 230 とを含む構成である。無人航空機 100 は、飛行体の一例である。撮像装置 220、230 は、撮像部の一例である。

[0062] UAV 本体 102 は、複数の回転翼を備える。UAV 本体 102 は、複数の回転翼の回転を制御することにより無人航空機 100 を飛行させる。UAV 本体 102 は、例えば 4 つの回転翼を用いて無人航空機 100 を飛行させる。回転翼の数は、4 つに限定されない。また、無人航空機 100 は、回転翼を有さない固定翼機でもよい。

[0063] 撮像装置 220 は、所望の撮像範囲に含まれる被写体（例えば、空撮対象となる上空の様子、山や川等の景色、地上の建物）を撮像する撮像用のカメラである。

[0064] 複数の撮像装置 230 は、無人航空機 100 の飛行を制御するために無人航空機 100 の周囲を撮像するセンシング用のカメラである。2 つの撮像装置 230 が、無人航空機 100 の機首である正面に設けられてよい。更に、他の 2 つの撮像装置 230 が、無人航空機 100 の底面に設けられてよい。正面側の 2 つの撮像装置 230 はペアとなり、いわゆるステレオカメラとして機能してよい。底面側の 2 つの撮像装置 230 もペアとなり、ステレオカメラとして機能してよい。複数の撮像装置 230 により撮像された画像に基づいて、無人航空機 100 の周囲の 3 次元空間データが生成されてよい。なお、無人航空機 100 が備える撮像装置 230 の数は 4 つに限定されない。無人航空機 100 は、少なくとも 1 つの撮像装置 230 を備えていればよい。無人航空機 100 は、無人航空機 100 の機首、機尾、側面、底面、及び天井面のそれぞれに少なくとも 1 つの撮像装置 230 を備えてよい。撮像装置 230 で設定できる画角は、撮像装置 220 で設定できる画角より広くて

よい。撮像装置 230 は、単焦点レンズ又は魚眼レンズを有してよい。

[0065] 図 4 は、無人航空機 100 のハードウェア構成の一例を示すブロック図である。無人航空機 100 は、UAV 制御部 110 と、通信インタフェース 150 と、メモリ 160 と、ジンバル 200 と、回転翼機構 210 と、撮像装置 220 と、撮像装置 230 と、GPS 受信機 240 と、慣性計測装置 (IMU: Inertial Measurement Unit) 250 と、磁気コンパス 260 と、気圧高度計 270 とを含む構成である。UAV 制御部 110 は、処理部の一例である。通信インタフェース 150 は、通信部の一例である。

[0066] UAV 制御部 110 は、例えば CPU (Central Processing Unit)、MPU (Micro Processing Unit) 又は DSP (Digital Signal Processor) を用いて構成される。UAV 制御部 110 は、無人航空機 100 の各部の動作を統括して制御するための信号処理、他の各部との間のデータの入出力処理、データの演算処理及びデータの記憶処理を行う。

[0067] UAV 制御部 110 は、メモリ 160 に格納されたプログラムに従って無人航空機 100 の飛行を制御する。UAV 制御部 110 は、通信インタフェース 150 を介して遠隔の送信機 50 から受信した命令に従って、無人航空機 100 の飛行を制御する。メモリ 160 は無人航空機 100 から取り外し可能であってもよい。

[0068] UAV 制御部 110 は、複数の撮像装置 230 により撮像された複数の画像を解析することで、無人航空機 100 の周囲の環境を特定してよい。UAV 制御部 110 は、無人航空機 100 の周囲の環境に基づいて、例えば障害物を回避して飛行を制御する。

[0069] UAV 制御部 110 は、現在の日時を示す日時情報を取得する。UAV 制御部 110 は、GPS 受信機 240 から現在の日時を示す日時情報を取得してよい。UAV 制御部 110 は、無人航空機 100 に搭載されたタイマ (不図示) から現在の日時を示す日時情報を取得してよい。

[0070] UAV 制御部 110 は、無人航空機 100 の位置を示す位置情報を取得する。UAV 制御部 110 は、GPS 受信機 240 から、無人航空機 100 が

存在する緯度、経度及び高度を示す位置情報を取得してよい。UAV制御部110は、GPS受信機240から無人航空機100が存在する緯度及び経度を示す緯度経度情報、並びに気圧高度計270から無人航空機100が存在する高度を示す高度情報をそれぞれ位置情報として取得してよい。

[0071] UAV制御部110は、磁気コンパス260から無人航空機100の向きを示す向き情報を取得する。向き情報には、例えば無人航空機100の機首の向きに対応する方位が示される。

[0072] UAV制御部110は、撮像装置220が撮像すべき撮像範囲を撮像する時に無人航空機100が存在すべき位置を示す位置情報を取得してよい。UAV制御部110は、無人航空機100が存在すべき位置を示す位置情報をメモリ160から取得してよい。UAV制御部110は、無人航空機100が存在すべき位置を示す位置情報を、通信インタフェース150を介して送信機50等の他の装置から取得してよい。UAV制御部110は、3次元地図データベースを参照して、撮像すべき撮像範囲を撮像するために、無人航空機100が存在可能な位置を特定して、その位置を無人航空機100が存在すべき位置を示す位置情報として取得してよい。

[0073] UAV制御部110は、撮像装置220及び撮像装置230のそれぞれの撮像範囲を示す撮像情報を取得する。UAV制御部110は、撮像範囲を特定するためのパラメータとして、撮像装置220及び撮像装置230の画角を示す画角情報を撮像装置220及び撮像装置230から取得する。UAV制御部110は、撮像範囲を特定するためのパラメータとして、撮像装置220及び撮像装置230の撮像方向を示す情報を取得する。UAV制御部110は、例えば撮像装置220の撮像方向を示す情報として、ジンバル200から撮像装置220の姿勢の状態を示す姿勢情報を取得する。UAV制御部110は、無人航空機100の向きを示す情報を取得する。撮像装置220の姿勢の状態を示す情報は、ジンバル200のピッチ軸及びヨー軸の基準回転角度からの回転角度を示す。UAV制御部110は、撮像範囲を特定するためのパラメータとして、無人航空機100が存在する位置を示す位置情

報を取得する。UAV制御部110は、撮像装置220及び撮像装置230の画角及び撮像方向、並びに無人航空機100が存在する位置に基づいて、撮像装置220が撮像する地理的な範囲を示す撮像範囲を画定し、撮像範囲を示す撮像情報を生成することで、撮像情報を取得してよい。

[0074] UAV制御部110は、撮像装置220が撮像すべき撮像範囲を示す撮像情報を取得してよい。UAV制御部110は、メモリ160から撮像装置220が撮像すべき撮像情報を取得してよい。UAV制御部110は、通信インタフェース150を介して送信機50等の他の装置から撮像装置220が撮像すべき撮像情報を取得してよい。

[0075] UAV制御部110は、無人航空機100の周囲に存在するオブジェクトの立体形状（3次元形状）を示す立体情報（3次元情報）を取得してよい。オブジェクトは、例えば、建物、道路、車、木等の風景の一部である。立体情報は、例えば、3次元空間データである。UAV制御部110は、複数の撮像装置230から得られたそれぞれの画像から、無人航空機100の周囲に存在するオブジェクトの立体形状を示す立体情報を生成することで、立体情報を取得してよい。UAV制御部110は、メモリ160に格納された3次元地図データベースを参照することにより、無人航空機100の周囲に存在するオブジェクトの立体形状を示す立体情報を取得してよい。UAV制御部110は、ネットワーク上に存在するサーバが管理する3次元地図データベースを参照することで、無人航空機100の周囲に存在するオブジェクトの立体形状に関する立体情報を取得してよい。

[0076] UAV制御部110は、撮像装置220及び撮像装置230により撮像された画像データを取得する。

[0077] UAV制御部110は、ジンバル200、回転翼機構210、撮像装置220、及び撮像装置230を制御する。UAV制御部110は、撮像装置220の撮像方向又は画角を変更することによって、撮像装置220の撮像範囲を制御する。UAV制御部110は、ジンバル200の回転機構を制御することで、ジンバル200に支持されている撮像装置220の撮像範囲を制

御する。

[0078] 本明細書では、撮像範囲は、撮像装置 220 又は撮像装置 230 により撮像される地理的な範囲をいう。撮像範囲は、緯度、経度、及び高度で定義される。撮像範囲は、緯度、経度、及び高度で定義される 3 次元空間データにおける範囲でよい。撮像範囲は、撮像装置 220 又は撮像装置 230 の画角及び撮像方向、並びに無人航空機 100 が存在する位置に基づいて特定される。撮像装置 220 及び撮像装置 230 の撮像方向は、撮像装置 220 及び撮像装置 230 の撮像レンズが設けられた正面が向く方位と俯角とから定義される。撮像装置 220 の撮像方向は、無人航空機 100 の機首の方位と、ジンバル 200 に対する撮像装置 220 の姿勢の状態とから特定される方向である。撮像装置 230 の撮像方向は、無人航空機 100 の機首の方位と、撮像装置 230 が設けられた位置とから特定される方向である。

[0079] UAV 制御部 110 は、回転翼機構 210 を制御することで、無人航空機 100 の飛行を制御する。つまり、UAV 制御部 110 は、回転翼機構 210 を制御することにより、無人航空機 100 の緯度、経度、及び高度を含む位置を制御する。UAV 制御部 110 は、無人航空機 100 の飛行を制御することにより、撮像装置 220 及び撮像装置 230 の撮像範囲を制御してよい。UAV 制御部 110 は、撮像装置 220 が備えるズームレンズを制御することで、撮像装置 220 の画角を制御してよい。UAV 制御部 110 は、撮像装置 220 のデジタルズーム機能を利用して、デジタルズームにより、撮像装置 220 の画角を制御してよい。

[0080] 撮像装置 220 が無人航空機 100 に固定され、撮像装置 220 を動かせない場合、UAV 制御部 110 は、特定の日時に特定の位置に無人航空機 100 を移動させることにより、所望の環境下で所望の撮像範囲を撮像装置 220 に撮像させることができる。あるいは撮像装置 220 がズーム機能を有さず、撮像装置 220 の画角を変更できない場合でも、UAV 制御部 110 は、特定された日時に、特定の位置に無人航空機 100 を移動させることで、所望の環境下で所望の撮像範囲を撮像装置 220 に撮像させることができ

る。

[0081] UAV制御部110は、飛行経路の生成に関する処理を行う飛行経路処理部111としての機能を含む。UAV制御部110は、撮像の制御に関する処理を行う撮像制御部112としての機能を含む。UAV制御部110は、3次元形状データの生成に関する処理を行う形状データ処理部113としての機能を含む。UAV制御部110は、欠損領域の検出に関する処理を行う欠損領域検出部114としての機能を含む。UAV制御部110は、無人航空機100の飛行の制御に関する処理を行う飛行制御部115としての機能を含む。飛行経路処理部111は、経路生成部の一例である。形状データ処理部113は、形状データ生成部の一例である。欠損領域検出部114は、検出部の一例である。

[0082] また、飛行経路処理部111は、送信機50が入力した入力パラメータを、通信インタフェース150を介して受信することで、取得してよい。入力パラメータは、メモリ160に保持されてよい。入力パラメータは、飛行範囲の情報、飛行範囲の中心位置（例えば緯度・経度）の情報、飛行範囲の半径の情報、飛行高度の情報、撮像距離の情報、撮像位置間隔の情報、を含んでよい。飛行範囲の内部に、無人航空機100が飛行するための飛行経路が形成される。撮像位置間隔は、飛行経路に配置される複数の撮像位置（Waypoint）のうち2つの隣り合う撮像位置の間隔（距離）である。

[0083] 飛行経路処理部111は、送信機50から受信した入力パラメータを基に、飛行範囲を算出してよい。飛行経路処理部111は、飛行範囲の中心位置と飛行範囲の半径とを基に、飛行範囲を円形状に近似して、飛行範囲を算出してよい。入力パラメータは、飛行範囲の周端の一辺の長さの情報を含んでよい。飛行経路処理部111は、飛行範囲を、飛行範囲の周端の一辺の長さを有する多角形状に近似して、飛行範囲を算出してよい。飛行経路処理部111は、飛行範囲を算出せずに、通信インタフェース150を介して送信機50が生成した飛行範囲の情報を送信機50から受信することで、飛行範囲を取得してよい。

- [0084] 飛行経路処理部 111 は、飛行範囲の内部に飛行経路 F P を生成する。飛行経路 F P は、同一高度において直線的に移動し、二次元（水平方向）の飛行範囲を順にスキャンのように通過する飛行経路 F P A でよい。つまり、飛行経路 F P A は、同一高度において第 1 方向に直線的に移動し、第 1 方向と垂直な第 2 方向に少しずれて、再度第 1 方向に直線的に移動することを繰り返す飛行経路 F P A でよい。飛行経路 F P A は、第 2 の飛行経路の一例である。
- [0085] 飛行経路 F P は、異なる高度を移動する飛行経路 F P B を含んでよい。飛行経路 F P B は、無人航空機 100 が初期位置となる初期経度・初期緯度・初期高度の位置において上昇又は下降を開始し、終了高度の位置において上昇又は下降を終了し、再度初期高度に向かって下降又は上昇する飛行経路でよい。飛行経路 F P B は、第 1 の飛行経路の一例である。
- [0086] 飛行経路 F P は、飛行経路 F P A 及び飛行経路 F P B の双方を含む飛行経路 F P C でもよい。飛行経路 F P C は、第 3 の飛行経路の一例である。
- [0087] 飛行経路処理部 111 は、飛行経路 F P 上に、撮像装置 220 又は 230 により撮像する撮像位置（Waypoint）を配置してよい。撮像位置の間隔（撮像位置間隔）は、例えば等間隔で配置されてよい。撮像位置は、隣り合う撮像位置での撮像画像に係る撮像範囲が一部重複するよう配置される。複数の撮像画像を用いた 3 次元復元を可能とするためである。撮像装置 220 又は 230 は所定の画角を有するので、撮像位置間隔を短くすることで、双方の撮像範囲の一部が重複する。
- [0088] 飛行経路処理部 111 は、入力パラメータに含まれる撮像位置間隔の情報を取得してよい。飛行経路処理部 111 は、撮像位置間隔を算出して取得してもよい。飛行経路処理部 111 は、例えば、撮像位置が配置される高度（撮像高度）、撮像装置 220 又は 230 の解像度に基づき、撮像位置間隔を算出してよい。撮像高度が高い程又は撮像距離が長い程、撮像範囲の重複率が大きくなるので、撮像位置間隔を長く（疎に）できる。撮像高度が低い程又は撮像距離が短い程、撮像範囲の重複率が小さくなるので、撮像位置間隔

を短く（密に）する。飛行経路処理部 111 は、更に撮像装置 220 又は 230 の画角を基に、撮像位置間隔を算出してよい。飛行経路処理部 111 は、その他公知の方法により撮像位置間隔を算出してよい。

[0089] 飛行経路 FPA では、撮像位置が同一高度に配置される。つまり、撮像位置が水平方向に並んで配置される。撮像制御部 112 は、飛行経路 FPA における各撮像位置において、撮像装置 220 又は 230 に鉛直方向を撮像させる。飛行経路 FPB では、撮像位置が異なる高度に配置される。つまり、撮像位置が水平方向に並んで配置される。撮像制御部 112 は、飛行経路 FPB における各撮像位置において、撮像装置 220 又は 230 に水平方向を撮像させる。尚、飛行経路 FPB では、同一高度で複数の撮像位置が設けられてもよい。飛行経路 FPC では、撮像位置が同一高度に配置される区間と、異なる高度に配置される区間と、を有する。撮像制御部 112 は、飛行経路 FPC における各撮像位置において、撮像装置 220 又は 230 に鉛直方向又は水平方向を撮像させる。飛行経路 FPA で撮像された撮像画像は、第 1 の撮像画像の一例である。飛行経路 FPB で撮像された撮像画像は、第 2 の撮像画像の一例である。

[0090] 飛行制御部 115 は、生成された飛行経路 FP に従って、無人航空機 100 の飛行を制御する。無人航空機 100 は、飛行制御部 115 の制御により、飛行経路 FPA を飛行してよい。無人航空機 100 は、飛行制御部 115 の制御により、飛行経路 FPB を飛行してよい。無人航空機 100 は、飛行制御部 115 の制御により、飛行経路 FPA と飛行経路 FPB を異なるタイミングで飛行してよい。つまり、無人航空機 100 は、飛行経路 FPA の飛行が終了した後一度帰還し、飛行経路 FPB の飛行を開始してよい。無人航空機 100 は、飛行制御部 115 の制御により、飛行経路 FPA と飛行経路 FPB とを連続的に飛行してよく、つまり飛行経路 FPC を飛行してよい。

[0091] 撮像制御部 112 は、飛行経路の途中に存在する撮像位置において、撮像装置 220 又は撮像装置 230 により鉛直方向又は水平方向を撮像させる。

撮像装置 220 又は撮像装置 230 により撮像された撮像画像は、メモリ 160 に保持されてよい。UAV 制御部 110 は、適宜（例えば 3 次元形状データの生成時）メモリ 160 を参照してよい。

[0092] 形状データ処理部 113 は、撮像装置 220、230 のいずれかにより異なる撮像位置において撮像された複数の撮像画像から、オブジェクト（被写体）の立体形状（3 次元形状）を示す立体情報（3 次元情報）を生成してよい。複数の撮像画像に基づく 3 次元形状の生成手法としては、公知の方法を用いてよい。公知の方法として、例えば、MVS（Multi View Stereo）、PMVS（Patch-based MVS）、SfM（Structure from Motion）が挙げられる。MVS 及び PMVS は、SfM による 3 次元形状の復元結果を改善するために使用されてよい。

[0093] 3 次元形状の生成に用いられる複数の撮像画像には、互いに撮像範囲が一部重複する 2 つの撮像画像が含まれる。3 次元形状の生成に用いられる撮像画像は、静止画でよい。この重複の割合（つまり撮像範囲の重複率）が高い程、同一範囲において 3 次元形状を生成する場合には、3 次元形状の生成に用いられる撮像画像の数が増える。従って、形状データ処理部 113 は、3 次元形状の復元精度を向上できる。一方、撮像範囲の重複率が低い程、同一範囲において 3 次元形状を生成する場合には、3 次元形状の生成に用いられる撮像画像の数が減る。従って、形状データ処理部 113 は、3 次元形状の生成時間を短縮できる。

[0094] 欠損領域検出部 114 は、3 次元形状データの生成の結果、欠損領域の有無を検出する。欠損領域は、3 次元空間上の領域であり、生成された 3 次元形状データを構成する点群データが所定数以上不在となる領域である。欠損領域は、生成された 3 次元形状データを構成する点群データが所定割合以上不在となる領域でもよい。欠損領域は、3 次元形状データの生成のために用いた撮像画像が不足する場合に発生する。例えば、上空からの撮像装置 220 又は 230 による撮像時に、オブジェクトの一部の影となり撮像されないオブジェクトの他の一部が存在するとする。この場合、撮像範囲内における

3次元空間の位置（緯度・経度・高度）毎のデータ（点群データの一例）としての画素値の情報が不足する。画素値の情報が不足する3次元空間の位置が発生すると、この位置の周辺領域における3次元形状データの復元精度が低下する。この周辺領域が欠損領域となる。

[0095] 撮像制御部112は、飛行経路FPBの各撮像位置又は飛行経路FPCにおける飛行経路FPBに相当する区間の各撮像位置において、撮像装置220又は230により、欠損領域の水平方向を撮像させる。これにより、欠損領域で不足していた点群データが補充され、形状データ処理部113は、3次元形状データの復元精度を向上できる。

[0096] 通信インタフェース150は、送信機50と通信する（図4参照）。通信インタフェース150は、送信機50からUAV制御部110に対する各種の命令や情報を受信する。

[0097] メモリ160は、UAV制御部110がジンバル200、回転翼機構210、撮像装置220、撮像装置230、GPS受信機240、慣性計測装置250、磁気コンパス260及び気圧高度計270を制御するのに必要なプログラム等を格納する。また、メモリ160は、UAV制御部110が、例えば、飛行経路処理部111、撮像制御部112、形状データ処理部113、欠損領域検出部114、及び飛行制御部115の実行に必要なプログラム等を格納する。メモリ160は、コンピュータ読み取り可能な記録媒体でよく、SRAM (Static Random Access Memory)、DRAM (Dynamic Random Access Memory)、EPROM (Erasable Programmable Read Only Memory)、EEPROM (Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory)、及びUSBメモリ等のフラッシュメモリの少なくとも1つを含んでよい。メモリ160は、UAV本体102の内部に設けられてよい。UAV本体102から取り外し可能に設けられてよい。

[0098] ジンバル200は、少なくとも1つの軸を中心に撮像装置220を回転可能に支持する。ジンバル200は、ヨー軸、ピッチ軸、及びロール軸を中心に撮像装置220を回転可能に支持してよい。ジンバル200は、ヨー軸、

ピッチ軸、及びロール軸の少なくとも１つを中心に撮像装置２２０を回転させることで、撮像装置２２０の撮像方向を変更してよい。

[0099] 回転翼機構２１０は、複数の回転翼と、複数の回転翼を回転させる複数の駆動モータとを有する。

[0100] 撮像装置２２０は、所望の撮像範囲の被写体を撮像して撮像画像のデータを生成する。撮像装置２２０の撮像により得られた画像データは、撮像装置２２０が有するメモリ、又はメモリ１６０に格納される。

[0101] 撮像装置２３０は、無人航空機１００の周囲を撮像して撮像画像のデータを生成する。撮像装置２３０の画像データは、メモリ１６０に格納される。

[0102] GPS受信機２４０は、複数の航法衛星（つまり、GPS衛星）から発信された時刻及び各GPS衛星の位置（座標）を示す複数の信号を受信する。GPS受信機２４０は、受信された複数の信号に基づいて、GPS受信機２４０の位置（つまり、無人航空機１００の位置）を算出する。GPS受信機２４０は、無人航空機１００の位置情報をUAV制御部１１０に出力する。なお、GPS受信機２４０の位置情報の算出は、GPS受信機２４０の代わりにUAV制御部１１０により行われてよい。この場合、UAV制御部１１０には、GPS受信機２４０が受信した複数の信号に含まれる時刻及び各GPS衛星の位置を示す情報が入力される。

[0103] 慣性計測装置２５０は、無人航空機１００の姿勢を検出し、検出結果をUAV制御部１１０に出力する。慣性計測装置IMU２５０は、無人航空機１００の姿勢として、無人航空機１００の前後、左右、及び上下の３軸方向の加速度と、ピッチ軸、ロール軸、及びヨー軸の３軸方向の角速度とを検出する。

[0104] 磁気コンパス２６０は、無人航空機１００の機首の方位を検出し、検出結果をUAV制御部１１０に出力する。

[0105] 気圧高度計２７０は、無人航空機１００が飛行する高度を検出し、検出結果をUAV制御部１１０に出力する。

[0106] 次に、送信機５０の構成例について説明する。図５は、送信機５０の外観

の一例を示す斜視図である。送信機 50 に対する上下前後左右の方向は、図 5 に示す矢印の方向にそれぞれ従うとする。

[0107] 送信機 50 は、例えば送信機 50 を使用する人物（以下、「操作者」という）の両手で把持された状態で使用される。送信機 50 は、例えば略正方形の底面を有し、かつ高さが底面の一边より短い略直方体（言い換えると、略箱形）の形状をした樹脂製の筐体 50B を有する。送信機 50 の具体的な構成は図 4 を参照して後述する。送信機 50 の筐体表面の略中央には、左制御棒 53L と右制御棒 53R とが突設して配置される。

[0108] 左制御棒 53L、右制御棒 53R は、それぞれ操作者による無人航空機 100 の移動を遠隔で制御（例えば、無人航空機 100 の前後移動、左右移動、上下移動、向き変更）するための操作において使用される。図 5 では、左制御棒 53L 及び右制御棒 53R は、操作者の両手からそれぞれ外力が印加されていない初期状態の位置が示されている。左制御棒 53L 及び右制御棒 53R は、操作者により印加された外力が解放された後、自動的に所定位置（例えば図 5 に示す初期位置）に復帰する。

[0109] 左制御棒 53L の手前側（言い換えると、操作者側）には、送信機 50 の電源ボタン B1 が配置される。電源ボタン B1 が操作者により一度押下されると、例えば送信機 50 に内蔵されるバッテリー（不図示）の容量の残量がバッテリー残量表示部 L2 において表示される。電源ボタン B1 が操作者によりもう一度押下されると、例えば送信機 50 の電源がオンとなり、送信機 50 の各部（図 6 参照）に電源が供給されて使用可能となる。

[0110] 右制御棒 53R の手前側（言い換えると、操作者側）には、RTH（Return To Home）ボタン B2 が配置される。RTH ボタン B2 が操作者により押下されると、送信機 50 は、無人航空機 100 に所定の位置に自動復帰させるための信号を送信する。これにより、送信機 50 は、無人航空機 100 を所定の位置（例えば無人航空機 100 が記憶している離陸位置）に自動的に帰還させることができる。RTH ボタン B2 は、例えば屋外での無人航空機 100 による空撮中に操作者が無人航空機 100 の機体を見失った場合、又は

電波干渉や予期せぬトラブルに遭遇して操作不能になった場合等に利用可能である。

[0111] 電源ボタン B 1 及び R T H ボタン B 2 の手前側（言い換えると、操作者側）には、リモートステータス表示部 L 1 及びバッテリー残量表示部 L 2 が配置される。リモートステータス表示部 L 1 は、例えば L E D（Light Emission Diode）を用いて構成され、送信機 5 0 と無人航空機 1 0 0 との無線の接続状態を表示する。バッテリー残量表示部 L 2 は、例えば L E D を用いて構成され、送信機 5 0 に内蔵されたバッテリー（不図示）の容量の残量を表示する。

[0112] 左制御棒 5 3 L 及び右制御棒 5 3 R より後側であって、かつ送信機 5 0 の筐体 5 0 B の後方側面から、2 つのアンテナ A N 1, A N 2 が突設して配置される。アンテナ A N 1, A N 2 は、操作者の左制御棒 5 3 L 及び右制御棒 5 3 R の操作に基づき、送信機制御部 6 1 により生成された信号（つまり、無人航空機 1 0 0 の移動を制御するための信号）を無人航空機 1 0 0 に送信する。アンテナ A N 1, A N 2 は、例えば 2 k m の送受信範囲をカバーできる。また、アンテナ A N 1, A N 2 は、送信機 5 0 と無線接続中の無人航空機 1 0 0 が有する撮像装置 2 2 0, 2 3 0 により撮像された画像、又は無人航空機 1 0 0 が取得した各種データが無人航空機 1 0 0 から送信された場合に、これらの画像又は各種データを受信できる。

[0113] 表示部 D P は、例えば L C D（Crystal Liquid Display）を含んで構成される。表示部 D P は、各種データを表示する。表示部 D P の形状、サイズ、及び配置位置は、任意であり、図 5 の例に限られない。

[0114] 図 6 は、送信機 5 0 のハードウェア構成の一例を示すブロック図である。送信機 5 0 は、左制御棒 5 3 L と、右制御棒 5 3 R と、送信機制御部 6 1 と、無線通信部 6 3 と、電源ボタン B 1 と、R T H ボタン B 2 と、操作部セット O P S と、リモートステータス表示部 L 1 と、バッテリー残量表示部 L 2 と、表示部 D P とを含む構成である。送信機 5 0 は、通信端末の一例である。無線通信部 6 3 は、通信部の一例である。

[0115] 左制御棒 5 3 L は、例えば操作者の左手により、無人航空機 1 0 0 の移動

を遠隔で制御するための操作に使用される。右制御棒53Rは、例えば操作者の右手により、無人航空機100の移動を遠隔で制御するための操作に使用される。無人航空機100の移動は、例えば前進する方向の移動、後進する方向の移動、左方向の移動、右方向の移動、上昇する方向の移動、下降する方向の移動、左方向に無人航空機100を回転する移動、右方向に無人航空機100を回転する移動のうちいずれか又はこれらの組み合わせであり、以下同様である。

[0116] 電源ボタンB1は一度押下されると、一度押下された旨の信号が送信機制御部61に入力される。送信機制御部61は、この信号に従い、送信機50に内蔵されるバッテリー（不図示）の容量の残量をバッテリー残量表示部L2に表示する。これにより、操作者は、送信機50に内蔵されるバッテリーの容量の残量を簡単に確認できる。また、電源ボタンB1は二度押下されると、二度押下された旨の信号が送信機制御部61に渡される。送信機制御部61は、この信号に従い、送信機50に内蔵されるバッテリー（不図示）に対し、送信機50内の各部への電源供給を指示する。これにより、操作者は、送信機50の電源がオンとなり、送信機50の使用を簡単に開始できる。

[0117] RTHボタンB2は押下されると、押下された旨の信号が送信機制御部61に入力される。送信機制御部61は、この信号に従い、無人航空機100に所定の位置（例えば無人航空機100の離陸位置）に自動復帰させるための信号を生成し、無線通信部63及びアンテナAN1、AN2を介して無人航空機100に送信する。これにより、操作者は、送信機50に対する簡単な操作により、無人航空機100を所定の位置に自動で復帰（帰還）させることができる。

[0118] 操作部セットOPSは、複数の操作部（例えば操作部OP1、…、操作部OPn）（n：2以上の整数）を用いて構成される。操作部セットOPSは、図4に示す左制御棒53L、右制御棒53R、電源ボタンB1及びRTHボタンB2を除く他の操作部（例えば、送信機50による無人航空機100の遠隔制御を支援するための各種の操作部）により構成される。ここでいう

各種の操作部とは、例えば、無人航空機 100 の撮像装置 220 を用いた静止画の撮像を指示するボタン、無人航空機 100 の撮像装置 220 を用いた動画の録画の開始及び終了を指示するボタン、無人航空機 100 のジンバル 200（図 4 参照）のチルト方向の傾きを調整するダイヤル、無人航空機 100 のフライトモードを切り替えるボタン、無人航空機 100 の撮像装置 220 の設定を行うダイヤルが該当する。

[0119] また、操作部セット OPS は、無人航空機 100 の撮像間隔位置、撮像位置、又は飛行経路を生成するための入力パラメータの情報を入力するパラメータ操作部 OPA を有する。パラメータ操作部 OPA は、スティック、各種ボタン、各種キー、タッチパネル、等により形成されてよい。また、パラメータ操作部 OPA は、左制御棒 53 L、右制御棒 53 R でもよい。パラメータ操作部 OPA により入力パラメータに含まれる各パラメータを入力するタイミングは、同じでも異なってもよい。

[0120] 入力パラメータは、飛行範囲の情報、飛行範囲の中心位置（例えば緯度・経度）の情報、飛行範囲の半径の情報、飛行高度の情報、撮像距離の情報、撮像位置間隔の情報、を含んでよい。

[0121] パラメータ操作部 OPA は、緯度・経度の具体的な値又は範囲を入力することで、飛行範囲の情報、飛行範囲の半径（飛行経路の半径）の情報、飛行範囲の中心位置（例えば緯度・経度）の情報、飛行高度の情報、撮像距離の情報、撮像位置間隔の情報、の少なくとも 1 つを入力してよい。

[0122] リモートステータス表示部 L1 及びバッテリー残量表示部 L2 は、図 5 を参照して説明したので、ここでは説明を省略する。

[0123] 送信機制御部 61 は、プロセッサ（例えば CPU、MPU 又は DSP）を用いて構成される。送信機制御部 61 は、送信機 50 の各部の動作を統括して制御するための信号処理、他の各部との間のデータの入出力処理、データの演算処理及びデータの記憶処理を行う。

[0124] 例えば送信機制御部 61 は、操作者の左制御棒 53 L 及び右制御棒 53 R の操作により、その操作により指定された無人航空機 100 の移動を制御す

るための信号を生成する。送信機制御部 61 は、この生成した信号を、無線通信部 63 及びアンテナ AN1, AN2 を介して、無人航空機 100 に送信して無人航空機 100 を遠隔制御する。これにより、送信機 50 は、無人航空機 100 の移動を遠隔で制御できる。

[0125] 例えば送信機制御部 61 は、無線通信部 63 を介して外部サーバ等が蓄積する地図データベースの地図情報を取得する。送信機制御部 61 は、表示部 DP を介して地図情報を表示し、パラメータ操作部 OPA を介して地図情報でのタッチ操作等により、飛行範囲を選択して、飛行範囲の情報、飛行範囲の半径（飛行経路の半径）の情報、飛行範囲の中心位置の情報（例えば緯度・経度）、飛行範囲の周端の一辺の長さの情報、の少なくとも 1 つを取得してよい。

[0126] 例えば送信機制御部 61 は、パラメータ操作部 OPA により入力された入力パラメータを、無線通信部 63 を介して無人航空機 100 へ送信する。入力パラメータに含まれる各パラメータの送信タイミングは、全て同じタイミングでも異なるタイミングでもよい。

[0127] 送信機制御部 61 は、パラメータ操作部 OPA により得られた入力パラメータの情報を取得し、表示部 DP 及び無線通信部 63 へ送る。

[0128] 無線通信部 63 は、2 つのアンテナ AN1, AN2 と接続される。無線通信部 63 は、2 つのアンテナ AN1, AN2 を介して、無人航空機 100 との間で所定の無線通信方式（例えば W i f i （登録商標））を用いた情報やデータの送受信を行う。無線通信部 63 は、送信機制御部 61 からの入力パラメータの情報を、無人航空機 100 へ送信する。

[0129] 表示部 DP は、送信機制御部 61 により処理された各種データを表示してよい。表示部 DP は、入力された入力パラメータの情報を表示する。従って、送信機 50 の操作者は、表示部 DP を参照することで、入力パラメータの内容を確認できる。

[0130] 尚、送信機 50 は、表示部 DP を備える代わりに、表示端末（不図示）と有線又は無線により接続されてもよい。表示端末には、表示部 DP と同様に

、入力パラメータの情報が表示されてよい。表示端末は、スマートフォン、タブレット端末、PC (Personal Computer) 等でよい。また、表示端末が入力パラメータの少なくとも1つを入力し、入力パラメータを有線通信又は無線通信で送信機50へ送り、送信機50の無線通信部63が無人航空機100へ入力パラメータを送信してもよい。

[0131] 次に、3次元形状推定システム10の動作例について説明する。

[0132] 図7は、飛行範囲の入力例を説明するための図である。

[0133] 送信機50では、パラメータ操作部OPAが、飛行範囲A1の情報を入力する。パラメータ操作部OPAは、飛行範囲A1として、地図情報M1に示された3次元形状データの生成を望む所望の範囲のユーザ入力を受け付けてよい。飛行範囲A1の情報は、所望の範囲に限らず、所定の飛行範囲でもよい。所定の飛行範囲は、例えば定期的に3次元形状データを生成して3次元形状を計測するための範囲の1つでもよい。

[0134] 図8は、飛行経路FPAでの概略撮像を説明するための図である。

[0135] 飛行経路処理部111は、飛行経路FPAでは、各撮像位置CPの間隔（撮像位置間隔）を、間隔d11に設定してよい。間隔d11は、オブジェクト（例えば建物）のサイズが推定可能となる程度の疎な間隔（例えば数10m間隔）である。間隔d11は、少なくとも、隣り合う撮像位置CPでの撮像範囲が一部重複する間隔に設定される。飛行経路FPAの間隔d11での各撮像位置CPでの撮像を、概略撮像と称してよい。無人航空機100は、疎な間隔で撮像することで、密な間隔で撮像するよりも撮像時間を短縮できる。無人航空機100が飛行する飛行経路の鉛直方向（地面に向かう方向）には、建物BLや山MTを含む景色が広がっていてよい。従って、建物BLや山MTは、撮像範囲に存在し、撮像対象となる。

[0136] 図9は、飛行経路FPAにより得られた概略撮像に基づく3次元形状データの生成を説明するための図である。

[0137] 形状データ処理部113は、飛行経路FPAの概略撮像により各撮像位置CPで得られた複数の撮像画像C11を基に、3次元形状データSD1を生

成する。３次元形状推定システム１０のユーザは、３次元形状データＳＤ１を表示等により確認することで、飛行経路ＦＰＡの鉛直方向に存在した地面の概略形状を把握できる。３次元形状推定システム１０のユーザは、概略撮像に基づく３次元形状データＳＤ１により得られる形状（概略形状）の確認により、山ＭＴが存在することは確認可能であるが、建物ＢＬの存在は確認できない。これは、山ＭＴはその輪郭がなだらかであり、飛行経路ＦＰＡに従う上空から撮像しても、撮像画像Ｃ１１内に３次元形状データＳＤ１の生成に必要な画像が足りるためである。また、これは、建物ＢＬはその輪郭が鉛直方向に略平行となり、建物ＢＬの上空で水平方向に無人航空機１００が進行する飛行経路ＦＰＡの撮像位置ＣＰにおいて、建物ＢＬの側面を十分に撮像することが困難であるためである。つまり、建物ＢＬの周辺は、欠損領域となる。よって、形状データ処理部１１３は、概略撮像に係る撮像画像に基づく３次元形状データＳＤ１を生成することで、欠損領域を表現できる。３次元形状データＳＤ１は、飛行範囲における第１の３次元形状の一例である。

[0138] 図１０は、欠損領域の検出を説明するための図である。

[0139] 欠損領域検出部１１４は、生成された３次元形状データＳＤ（ＳＤ１）において、欠損領域ＬＡを検出する。欠損領域ＬＡは、１つ検出されても複数検出されてもよい。欠損領域ＬＡは、建物ＢＬの側面において、３次元形状データＳＤ１を生成するための画像情報、つまり３次元空間上の位置での画素値の情報が不足するために発生し得る。また、欠損領域ＬＡは、撮像装置２２０又は２３０を視点とすると、建物ＢＬ（例えばパラボラアンテナ）の一部（例えばパラボラアンテナの反射鏡）に覆われている建物ＢＬの他部（例えばパラボラアンテナの基台）において、３次元形状データＳＤ１を生成するための画像情報が不足するために発生し得る。

[0140] 図１１は、飛行経路ＦＰＢの生成例を説明するための図である。

[0141] 飛行経路処理部１１１は、飛行経路ＦＰＢに係る撮像距離及び撮像位置間隔を取得する。飛行経路ＦＰＢに係る撮像距離は、無人航空機１００と欠損

領域L Aとの距離である。図11では、欠損領域L Aとして建物B Lの領域が示されている。飛行経路処理部111は、入力パラメータに含まれる撮像距離の情報を取得してよい。飛行経路処理部111は、入力パラメータに含まれる撮像装置220又は230の解像度の情報を取得して、解像度を基に撮像距離を算出してよい。撮像距離が短い程、欠損領域L Aを被写体とした大きな撮像画像を取得できるので、形状データ処理部113は、3次元形状の推定精度を向上できる。

[0142] 飛行経路F P Bに係る撮像位置間隔は、欠損領域L Aを異なる高度で撮像するための複数の撮像位置のうち隣り合う2つの撮像位置間の空間的な間隔（距離）である。ここでの複数の撮像位置は、鉛直方向に沿って並んで配置されてよい。飛行経路処理部111は、撮像距離及び撮像位置間隔に基づいて、撮像位置を決定してよい。撮像距離及び撮像位置間隔に基づく撮像位置の決定方法は、公知の方法でよい。撮像位置は、欠損領域L Aを撮像するための位置であるので、欠損領域L Aの領域外に配置されてよい。

[0143] 飛行経路処理部111は、配置された各撮像位置C Pを通過する飛行経路F P Bを生成する。飛行経路処理部111は、欠損領域L Aが複数存在する場合、1つの欠損領域L Aを撮像するための各撮像位置C Pを通過する飛行経路F P Bを複数生成してよい。飛行経路処理部111は、欠損領域L Aが複数存在する場合、各欠損領域L Aを撮像するための各撮像位置C Pを一度に通過する1つの飛行経路F P Bを生成してよい。

[0144] 飛行経路F P Bは、欠損領域L Aの側方を周回する飛行経路でもよい。飛行経路F P Bは、複数の飛行コースを有してよい。同一の飛行コース上の各位置は、同一高度でよい。1つの飛行コースにおいて、複数の撮像位置C Pを含んでよい。同一高度で複数の撮像位置C Pが配置されることで、欠損領域L A周辺の同一高度での撮像画像の数が増加する。そのため、形状データ処理部113は、欠損領域L A周辺の各高度に係る3次元形状の推定精度を向上できる。

[0145] 図12は、飛行経路F P Cの生成例を説明するための図である。

[0146] 飛行経路処理部 111 は、飛行経路 F P C の飛行経路 F P A に相当する区間では、各撮像位置 C P の間隔（撮像位置間隔）を、間隔 d 1 2 に設定してよい。間隔 d 1 2 は、間隔 d 1 1 よりも短い間隔であり、密な間隔である。よって、間隔 d 1 2 は、隣り合う撮像位置 C P での撮像範囲が一部重複する間隔となる。飛行区間 f p a（飛行経路 F P A）の間隔 d 1 2 での各撮像位置 C P での撮像を、詳細撮像と称してよい。

[0147] 撮像位置間隔を密にするとは、解像度を高くするとも言える。密な間隔 d 1 2 での撮像では、疎な間隔 d 1 1 での撮像と比較して、撮像範囲の重複率を維持する場合、被写体との距離が近くなり、撮像位置間隔も短くなる。例えば、密な間隔 d 1 2 での撮像では、疎な間隔 d 1 1（例えば 20 m 間隔）での撮像と比較して 4 倍の解像度が求められる場合、撮像距離が $1/4$ になり、間隔 d 1 2 が $1/4$ （例えば 5 m 間隔）になる。

[0148] 飛行経路処理部 111 は、飛行経路 F P C の飛行経路 F P A に相当する飛行区間 f p a での各撮像位置 C P の位置情報（緯度・経度を含む）と欠損領域 L A 1 の位置情報（緯度・経度を含む）とを比較し、欠損領域 L A 1 の位置に 1 番目及び 2 番目に近い 2 つの撮像位置 C P A, C P B を特定する。飛行経路処理部 111 は、飛行区間 f p a における特定された撮像位置 C P（C P A, C P B）の間に、飛行経路 F P B に相当する飛行区間 f p b を挿入する。つまり、飛行経路処理部 111 は、飛行経路 F P A の途中に飛行経路 F P B が挿入された飛行経路 F P C を生成する（S 1 6）。よって、飛行経路 F P C は、無人航空機 100 が飛行区間 f p a を飛行して欠損領域 L A に接近すると、飛行区間 f p b に切り替え、飛行区間 f p b の飛行終了後に再度飛行区間 f p a に戻る飛行経路となる。

[0149] 尚、撮像位置 C P A, C P B の位置は、1 番目及び 2 番目に近い位置でなくてもよい。飛行区間 f p a（飛行経路 F P A）の間隔 d 1 2 での各撮像位置 C P での撮像と飛行区間 f p b での各撮像位置 C P での撮像とを組み合わせ、飛行経路 F P C の詳細撮像と称してもよい。

[0150] 図 1 3 は、飛行経路 F P C により得られた撮像画像に基づく 3 次元形状デ

ータの生成例を説明するための図である。

[0151] 撮像制御部 112 は、飛行経路 FPC における飛行区間 fpa の各撮像位置 CP では、鉛直方向を撮像させる。撮像制御部 112 は、飛行経路 FPC における飛行区間 fpb の各撮像位置 CP では、撮像装置 220 又は 230 を欠損領域 LA に向けて水平方向を撮像させる。無人航空機 100 は、鉛直方向とともに欠損領域 LA の水平方向を撮像することで、飛行経路 FPA での撮像では困難な欠損領域 LA の水平方向等の画像を撮像できる。

[0152] 形状データ処理部 113 は、飛行経路 FPC の各撮像位置で得られた複数の撮像画像 C12 を基に、3次元形状データ SD (SD2) を生成する。3次元形状推定システム 10 のユーザは、飛行経路 FPC で得られた 3次元形状データを表示等により確認することで、飛行経路 FPC の鉛直方向に存在した地面形状を把握できる。この形状には、例えば山 M や川等の景色の他に、ビルや巨大なパラボラアンテナ等の建物 BL が含まれてよい。従って、無人航空機 100 は、飛行経路 FPC における飛行区間 fpa の鉛直方向に存在した地面の概略形状を表現でき、更に飛行区間 fpb の水平方向に存在した欠損領域 LA1 の形状（例えば欠損領域 LA1 内の建物の形状）を表現できる。3次元形状データ SD2 は、飛行範囲における第 2 の 3次元形状データの一例である。

[0153] 図 14 は、3次元形状推定システム 10 の第 1 動作例を示すフローチャートである。

[0154] 送信機 50 では、パラメータ操作部 OPA が、飛行範囲 A1 の情報を入力する。

[0155] 無人航空機 100 では、飛行経路処理部 111 が、通信インタフェース 150 を介して飛行範囲 A1 の情報を送信機 50 から受信して、飛行範囲 A1 の情報を取得する (S11)。飛行範囲 A1 の情報は、メモリ 160 に保持されてよい。

[0156] 飛行経路処理部 111 は、撮像位置間隔が間隔 d11 である、つまり撮像位置間隔が疎な飛行経路 FPA (FPA1) を生成する (S12)。飛行経

路 F P A 1 の情報は、メモリ 1 6 0 に保持されてよい。

[0157] 撮像制御部 1 1 2 は、飛行経路 F P A 1 の各撮像位置 C P で、撮像装置 2 2 0 又は 2 3 0 に鉛直方向の画像を撮像させる (S 1 3)。この撮像は、概略撮像となる。S 1 3 で得られた撮像画像 C I (C I 1) は、メモリ 1 6 0 に保持されてよい。

[0158] 形状データ処理部 1 1 3 は、S 1 3 で得られた複数の撮像画像 C I 1 を基に、3次元形状データ S D (S D 1) を生成する (S 1 4)。3次元形状データ S D 1 は、メモリ 1 6 0 に保持されてよい。

[0159] 欠損領域検出部 1 1 4 は、生成された3次元形状データ S D 1 において、欠損領域 L A (L A 1) を検出する (S 1 5)。欠損領域検出部 1 1 4 は、欠損領域 L A 1 の位置情報を取得する。欠損領域検出部 1 1 4 は、欠損領域 L A 1 が存在する3次元空間上の位置 (例えば緯度・経度・高度) の情報を得て、メモリ 1 6 0 に保持させてよい。

[0160] 飛行経路処理部 1 1 1 は、欠損領域 L A 1 を撮像するための飛行経路 F P B (F P B 1) を生成する (S 1 6)。この飛行経路 F P B 1 は、飛行経路 F P C に含まれる飛行区間 f p b となる。生成された飛行経路 F P B 1 (飛行区間 f p b 1) の情報は、メモリ 1 6 0 に保持されてよい。

[0161] 飛行経路処理部 1 1 1 は、撮像位置間隔が間隔 d 1 2 である、つまり撮像位置間隔が密な飛行区間 f p a (f p a 1) と、S 1 6 で生成された飛行区間 f p b (f p b 1) と、を含む飛行経路 F P C (F P C 1) を生成する (S 1 7)。飛行経路 F P C 1 は、詳細撮像のための飛行経路となる。生成された飛行経路 F P C の情報は、メモリ 1 6 0 に保持されてよい。つまり、飛行経路 F P C 1 は、元の飛行経路 F P A 1 に相当する飛行区間 f p a (f p a 1) を含む。無人航空機 1 0 0 は、S 1 3 での概略撮像後に再度飛行する際、飛行区間 f p a 1 のルートに従って、欠損領域 L A 1 に近づくと (つまり欠損領域 1 との距離が所定距離以内となると)、飛行経路 F P B 1 に相当する飛行区間 f p b 1 に遷移し、欠損領域 L A 1 の撮像ポイントにおいて下降する。

- [0162] 飛行制御部 115 は、飛行経路 F P C 1 に従って無人航空機 100 の飛行を制御する。飛行経路 F P C 1 の各撮像位置 C P で、撮像装置 220 又は 230 に画像を撮像させる (S 18)。S 18 で得られた撮像画像 C 1 (C 12) は、メモリ 160 に保持されてよい。この撮像は、飛行経路 F P C 1 の詳細撮像となる。尚、S 18 での撮像は、飛行経路 F P C 1 の飛行区間 f p a 1 における撮像が、密な間隔 d 12 での撮像である詳細撮像でなく、疎な間隔 d 11 での撮像である概略撮像でもよい。
- [0163] 形状データ処理部 113 は、S 18 で得られた複数の撮像画像 C 12 を基に、3次元形状データ S D 2 を生成する (S 19)。3次元形状データ S D 2 は、メモリ 160 に保持されてよい。
- [0164] 3次元形状推定システム 10 の第 1 動作例によれば、無人航空機 100 は、飛行区間 f p a と飛行区間 f p b とを含む飛行経路 F P C の各撮像位置で画像を撮像するので、地面が存在する鉛直方向と欠損領域 L A 1 の水平方向とを撮像できる。よって、無人航空機 100 は、欠損領域 L A 1 周辺での 3次元形状データ S D 2 を取得でき、欠損領域 L A 周辺での 3次元形状を推定できる。また、無人航空機 100 は、飛行範囲 A 1 全体での 3次元形状データ S D 2 を取得でき、飛行範囲 A 1 全体での 3次元形状を推定できる。
- [0165] また、無人航空機 100 は、飛行経路 F P A 又は飛行区間 f p a について概略撮像に係る撮像位置間隔を詳細撮像に係る撮像位置間隔よりも短くすることで、概略撮像に係る撮像時間を短縮でき、飛行経路 F P A 1 の飛行時間を短縮できる。また、無人航空機 100 は、概略撮像に係る撮像位置間隔を詳細撮像に係る撮像位置間隔よりも短くすることで、詳細撮像に係る撮像画像の枚数を増大でき、増大した撮像画像を 3次元形状データの生成に使用することで、3次元形状の復元精度を向上できる。
- [0166] 図 15 は、飛行経路 F P A での詳細撮像を説明するための図である。
- [0167] 飛行経路処理部 111 は、飛行経路 F P A では、各撮像位置 C P の間隔 (撮像位置間隔) を、間隔 d 13 に設定してよい。飛行経路処理部 111 は、飛行経路 F P A では、各撮像位置 C P の間隔を、間隔 d 13 に設定してよい

。間隔 d_{13} は、間隔 d_{11} より短く、間隔 d_{12} と同じでよい。つまり、飛行経路処理部 111 は、各撮像位置 CP の間隔を密な間隔に設定してよい。よって、間隔 d_{12} は、隣り合う撮像位置 CP での撮像範囲が一部重複する間隔となる。飛行経路 FPA は、飛行範囲 A1 の全体にわたって撮像するための全体撮像に用いられてよい。

[0168] また、飛行経路処理部 111 は、入力パラメータに含まれる撮像装置 220 又は 230 の解像度の情報を取得し、解像度の情報を基に、各撮像位置 CP の間隔 d_{13} を算出してよい。解像度の情報に基づく各撮像位置 CP の間隔 d_{13} の算出方法は、公知の方法でよい。また、間隔 d_{13} の情報は、入力パラメータに含めて送信機 50 から受信してもよい。飛行経路 FPA の間隔 d_{13} での各撮像位置 CP での撮像を、詳細撮像と称してよい。無人航空機 100 は、密な間隔で撮像することで、撮像画像を多数取得できる。無人航空機 100 が飛行する飛行経路の鉛直方向（地面に向かう方向）には、建物 BL や山 MT を含む景色が広がっていてよい。従って、建物 BL や山 MT は、撮像範囲に存在し、撮像対象となる。

[0169] 図 16 は、飛行経路 FPA により得られた詳細撮像に基づく 3 次元形状データの生成を説明するための図である。

[0170] 形状データ処理部 113 は、飛行経路 FPA の詳細撮像により各撮像位置 CP で得られた複数の撮像画像 C13 を基に、3 次元形状データ SD3 を生成する。3 次元形状推定システム 10 のユーザは、3 次元形状データ SD3 を表示等により確認することで、飛行経路 FPA の鉛直方向に存在した地面の形状を把握できる。この形状には、例えば山 MT や川等の景色が含まれる。これにより、無人航空機 100 は、撮像画像 C13 を基に、欠損領域が発生する可能性はあるが、飛行範囲 A1 におけるおおよその 3 次元形状を復元できる。3 次元形状データ SD3 は、メモリ 160 に保持されてよい。尚、ここでは、形状データ処理部 113 は、密な間隔で配置された各撮像位置 CP での撮像画像 C13 に基づいて 3 次元形状データ SD3 を生成可能である。そのため、3 次元形状データ SD3 では、山 MT の輪郭は疎な概略撮像に

基づく 3 次元形状データ S D 1 よりも明確に表現される。しかし、密な間隔であっても、上空を水平方向に進行する飛行経路 F P A 3 の各撮像位置 C P で撮像するので、無人航空機 1 0 0 は、建物 B L 等の側面を撮像することは困難である。

[0171] 図 1 7 は、複数の欠損領域 L A を撮像するための飛行経路 F P B を説明するための図である。

[0172] 飛行経路処理部 1 1 1 は、配置された各撮像位置 C P を通過する飛行経路 F P B を生成する。図 1 7 では、欠損領域 L A が複数存在しており、飛行経路処理部 1 1 1 は、各欠損領域 L A を撮像するための各撮像位置 C P を一度に通過する 1 つの飛行経路 F P B を生成する。図 1 7 では、欠損領域 L A として建物 B L の領域が示されている。この飛行経路 F P B は、無人航空機 1 0 0 が水平方向に飛行する区間（水平区間）を含んでよいが、水平区間には撮像位置が設けられず、水平区間では撮像されない。言い換えると、飛行経路処理部 1 1 1 は、元の飛行経路 F P A （F P A 2）に従わず、欠損領域 L A のみを撮像するための撮像ルートとしての飛行経路 F P B （F P B 2）を生成する。つまり、飛行経路処理部 1 1 1 は、水平方向において撮像位置 C P を通過せず、欠損領域 L A を撮像するための撮像位置 C P を連結して飛行経路 F P B （F P B 2）を生成する。

[0173] 図 1 8 は、欠損領域 L A の撮像画像に基づく 3 次元形状データの生成と複数の 3 次元形状データの合成とを説明するための図である。

[0174] 形状データ処理部 1 1 3 は、飛行経路 F P B の各撮像位置 C P で撮像された複数の撮像画像 C I 4 に基づいて、3 次元形状データ S D 4 を生成する。飛行経路 F P B では欠損領域 L A の水平方向が撮像される。従って、3 次元形状推定システム 1 0 のユーザは、3 次元形状データ S D 4 に基づく表示を確認することで、欠損領域 L A 周辺の 3 次元形状（例えば欠損領域 L A 内の建物 B L の形状）を把握できる。

[0175] 形状データ処理部 1 1 3 は、複数の 3 次元形状データを合成してよい。例えば、形状データ処理部 1 1 3 は、飛行経路 F P A により得られた詳細撮像

に基づく3次元形状データSD3と、飛行経路FPBにより得られた欠損領域LAの撮像画像に基づく3次元形状データSD4と、を合成してよい。形状データ処理部113は、複数の3次元形状データの合成では、各3次元形状データSD3、SD4の特徴点を比較して、類似の特徴点を合わせることで合成してよい。つまり、形状データ処理部113は、各3次元形状データSD3、SD4の位置合わせを実施してよい。この位置合わせは、剛体レジストレーションでよい。剛体レジストレーションでは、生成された3次元形状データSD3、SD4が形状変化せずに、位置合わせされる。

[0176] 図19は、3次元形状推定システム10の第2動作例を示すフローチャートである。図19において、図14に示した処理と同様の処理を行うステップについては、同一のステップ番号を付し、その説明を省略又は簡略化する。

[0177] まず、飛行経路処理部111は、図14のS11の処理を行う。

[0178] S11の処理後、飛行経路処理部111は、撮像位置間隔が間隔d13である、つまり撮像位置間隔が密な飛行経路FPA（FPA2）を生成する（S22）。飛行経路FPA2は、全体撮像のための飛行経路でよい。飛行経路FPA2の情報は、メモリ160に保持されてよい。

[0179] 撮像制御部112は、飛行経路FPA2の各撮像位置CPで、撮像装置220又は230に鉛直方向の画像を撮像させる（S22）。この撮像を全体撮像と称してもよい。S22で得られた撮像画像CI（CI3）は、メモリ160に保持されてよい。

[0180] 形状データ処理部113は、S22で得られた複数の撮像画像CI3を基に、3次元形状データSD（SD3）を生成する（S23）。3次元形状データSD3は、メモリ160に保持されてよい。

[0181] 欠損領域検出部114は、生成された3次元形状データSD3において、欠損領域LA（LA2）を検出する（S24）。欠損領域検出部114は、欠損領域LA2の位置情報を取得する。欠損領域検出部114は、欠損領域LA2が存在する3次元空間上の位置（例えば緯度・経度・高度）の情報を

得て、メモリ 160 に保持させてよい。

[0182] 飛行経路処理部 111 は、欠損領域 LA2 を撮像するための飛行経路 FPB (FPB2) を生成する (S25)。飛行経路 FPB2 の情報は、メモリ 160 に保持されてよい。

[0183] S25 の処理後、飛行制御部 115 は、S15 で生成された飛行経路 FPB2 に従って、無人航空機 100 の飛行を制御する。撮像制御部 112 は、飛行経路 FPB2 における各撮像位置 CP において、欠損領域 LA2 に向けて水平方向に撮像装置 220 又は 230 に撮像させる (S26)。S26 で得られた撮像画像 CI (CI4) は、メモリ 160 に保持されてよい。

[0184] 形状データ処理部 113 は、飛行経路 FPB2 の各撮像位置 CP で撮像された複数の撮像画像 CI4 に基づいて、3次元形状データ SD (SD4) を生成する (S27)。S27 で得られた 3次元形状データ SD4 は、メモリ 160 に保持されてよい。

[0185] 形状データ処理部 113 は、S23 で得られた 3次元形状データ SD3 と S27 で得られた 3次元形状データ SD4 とを合成する (S28)。尚、S28 で合成された 3次元形状データを SD3 + SD4 とも記す。合成された 3次元形状データ (SD3 + SD4) は、飛行範囲における第 3 の 3次元形状データの一例である。

[0186] 3次元形状推定システム 10 の第 2 動作例によれば、無人航空機 100 は、欠損領域 LA2 周辺での 3次元形状データ SD4 を取得でき、欠損領域 LA1 周辺での 3次元形状を推定できる。また、無人航空機 100 は、飛行範囲 A1 全体での 3次元形状データ (SD3 + SD4) を取得でき、飛行範囲 A1 全体での 3次元形状を推定できる。3次元形状推定システム 10 のユーザは、合成された 3次元形状データ (SD3 + SD4) を表示等により確認することで、飛行経路 FPC1 の鉛直方向に存在した地面の形状及び欠損領域 LA2 に含まれる建物 BL 等の形状を把握できる。また、無人航空機 100 は、全体撮像で得られた鉛直方向の撮像画像 CI3 を、3次元形状データの生成に利用でき、撮像画像の利用効率を向上できる。

- [0187] 図20は、3次元形状推定システム10の第3動作例を示すフローチャートである。図20において、図14、図19に示した処理と同様の処理を行うステップについては、同一のステップ番号を付し、その説明を省略又は簡略化する。
- [0188] まず、飛行経路処理部111は、図14のS11の処理を行う。飛行経路処理部111は、図19のS21の処理を行い、飛行経路FPA（FPA3）を生成する。
- [0189] 飛行制御部115は、飛行経路FPA3に従って飛行を開始する。撮像制御部112は、飛行経路FPA3の各撮像位置CPで、撮像装置220又は230に鉛直方向の画像の撮像を開始させる（S31）。S31で得られた撮像画像C1（C15）は、メモリ160に保持されてよい。
- [0190] 形状データ処理部113は、飛行経路FPA3に従った飛行中に、S31で得られた複数の撮像画像C15を基に、3次元形状データSD（SD5）を生成する（S32）。形状データ処理部113は、メモリ160に蓄積された撮像画像C15の枚数が所定枚数以上となった際に、3次元形状データSD5を生成してよい。形状データ処理部113は、S32の撮像開始から所定期間毎に、その所定期間別の複数の撮像画像C15を基に、3次元形状データSD5を生成してよい。形状データ処理部113は、S32の撮像開始から所定期間毎に、撮像開始から累積された複数の撮像画像C15を基に、3次元形状データSD5を生成してよい。
- [0191] 欠損領域検出部114は、S32で生成された3次元形状データSD5において、欠損領域LA（LA3）の有無を判定する（S33）。欠損領域LA3が存在すると判定された場合、飛行制御部115は、飛行経路FPA3から外れて、欠損領域LA3に向かって無人航空機100を飛行させる。欠損領域LA3の有無は、予め設定された飛行経路FPA3の撮像位置で判定されてよいし、一定領域の撮像が終了する撮像位置で判定されてよい。
- [0192] 欠損領域LA3に向かう飛行中に、飛行経路処理部111は、欠損領域LA3を撮像するための飛行経路FPB（FPB3）を生成する（S35）。

尚、第3動作例では、飛行中に順次3次元形状データSD5が生成されるので、欠損領域LA3が複数存在する可能性は、第1動作例又は第2動作例と比較すると低くなる。

[0193] 飛行制御部115は、飛行経路FPB3に従って無人航空機100の飛行を制御する。撮像制御部112は、飛行経路FPB2の各撮像位置CPで、欠損領域LA3に向けて水平方向に撮像装置220又は230に画像を撮像させる(S36)。S36で得られた撮像画像C1(C16)は、メモリ160に保持されてよい。

[0194] 飛行経路FPB3の各撮像位置CPでの撮像が終了し、飛行経路FPB3の飛行が終了すると、飛行制御部115は、無人航空機100を飛行経路FPA3に従った飛行に復帰させる。飛行制御部115は、飛行経路FPB3の終了地点から飛行経路FPA3に含まれる位置に最短距離で飛行して復帰させてよい。飛行経路FPB3の終了地点の位置情報は、GPS受信機240を介して取得されてよい。

[0195] 無人航空機100が欠損領域LA3に係る飛行経路FPB3から元の飛行経路FPA3に復帰することで、無人航空機100は、欠損領域LA3の撮像後に所定地点に帰還することなく、連続して飛行経路FPA3を飛行できる。よって、無人航空機100は、飛行経路FPA3の各撮像位置CPでの画像の撮像を継続できる。

[0196] 飛行経路FPB3から飛行経路FPA3への復帰途中に、又は飛行経路FPA3への復帰後に、形状データ処理部113は、飛行経路FPB3の各撮像位置CPで撮像された複数の撮像画像C16に基づいて、欠損領域LA3の3次元形状データSD(SD6)を生成してよい(S37)。飛行経路FPB3では欠損領域LA3の水平方向が撮像されるので、無人航空機100は、欠損領域LA3周辺の3次元形状(例えば欠損領域LA3内の建物BLの形状)を把握できる。S37で得られた3次元形状データSD6は、メモリ160に保持されてよい。

[0197] これにより、無人航空機100は、無人航空機100の飛行中に、欠損領

域L A 3周辺での3次元形状データSD 6を取得でき、欠損領域L A 3周辺での3次元形状を推定できる。従って、無人航空機100は、帰還せずに欠損領域L A 3の検出から3次元形状データSD 6の生成まで行うので、無人航空機100の飛行開始から欠損領域L A 3の3次元形状データSD 6の取得までに要する時間を短縮でき、リアルタイム性を向上できる。

[0198] 飛行制御部115は、飛行経路FPA3の復帰地点から飛行経路FPA4に従った飛行を再開する。撮像制御部112は、飛行経路FPA3の各撮像位置CPで、撮像装置220又は230に鉛直方向の画像の撮像を再開させる(S38)。S38で得られた撮像画像C1(C17)は、メモリ160に保持されてよい。S38の処理後、UAV制御部110は、S32に進む。

[0199] 撮像制御部112は、飛行経路FPA3において、飛行経路FPB3へ向かう前に撮像済みである各撮像位置では、画像を撮像させなくてよい。つまり、撮像装置220又は230は、飛行経路FPA3において、未撮像の撮像位置CPにおいて、画像を撮像すればよい。

[0200] これにより、無人航空機100は、飛行経路FPA3から飛行経路FPB3への離脱地点と飛行経路FPB3から飛行経路FPA3への復帰地点との間の撮像位置CPにおける画像の撮像を省略できる。よって、無人航空機100は、飛行経路FPA3から飛行経路FPB3への離脱地点と飛行経路FPB3から飛行経路FPA3への復帰地点との間の撮像枚数を低減でき、UAV制御部110の処理負荷を低減できる。

[0201] また、飛行経路FPB3から飛行経路FPA3への復帰途中に、又は飛行経路FPA3への復帰後に、形状データ処理部113は、飛行経路FPA3に係る3次元形状データSD(SD7)と欠損領域LA6周辺の3次元形状データSD6とを合成して、飛行範囲A1における無人航空機100により得られた撮像画像が得られた範囲での3次元形状データ(SD6+SD7)を生成してよい。3次元形状データ(SD6+SD7)は、第4の3次元形状データの一例である。

[0202] これにより、無人航空機１００は、無人航空機１００の飛行中に、飛行範囲Ａ１全体での３次元形状データＳＤ７を取得でき、飛行範囲Ａ１全体での３次元形状を推定できる。従って、無人航空機１００は、無人航空機１００の飛行開始から飛行範囲Ａ１全体での３次元形状データＳＤ７の取得までに要する時間を短縮でき、リアルタイム性を向上できる。

[0203] また、形状データ処理部１１３は、２つの３次元形状データＳＤ６，ＳＤ７を合成する代わりに、無人航空機１００の飛行開始からメモリ１６０等に蓄積された複数の撮像画像Ｃ１５，Ｃ１６，Ｃ１７を基に、３次元形状データＳＤ７を生成してよい。この場合、３次元形状データＳＤの合成が不要となる。

[0204] Ｓ３４において欠損領域ＬＡ３が検出されない場合、飛行制御部１１５は、飛行経路ＦＰＡ３の終了地点に到達したか否かを判定する（Ｓ３９）。例えば、飛行制御部１１５は、飛行経路ＦＰＡ３の終了地点の位置情報とＧＰＳ受信機２４０等により得られた無人航空機１００が存在する位置の情報とが一致又は所定距離以内である場合、飛行経路ＦＰＡ３の終了地点へ到達したと判定してよい。飛行経路ＦＰＡ３の終了地点に到達していない場合、Ｓ３２の処理に進む。飛行経路ＦＰＡ３の終了地点に到達した場合、図２０の処理を終了する。

[0205] ３次元形状推定システム１０の第３動作例によれば、無人航空機１００は、撮像装置２２０又は２３０により得られた複数の撮像画像Ｃ１を基に、飛行中に３次元形状データＳＤを生成できる。無人航空機１００は、通信インタフェース１５０を介して、生成された３次元形状データＳＤを、無人航空機１００の飛行中に表示端末（例えば送信機５０、ＰＣ、タブレット、スマートフォン）に転送してよい。表示端末のユーザは、３次元形状データＳＤに基づく表示データを確認することで、無人航空機１００の飛行中に、欠損領域ＬＡや無人航空機１００の飛行範囲Ａ１の３次元形状を容易且つ迅速に確認できる。

[0206] 以上のように、無人航空機１００は、送信機５０により入力された入力パ

ラメータを取得する。無人航空機１００は、水平方向を進行する飛行経路ＦＰＡの各撮像位置ＣＰにおいて鉛直方向を撮像した複数の撮像画像Ｃ１に基づいて、３次元形状データＳＤを生成する。無人航空機１００は、３次元形状データＳＤを基に欠損領域ＬＡを検出し、欠損領域ＬＡを水平方向に撮像した複数の撮像画像Ｃ１に基づいて、欠損領域ＬＡ周辺の３次元形状データＳＤを生成する。

[0207] このように、３次元形状推定システム１０及び無人航空機１００は、固定経路を通りながら上空を画一的に飛行して空撮するだけでは得られない、欠損領域ＬＡに向けて水平方向を撮像した画像を多く取得する。そのため、３次元形状推定システム１０及び無人航空機１００は、欠損領域ＬＡにおける３次元復元に用いる撮像画像が増大し、欠損領域ＬＡに含まれる建物ＢＬ等のオブジェクト周辺の３次元形状の復元精度を向上できる。

[0208] また、欠損領域ＬＡを撮像するための飛行経路ＦＬＢを生成し、飛行経路ＦＬＢの各撮像位置ＣＰで無人航空機１００が撮像するので、欠損領域ＬＡを撮像するために撮像者が撮像装置を把持して手動で撮像しなくて済む。よって、欠損領域ＬＡ周辺の画像の撮像を希望するユーザが、欠損領域ＬＡの周辺まで移動して撮像する必要がなく、ユーザの利便性が向上する。また、３次元形状推定システム１０及び無人航空機１００は、所望の状態（例えば被写体の所望の撮像位置、被写体の所望の撮像サイズ、被写体の所望の撮像向き）の撮像画像を取得できる可能性が高くなり、手動撮像による撮像画像のばらつきを低減できる。

[0209] また、欠損領域ＬＡの周囲において３次元空間の位置（緯度、経度、高度）のユーザ入力を必要とせずに、無人航空機１００が欠損領域ＬＡを撮像するための撮像位置及び飛行経路を生成可能であるので、ユーザの利便性が向上する。

[0210] （第２の実施形態）

第１の実施形態では、３次元形状データを生成するための各種処理（例えば、飛行経路の生成、欠損領域の検出、３次元形状データの生成）を無人航

空機が実施することを例示した。第2の実施形態では3次元形状データを生成するための各種処理を無人航空機以外の機器（例えば送信機）が実施することを例示する。

[0211] 図21は、第2の実施形態における3次元形状推定システム10Aの構成例を示す模式図である。3次元形状推定システム10Aは、無人航空機100A及び送信機50Aを備える。無人航空機100A及び送信機50Aは、有線通信又は無線通信（例えば無線LAN、Bluetooth（登録商標））により通信可能である。第2の実施形態において、第1の実施形態と同様の事項については、説明を省略又は簡略化する。

[0212] 図22は、送信機50Aのハードウェア構成の一例を示すブロック図である。送信機50Aは、送信機50と比較すると、送信機制御部61の代わりに送信機制御部61Aを備える。図22の送信機50Aにおいて、図6の送信機50と同様の構成については、同一の符号を付し、説明を省略又は簡略化する。

[0213] 送信機制御部61Aは、送信機制御部61の機能に加え、飛行経路の生成に関する処理を行う飛行経路処理部65としての機能、3次元形状データの生成に関する処理を行う形状データ処理部66としての機能、及び欠損領域の検出に関する処理を行う欠損領域検出部67としての機能を含む。飛行経路処理部65は、第1の実施形態における無人航空機100のUAV制御部110の飛行経路処理部111と同様である。形状データ処理部66は、第1の実施形態における無人航空機100のUAV制御部110の形状データ処理部113と同様である。欠損領域検出部67は、第1の実施形態における無人航空機100のUAV制御部110の欠損領域検出部67と同様である。

[0214] 飛行経路処理部65は、パラメータ操作部OPAに入力された入力パラメータを受け取る。飛行経路処理部65は、入力パラメータを必要に応じてメモリ64に保持させる。飛行経路処理部65は、必要に応じて（例えば撮影位置の決定時、飛行経路の生成時）にメモリ64から入力パラメータの少な

くとも一部を読み込む。

[0215] メモリ 64 は、送信機 50A 内の各部を制御するのに必要なプログラム等を格納する。メモリ 64 は、送信機制御部 61A が、飛行経路処理部 65 や形状データ処理部 66 や欠損領域検出部 67 の実行に必要なプログラム等を格納する。メモリ 64 は、コンピュータ読み取り可能な記録媒体でよく、S R A M (Static Random Access Memory)、D R A M (Dynamic Random Access Memory)、E P R O M (Erasable Programmable Read Only Memory)、E E P R O M (Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory)、及び U S B メモリ等のフラッシュメモリの少なくとも 1 つを含んでよい。メモリ 64 は、送信機 50A の内部に設けられてよい。送信機 50A から取り外し可能に設けられてよい。

[0216] 飛行経路処理部 65 は、第 1 の実施形態の飛行経路処理部 111 と同様の方法で、撮像位置 C P の決定、飛行経路 F P A, F P B, F P C の生成、等をしてよい。飛行経路処理部 65 は、無線通信部 63 を介して、決定された撮像位置の情報及び飛行経路の情報を無人航空機 100A へ送信してよい。

[0217] 形状データ処理部 66 は、無線通信部 63 を介して、無人航空機 100A により飛行経路の各撮像位置で撮像された撮像画像を受信して取得してよい。受信された撮像画像は、メモリ 64 に保持されてよい。形状データ処理部 66 は、取得された複数の撮像画像を基に、3次元形状データを生成してよい。生成された3次元形状データは、メモリ 64 に保持されてよい。

[0218] 欠損領域検出部 67 は、3次元形状データにおいて欠損領域を検出する。

[0219] 図 23 は、無人航空機 100A のハードウェア構成の一例を示すブロック図である。無人航空機 100A は、無人航空機 100 と比較すると、U A V 制御部 110 の代わりに U A V 制御部 110A を備える。U A V 制御部 110A は、撮像制御部 112 及び飛行制御部 115 を備えるが、飛行経路処理部 111、形状データ処理部 113 及び欠損領域検出部 114 を備えない。図 23 の無人航空機 100A において、図 4 の無人航空機 100 と同様の構成については、同一の符号を付し、その説明を省略又は簡略化する。

- [0220] 次に、３次元形状推定システム１０Ａの動作例について説明する。
- [0221] ３次元形状推定システム１０Ａでは、送信機５０Ａのパラメータ操作部１０１が、入力パラメータを入力する。飛行経路処理部６５が、入力パラメータを用いて、撮像位置を決定し、撮像位置を通過する飛行経路（例えば飛行経路ＦＰＡ）を生成する。無線通信部６３は、撮像位置の情報と飛行経路の情報とを無人航空機１００Ａへ送信する。
- [0222] 無人航空機１００Ａでは、ＵＡＶ制御部１１０Ａが、通信インタフェース１５０を介して、決定された撮像位置の情報及び生成された飛行経路の情報を送信機５０Ａから受信等により取得し、メモリ１６０に保持させる。飛行制御部１１５が、取得された飛行経路に従って飛行制御する。撮像制御部１１２は、飛行経路における撮像位置（空撮位置）（Waypoint）で、撮像装置２２０又は２３０に画像（空撮画像）を撮像させる。通信インタフェース１５０は、撮像画像を送信機５０Ａに送信する。
- [0223] 送信機５０Ａでは、無線通信部６３が撮像画像を受信すると、形状データ処理部６６が、複数の撮像画像を基に３次元形状データを生成する。欠損領域検出部６７は、３次元形状データにおいて欠損領域を検出する。飛行経路処理部６５は、欠損領域を撮像するための飛行経路ＦＰＢ又は飛行区間ｆｐｂを含む飛行経路を生成する。無線通信部６３は、生成された飛行経路の情報と飛行経路上の撮像位置の情報とを無人航空機１００Ａへ送信する。
- [0224] 無人航空機１００Ａでは、ＵＡＶ制御部１１０Ａが、通信インタフェース１５０を介して、撮像位置の情報及び飛行経路の情報を送信機５０Ａから受信等により取得し、メモリ１６０に保持させる。飛行制御部１１５が、取得された飛行経路ＦＰＢ又は飛行区間ｆｐｂを含む飛行経路に従って飛行制御する。撮像制御部１１２が、飛行経路における欠損領域の側方で、撮像装置２２０又は２３０に欠損領域に向けて水平方向に撮像させる。通信インタフェース１５０が、撮像画像を送信機５０Ａに送信する。
- [0225] 送信機５０Ａでは、無線通信部６３が撮像画像を受信すると、形状データ処理部６６が、複数の撮像画像を基に３次元形状データを生成する。これに

より、形状データ処理部66は、欠損領域周辺における撮像画像を多数用いて、3次元形状データを生成できる。

[0226] このように、3次元形状推定システム10A及び送信機50Aは、固定経路を通りながら上空を画一的に飛行して空撮するだけでは得られない、欠損領域L Aに向けて水平方向を撮像した画像を多く取得する。そのため、3次元形状推定システム10A及び送信機50Aは、欠損領域L Aにおける3次元復元に用いる撮像画像が増大し、欠損領域L Aの3次元形状の復元精度を向上できる。

[0227] また、欠損領域L Aを撮像するための飛行経路F L Bを生成し、飛行経路F L Bの各撮像位置C Pで無人航空機100Aが撮像するので、欠損領域L Aを撮像するために撮像者が撮像装置を把持して手動で撮像しなくて済む。よって、欠損領域L A周辺の画像の撮像を希望するユーザが、欠損領域L Aの周辺まで移動して撮像する必要がなく、ユーザの利便性が向上する。また、3次元形状推定システム10A及び送信機50Aは、所望の状態（例えば被写体の所望の撮像位置、被写体の所望の撮像サイズ、被写体の所望の撮像向き）の撮像画像を取得できる可能性が高くなり、手動撮像による撮像画像のばらつきを低減できる。

[0228] また、欠損領域L Aの周囲において3次元空間の位置（緯度、経度、高度）のユーザ入力を必要とせずに、送信機50Aが欠損領域L Aを撮像するための撮像位置及び飛行経路を生成可能であるので、ユーザの利便性が向上する。

[0229] （第3の実施形態）

第2の実施形態では、3次元形状データを生成するための各種処理（例えば、飛行経路の生成、欠損領域の検出、3次元形状データの生成）を送信機が実施することを例示した。第3の実施形態では、3次元形状データを生成するための各種処理を送信機以外の通信端末（例えばPC）が実施する。

[0230] 図24は、第3の実施形態における3次元形状推定システム10Bの構成例を示す模式図である。3次元形状推定システム10Bは、無人航空機10

０Ａ及びＰＣ７０を含む。無人航空機１００Ａ及びＰＣ７０は、有線通信又は無線通信（例えば無線ＬＡＮ、Ｂｌｕｅｔｏｏｔｈ（登録商標））により通信可能である。

[0231] ＰＣ７０は、通信デバイス、メモリ、プロセッサ、入力デバイス、及びディスプレイを備えてよい。ＰＣ７０は、第２の実施形態の送信機５０Ａが備えるパラメータ操作部０ＰＡ、飛行経路処理部６５、形状データ処理部６６、及び欠損領域検出部６７の機能を有してよい。ＰＣ７０には、３次元形状推定方法を実現するためのプログラム（アプリケーション）がインストールされてよい。

[0232] ３次元形状推定システム１０Ｂ及びＰＣ７０によれば、送信機５０Ａを用いずに、汎用性の高いＰＣ７０を用いて、欠損領域となり易いオブジェクト周辺の３次元形状の推定精度を容易に生成できる。

[0233] 以上、本発明を実施形態を用いて説明したが、本発明の技術的範囲は上述した実施形態に記載の範囲には限定されない。上述した実施形態に、多様な変更又は改良を加えることが当業者に明らかである。その様な変更又は改良を加えた形態も本発明の技術的範囲に含まれ得ることが、特許請求の範囲の記載からも明らかである。

[0234] 特許請求の範囲、明細書、及び図面中において示した装置、システム、プログラム、及び方法における動作、手順、ステップ、及び段階等の各処理の実行順序は、特段「より前に」、「先立って」等と明示しておらず、前の処理の出力を後の処理で用いるのでない限り、任意の順序で実現可能である。特許請求の範囲、明細書、及び図面中の動作フローに関して、便宜上「先ず」、「次に」等を用いて説明したとしても、この順で実施することが必須であることを意味するものではない。

[0235] 第１～第３の実施形態では、飛行体として無人航空機１００を例示したが、人が搭乗した有人航空機を自動飛行させたものでもよい。

[0236] 第１～第３の実施形態では、被写体は、地上に建造されたオブジェクト以外でもよく、例えば海上に建造されたオブジェクトでもよい。

符号の説明

- [0237] 1 0, 1 0 A, 1 0 B 3次元形状推定システム
- 5 0, 5 0 A 送信機
- 5 0 B 筐体
- 5 3 L 左制御棒
- 5 3 R 右制御棒
- 6 1 送信機制御部
- 6 3 無線通信部
- 6 4 メモリ
- 6 5 飛行経路処理部
- 6 6 形状データ処理部
- 6 7 欠損領域検出部
- 7 0 P C
- 1 0 0, 1 0 0 A 無人航空機
- 1 0 2 U A V本体
- 1 1 0, 1 1 0 A U A V制御部
- 1 1 1 飛行経路処理部
- 1 1 2 撮像制御部
- 1 1 3 形状データ処理部
- 1 1 4 欠損領域検出部
- 1 1 5 飛行制御部
- 1 5 0 通信インタフェース
- 1 6 0 メモリ
- 2 0 0 ジンバル
- 2 1 0 回転翼機構
- 2 2 0, 2 3 0 撮像装置
- 2 4 0 G P S受信機
- 2 5 0 慣性計測装置

260 磁気コンパス

270 気圧高度計

A1 飛行範囲

AN1, AN2 アンテナ

B1 電源ボタン

B2 RTHボタン

BL 建物

CI, CI1, CI2, CI3, CI4 撮像画像

CP 撮像位置

DP 表示部

FPA, FPB, FPC 飛行経路

fpa、fpb 飛行区間

L1 リモートステータス表示部

L2 バッテリ残量表示部

LA 欠損領域

M1 地図情報

MT 山

OPA パラメータ操作部

OPS 操作部セット

SD, SD1, SD2, SD3, SD4 3次元形状データ

請求の範囲

- [請求項1] 飛行体により撮像された画像に基づいて3次元形状を推定する3次元形状推定方法であって、
- 複数の第1の撮像画像に基づいて、前記飛行体の飛行範囲における第1の3次元形状データを生成する段階と、
- 前記第1の3次元形状データによる欠損領域を検出する段階と、
- 前記欠損領域を撮像するための第1の飛行経路を生成する段階と、
- 前記第1の飛行経路において、前記欠損領域に向けて水平方向を、撮像範囲を一部重複させて複数撮像して、複数の第2の撮像画像を取得する段階と、
- 複数の第2の撮像画像に基づいて、前記欠損領域における3次元形状データを生成する段階と、
- を含む3次元形状推定方法。
- [請求項2] 前記飛行体の飛行範囲において前記飛行体により撮像するための第2の飛行経路を生成する段階と、
- 前記第2の飛行経路において、撮像範囲を一部重複させて複数撮像して、複数の前記第1の撮像画像を取得する段階と、
- を更に含む、請求項1に記載の3次元形状推定方法。
- [請求項3] 前記第2の飛行経路は、前記飛行体の前記飛行範囲において前記飛行体により鉛直方向を撮像するための飛行経路であり、
- 前記第1の撮像画像は、前記第2の飛行経路において、撮像範囲を一部重複させて鉛直方向を撮像して取得された画像である、
- 請求項2に記載の3次元形状推定方法。
- [請求項4] 前記第1の飛行経路は、前記欠損領域を異なる高度で撮像するための飛行経路であり、
- 前記第2の撮像画像は、前記第1の飛行経路において、前記欠損領域に向けて水平方向を異なる高度で、撮像範囲を一部重複させて撮像して取得された画像である、

請求項 2 または 3 に記載の 3 次元形状推定方法。

- [請求項5] 前記欠損領域の位置情報に基づいて前記第 2 の飛行経路に前記第 1 の飛行経路を挿入して、第 3 の飛行経路を生成する段階と、
- 前記第 3 の飛行経路において、前記飛行体により鉛直方向と前記欠損領域の水平方向とを複数撮像して、複数の前記第 1 の撮像画像と複数の前記第 2 の撮像画像とを取得する段階と、
- 前記第 1 の撮像画像と前記第 2 の撮像画像とに基づいて、前記飛行範囲における第 2 の 3 次元形状データを生成する段階と、
- を更に含む、請求項 2 ～ 4 のいずれか 1 項に記載の 3 次元形状推定方法。

- [請求項6] 前記飛行体が前記第 2 の飛行経路の飛行後に前記第 3 の飛行経路を飛行する段階と、
- 前記第 2 の飛行経路では第 1 の撮像位置間隔で撮像する段階と、
- 前記第 3 の飛行経路では第 1 の撮像位置間隔よりも短い第 2 の撮像位置間隔で撮像する段階と、
- を更に含む、請求項 5 に記載の 3 次元形状推定方法。

- [請求項7] 前記飛行範囲における第 1 の 3 次元形状データと前記欠損領域における 3 次元形状データとを合成して、前記飛行範囲における第 3 の 3 次元形状データを生成する段階、を更に含む、請求項 1 ～ 4 のいずれか 1 項に記載の 3 次元形状推定方法。

- [請求項8] 飛行体により撮像された画像に基づいて 3 次元形状を推定する 3 次元形状推定方法であって、
- 前記飛行体の飛行中に、複数の第 1 の撮像画像に基づいて、前記飛行体の飛行範囲における第 1 の 3 次元形状データを生成する段階と、
- 前記飛行中に、前記第 1 の 3 次元形状データによる欠損領域の有無を判定する段階と、
- 前記欠損領域が存在すると判定された場合、前記飛行体を前記欠損領域の方向へ移動させる段階と、

前記飛行中に、前記欠損領域を撮像するための第 1 の飛行経路を生成する段階と、

前記第 1 の飛行経路において、前記欠損領域に向けて水平方向を、撮像範囲を一部重複させて複数撮像して、複数の第 2 の撮像画像を取得する段階と、

複数の前記第 2 の撮像画像に基づいて、前記欠損領域における 3 次元形状データを生成する段階と、

を含む 3 次元形状推定方法。

[請求項 9] 前記飛行体の飛行範囲において前記飛行体により撮像するための第 2 の飛行経路を生成する段階と、

前記第 2 の飛行経路において、撮像範囲を一部重複させて複数撮像して、複数の前記第 1 の撮像画像を取得する段階と、

を更に含む、請求項 8 に記載の 3 次元形状推定方法。

[請求項 10] 前記第 2 の飛行経路は、前記飛行体の前記飛行範囲において前記飛行体により鉛直方向を撮像するための飛行経路であり、

前記第 1 の撮像画像は、前記第 2 の飛行経路において、撮像範囲を一部重複させて鉛直方向を撮像して取得された画像である、

請求項 9 に記載の 3 次元形状推定方法。

[請求項 11] 前記第 1 の飛行経路は、前記欠損領域を異なる高度で撮像するための飛行経路であり、

前記第 2 の撮像画像は、前記第 1 の飛行経路において、前記欠損領域に向けて水平方向を異なる高度で、撮像範囲を一部重複させて撮像して取得された画像である、

請求項 9 または 10 に記載の 3 次元形状推定方法。

[請求項 12] 前記第 2 の撮像画像の取得後、前記飛行体が前記第 2 の飛行経路に従う飛行に復帰する段階、を更に含む、請求項 9 ～ 11 のいずれか 1 項に記載の 3 次元形状推定方法。

[請求項 13] 前記第 2 の飛行経路において未撮像の撮像位置において、前記第 1

の撮像画像を取得する段階、を更に含む、請求項 1 2 に記載の 3 次元形状推定方法。

[請求項14] 前記飛行中に、前記飛行範囲における第 1 の 3 次元形状データと前記欠損領域における 3 次元形状データとを合成して、前記飛行範囲における第 4 の 3 次元形状データを生成する段階、を更に含む、請求項 8 ～ 1 3 のいずれか 1 項に記載の 3 次元形状推定方法。

[請求項15] 飛行体により撮像された画像に基づいて 3 次元形状を推定する 3 次元形状推定システムであって、

複数の第 1 の撮像画像に基づいて、前記飛行体の飛行範囲における第 1 の 3 次元形状データを生成する形状データ生成部と、

前記第 1 の 3 次元形状データによる欠損領域を検出する検出部と、

前記欠損領域を撮像するための第 1 の飛行経路を生成する経路生成部と、

前記第 1 の飛行経路において、前記欠損領域に向けて水平方向を、撮像範囲を一部重複させて複数撮像して、複数の第 2 の撮像画像を取得する撮像部と、

を備え、

前記形状データ生成部は、複数の前記第 2 の撮像画像に基づいて、前記欠損領域における 3 次元形状データを生成する、3 次元形状推定システム。

[請求項16] 前記経路生成部は、前記飛行体の飛行範囲において前記飛行体により撮像するための第 2 の飛行経路を生成し、

前記撮像部は、前記第 2 の飛行経路において、撮像範囲を一部重複させて複数撮像して、複数の前記第 1 の撮像画像を取得する、

請求項 1 5 に記載の 3 次元形状推定システム。

[請求項17] 前記経路生成部は、前記飛行体の前記飛行範囲において前記飛行体により鉛直方向を撮像するための前記第 2 の飛行経路を生成し、

前記撮像部は、前記第 2 の飛行経路において、撮像範囲を一部重複

させて鉛直方向を複数撮像して、複数の前記第 1 の撮像画像を取得する、

請求項 16 に記載の 3 次元形状推定システム。

[請求項18] 前記経路生成部は、前記欠損領域を異なる高度で撮像するための前記第 1 の飛行経路を生成し、

前記撮像部は、前記第 1 の飛行経路において、前記欠損領域に向けて水平方向を異なる高度で、撮像範囲を一部重複させて複数撮像して、複数の前記第 2 の撮像画像を取得する、

請求項 16 または 17 に記載の 3 次元形状推定システム。

[請求項19] 前記経路生成部は、前記欠損領域の位置情報に基づいて前記第 2 の飛行経路に前記第 1 の飛行経路を挿入して、第 3 の飛行経路を生成し、

前記撮像部は、前記第 3 の飛行経路において、鉛直方向と前記欠損領域の水平方向とを複数撮像して、複数の前記第 1 の撮像画像と複数の前記第 2 の撮像画像とを取得し、

前記形状データ生成部は、前記第 1 の撮像画像と前記第 2 の撮像画像とに基づいて、前記飛行範囲における第 2 の 3 次元形状データを生成する、

請求項 16 ～ 18 のいずれか 1 項に記載の 3 次元形状推定システム。

[請求項20] 飛行制御部を更に備え、

前記飛行制御部は、前記飛行体に、前記第 2 の飛行経路の飛行後に前記第 3 の飛行経路を飛行させ、

前記撮像部は、前記第 2 の飛行経路では第 1 の撮像位置間隔で撮像し、前記第 3 の飛行経路では第 1 の撮像位置間隔よりも短い第 2 の撮像位置間隔で撮像する、

請求項 19 に記載の 3 次元形状推定システム。

[請求項21] 前記形状データ生成部は、前記飛行範囲における第 1 の 3 次元形状

データと前記欠損領域における３次元形状データとを合成して、前記飛行範囲における第３の３次元形状データを生成する、

請求項１５～１８のいずれか１項に記載の３次元形状推定システム。

[請求項２２] 飛行体により撮像された画像に基づいて３次元形状を推定する３次元形状推定システムであって、

前記飛行体の飛行を制御する飛行制御部と、

前記飛行体の飛行中に、複数の第１の撮像画像に基づいて、前記飛行体の飛行範囲における第１の３次元形状データを生成する形状データ生成部と、

前記飛行中に、前記第１の３次元形状データによる欠損領域の有無を判定する検出部と、

前記飛行中に、前記欠損領域を撮像するための第１の飛行経路を生成する経路生成部と、

前記第１の飛行経路において、前記欠損領域に向けて水平方向を、撮像範囲を一部重複させて複数撮像して、複数の第２の撮像画像を取得する撮像部と、

を備え、

前記飛行制御部は、前記欠損領域が存在すると判定された場合、前記飛行体を前記欠損領域の方向へ移動させ、

前記形状データ生成部は、複数の前記第２の撮像画像に基づいて、前記欠損領域における３次元形状データを生成する、３次元形状推定システム。

[請求項２３] 前記経路生成部は、前記飛行体の飛行範囲において前記飛行体により撮像するための第２の飛行経路を生成し、

前記撮像部は、前記第２の飛行経路において、撮像範囲を一部重複させて複数撮像して、複数の前記第１の撮像画像を取得する、

請求項２２に記載の３次元形状推定システム。

- [請求項24] 前記経路生成部は、前記飛行体の前記飛行範囲において前記飛行体により鉛直方向を撮像するための前記第2の飛行経路を生成し、
前記撮像部は、前記第2の飛行経路において、撮像範囲を一部重複させて鉛直方向を複数撮像して、複数の前記第1の撮像画像を取得する、
請求項23に記載の3次元形状推定システム。
- [請求項25] 前記経路生成部は、前記欠損領域を異なる高度で撮像するための前記第1の飛行経路を生成し、
前記撮像部は、前記第1の飛行経路において、前記欠損領域に向けて水平方向を異なる高度で、撮像範囲を一部重複させて複数撮像して、複数の前記第2の撮像画像を取得する、
請求項23または24に記載の3次元形状推定システム。
- [請求項26] 前記飛行制御部は、前記第2の撮像画像の取得後、前記飛行体に、前記第2の飛行経路に従う飛行に復帰させる、
請求項23～25のいずれか1項に記載の3次元形状推定システム。
- [請求項27] 前記撮像部は、前記第2の飛行経路において未撮像の撮像位置において、前記第1の撮像画像を取得する、
請求項26に記載の3次元形状推定システム。
- [請求項28] 前記形状データ生成部は、前記飛行中に、前記飛行範囲における第1の3次元形状データと前記欠損領域における3次元形状データとを合成して、前記飛行範囲における第4の3次元形状データを生成する、
請求項22～27のいずれか1項に記載の3次元形状推定システム。
- [請求項29] 前記飛行体と前記飛行体との間で通信する通信端末とを備え、
前記飛行体は、第1の通信部と、前記経路生成部と、前記撮像部と、前記形状データ生成部と、前記検出部と、を備え、

前記通信端末は、操作部と、第2の通信部を備える、
請求項15～28のいずれか1項に記載の3次元形状推定システム

。

[請求項30]

前記飛行体と前記飛行体との間で通信する通信端末とを備え、
前記飛行体は、第1の通信部と、前記撮像部と、を備え、
前記通信端末は、操作部と、第2の通信部、前記経路生成部と、前記形状データ生成部と、前記検出部と、を備える、
請求項15～28のいずれか1項に記載の3次元形状推定システム

。

[請求項31]

画像を撮像して3次元形状を推定する飛行体であって、
複数の第1の撮像画像に基づいて、飛行範囲における第1の3次元形状データを生成する形状データ生成部と、
前記第1の3次元形状データによる欠損領域を検出する検出部と、
前記欠損領域を撮像するための第1の飛行経路を生成する経路生成部と、
前記第1の飛行経路において、前記欠損領域に向けて水平方向を、撮像範囲を一部重複させて複数撮像して、複数の第2の撮像画像を取得する撮像部と、
を備え、
前記形状データ生成部は、複数の前記第2の撮像画像に基づいて、前記欠損領域における3次元形状データを生成する、飛行体。

[請求項32]

前記経路生成部は、前記飛行体の飛行範囲において前記飛行体により撮像するための第2の飛行経路を生成し、
前記撮像部は、前記第2の飛行経路において、撮像範囲を一部重複させて複数撮像して、複数の前記第1の撮像画像を取得する、
請求項31に記載の飛行体。

[請求項33]

前記経路生成部は、前記飛行体の前記飛行範囲において前記飛行体により鉛直方向を撮像するための前記第2の飛行経路を生成し、

前記撮像部は、前記第2の飛行経路において、撮像範囲を一部重複させて鉛直方向を複数撮像して、複数の前記第1の撮像画像を取得する、

請求項32に記載の飛行体。

[請求項34] 前記経路生成部は、前記欠損領域を異なる高度で撮像するための前記第1の飛行経路を生成し、

前記撮像部は、前記第1の飛行経路において、前記欠損領域に向けて水平方向を異なる高度で、撮像範囲を一部重複させて複数撮像して、複数の前記第2の撮像画像を取得する、

請求項32または33に記載の飛行体。

[請求項35] 前記経路生成部は、前記欠損領域の位置情報に基づいて前記第2の飛行経路に前記第1の飛行経路を挿入して、第3の飛行経路を生成し、

前記撮像部は、前記第3の飛行経路において、鉛直方向と前記欠損領域の水平方向とを複数撮像して、複数の前記第1の撮像画像と複数の前記第2の撮像画像とを取得し、

前記形状データ生成部は、前記第1の撮像画像と前記第2の撮像画像とに基づいて、前記飛行範囲における第2の3次元形状データを生成する、

請求項32～34のいずれか1項に記載の飛行体。

[請求項36] 飛行制御部を更に備え、

前記飛行制御部は、前記飛行体に、前記第2の飛行経路の飛行後に前記第3の飛行経路を飛行させ、

前記撮像部は、前記第2の飛行経路では第1の撮像位置間隔で撮像し、前記第3の飛行経路では第1の撮像位置間隔よりも短い第2の撮像位置間隔で撮像する、

請求項35に記載の飛行体。

[請求項37] 前記形状データ生成部は、前記飛行範囲における第1の3次元形状

データと前記欠損領域における３次元形状データとを合成して、前記飛行範囲における第３の３次元形状データを生成する、

請求項３１～３４のいずれか１項に記載の飛行体。

[請求項38]

画像を撮像して３次元形状を推定する飛行体であって、

当該飛行体の飛行を制御する飛行制御部と、

当該飛行体の飛行中に、複数の第１の撮像画像に基づいて、当該飛行体の飛行範囲における第１の３次元形状データを生成する形状データ生成部と、

前記飛行中に、前記第１の３次元形状データによる欠損領域の有無を判定する検出部と、

前記飛行中に、前記欠損領域を撮像するための第１の飛行経路を生成する経路生成部と、

前記第１の飛行経路において、前記欠損領域に向けて水平方向を、撮像範囲を一部重複させて複数撮像して、複数の第２の撮像画像を取得する撮像部と、

を備え、

前記飛行制御部は、前記欠損領域が存在すると判定された場合、当該飛行体を前記欠損領域の方向へ移動させ、

前記形状データ生成部は、複数の前記第２の撮像画像に基づいて、前記欠損領域における３次元形状データを生成する、飛行体。

[請求項39]

前記経路生成部は、前記飛行体の飛行範囲において前記飛行体により撮像するための第２の飛行経路を生成し、

前記撮像部は、前記第２の飛行経路において、撮像範囲を一部重複させて複数撮像して、複数の前記第１の撮像画像を取得する、

請求項３８に記載の飛行体。

[請求項40]

前記経路生成部は、前記飛行体の前記飛行範囲において前記飛行体により鉛直方向を撮像するための前記第２の飛行経路を生成し、

前記撮像部は、前記第２の飛行経路において、撮像範囲を一部重複

させて鉛直方向を複数撮像して、複数の前記第 1 の撮像画像を取得する、

請求項 39 に記載の飛行体。

[請求項41] 前記経路生成部は、前記欠損領域を異なる高度で撮像するための前記第 1 の飛行経路を生成し、

前記撮像部は、前記第 1 の飛行経路において、前記欠損領域に向けて水平方向を異なる高度で、撮像範囲を一部重複させて複数撮像して、複数の前記第 2 の撮像画像を取得する、

請求項 39 または 40 に記載の飛行体。

[請求項42] 前記飛行制御部は、前記第 2 の撮像画像の取得後、前記飛行体に、前記第 2 の飛行経路に従う飛行に復帰させる、

請求項 39 ～ 41 のいずれか 1 項に記載の飛行体。

[請求項43] 前記撮像部は、前記第 2 の飛行経路において未撮像の撮像位置において、前記第 1 の撮像画像を取得する、

請求項 42 に記載の飛行体。

[請求項44] 前記形状データ生成部は、前記飛行中に、前記飛行範囲における第 1 の 3 次元形状データと前記欠損領域における 3 次元形状データとを合成して、前記飛行範囲における第 4 の 3 次元形状データを生成する、

請求項 38 ～ 43 のいずれか 1 項に記載の飛行体。

[請求項45] 飛行体により撮像された画像に基づいて 3 次元形状を推定するコンピュータに、

複数の第 1 の撮像画像に基づいて、前記飛行体の飛行範囲における第 1 の 3 次元形状データを生成する手順と、

前記第 1 の 3 次元形状データによる欠損領域を検出する手順と、

前記欠損領域を撮像するための第 1 の飛行経路を生成する手順と、

前記第 1 の飛行経路において、前記欠損領域に向けて水平方向を、撮像範囲を一部重複させて複数撮像して、複数の第 2 の撮像画像を取

得する手順と、

複数の第2の撮像画像に基づいて、前記欠損領域における3次元形状データを生成する手順と、

を実行させるためのプログラム。

[請求項46]

飛行体により撮像された画像に基づいて3次元形状を推定するコンピュータに、

複数の第1の撮像画像に基づいて、前記飛行体の飛行範囲における第1の3次元形状データを生成する手順と、

前記第1の3次元形状データによる欠損領域を検出する手順と、

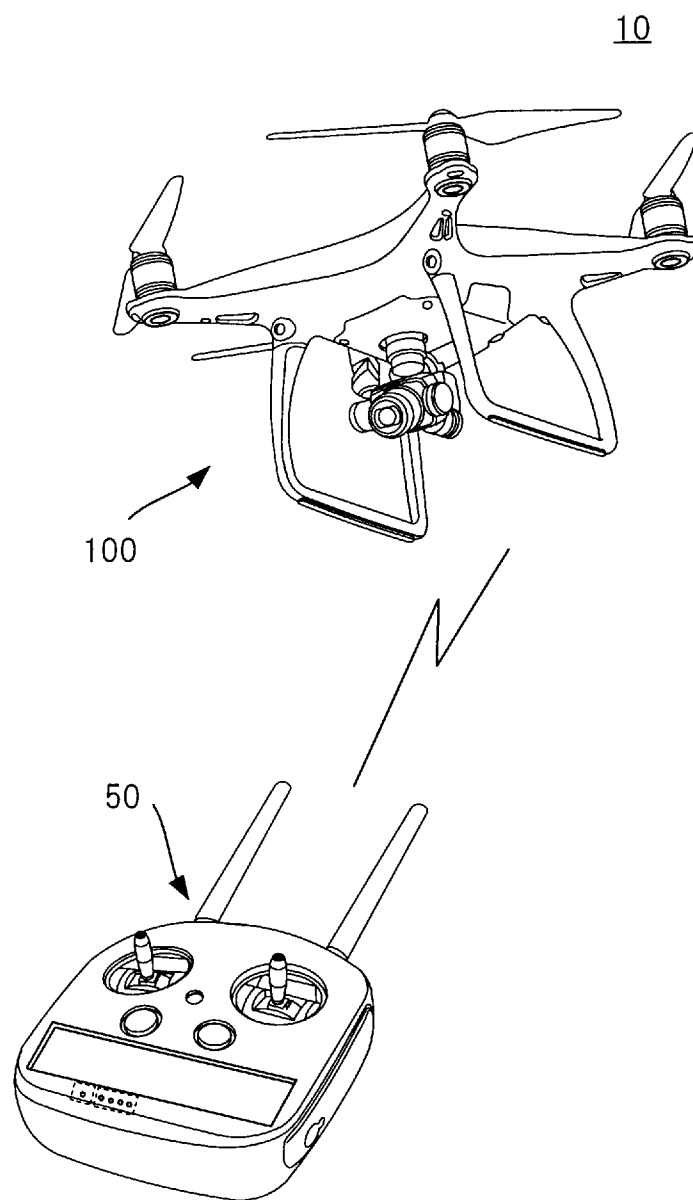
前記欠損領域を撮像するための第1の飛行経路を生成する手順と、

前記第1の飛行経路において、前記欠損領域に向けて水平方向を、撮像範囲を一部重複させて複数撮像して、複数の第2の撮像画像を取得する手順と、

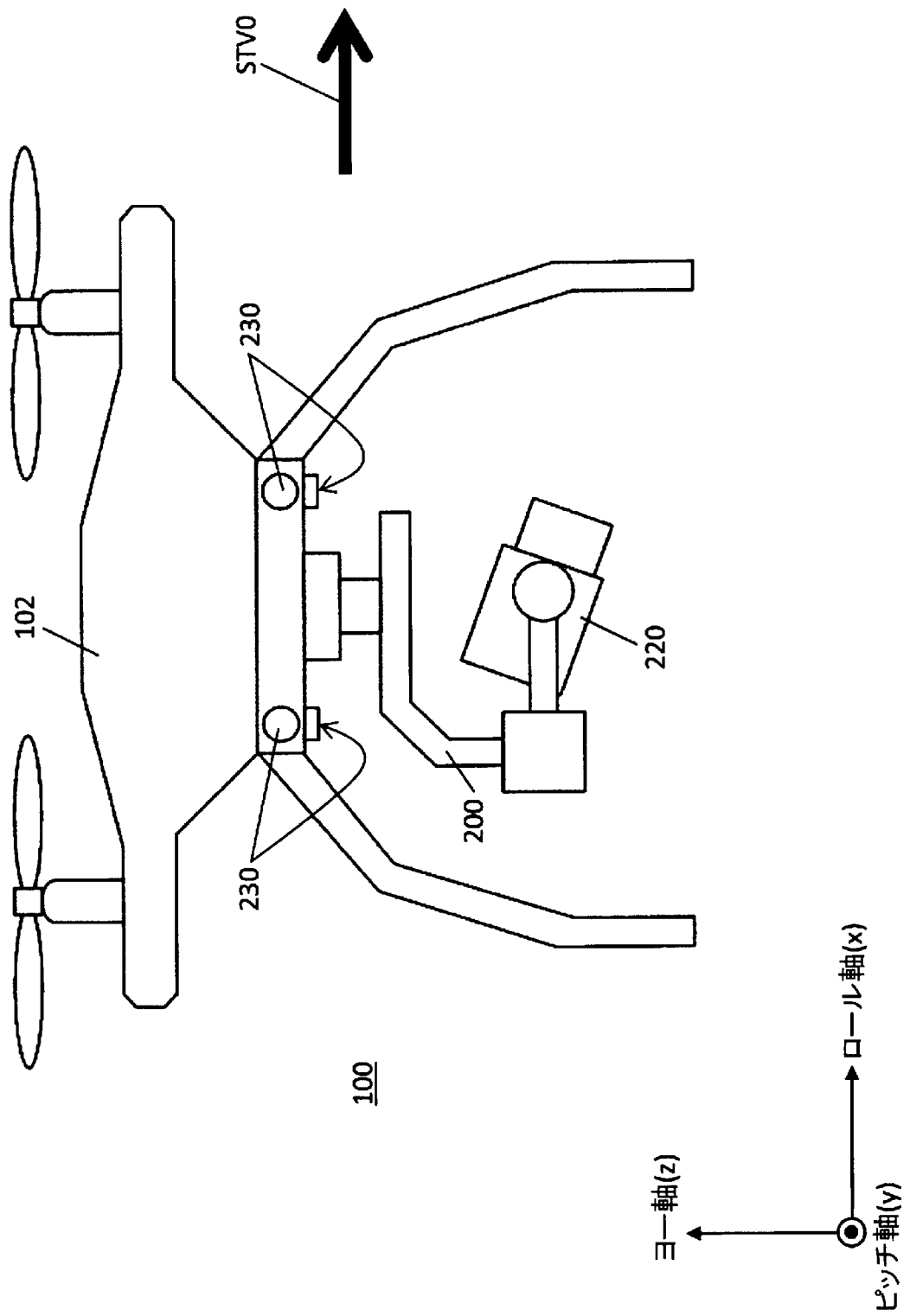
複数の第2の撮像画像に基づいて、前記欠損領域における3次元形状データを生成する手順と、

を実行させるためのプログラムを記録したコンピュータ読み取り可能な記録媒体。

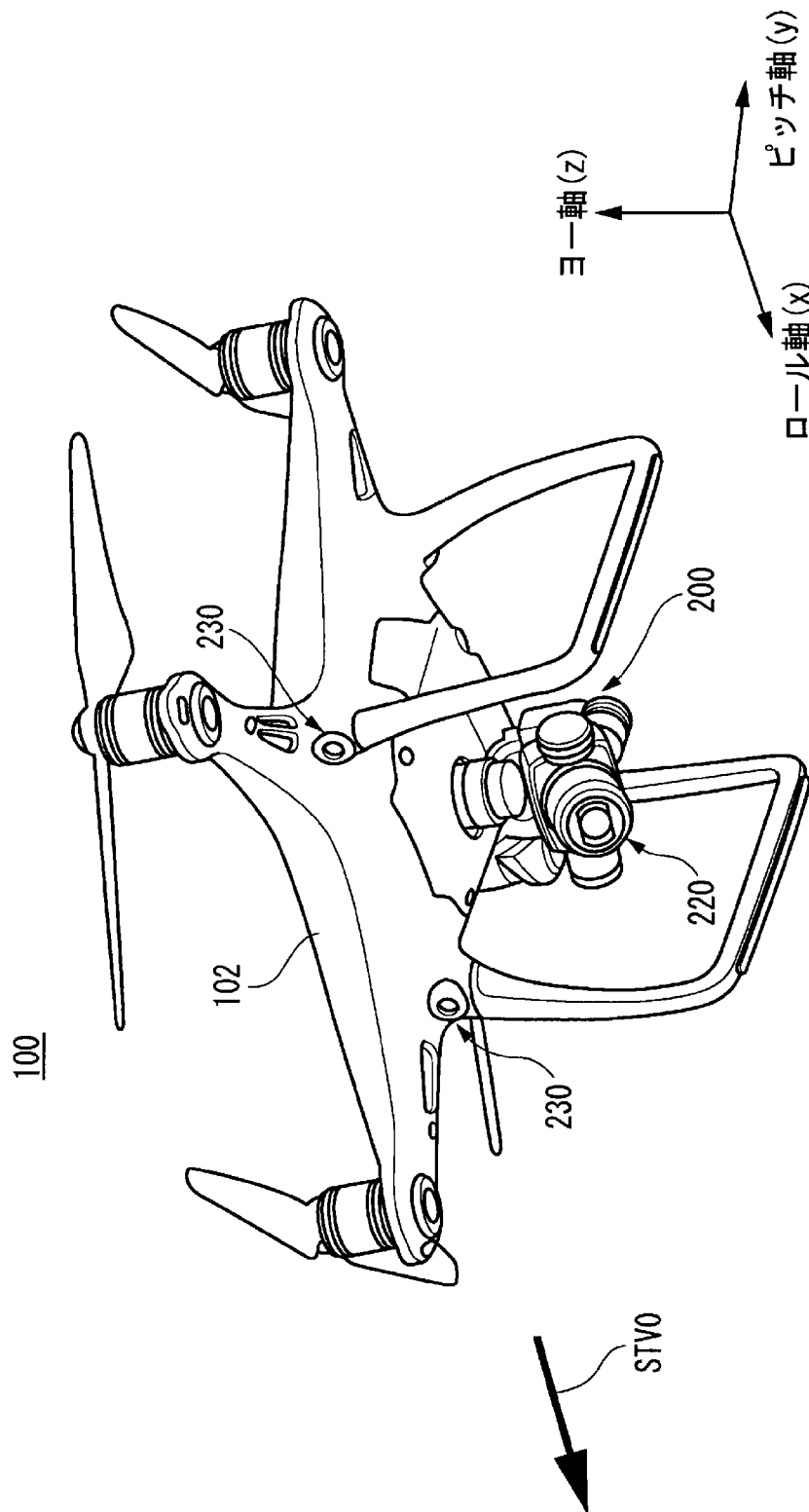
[図1]



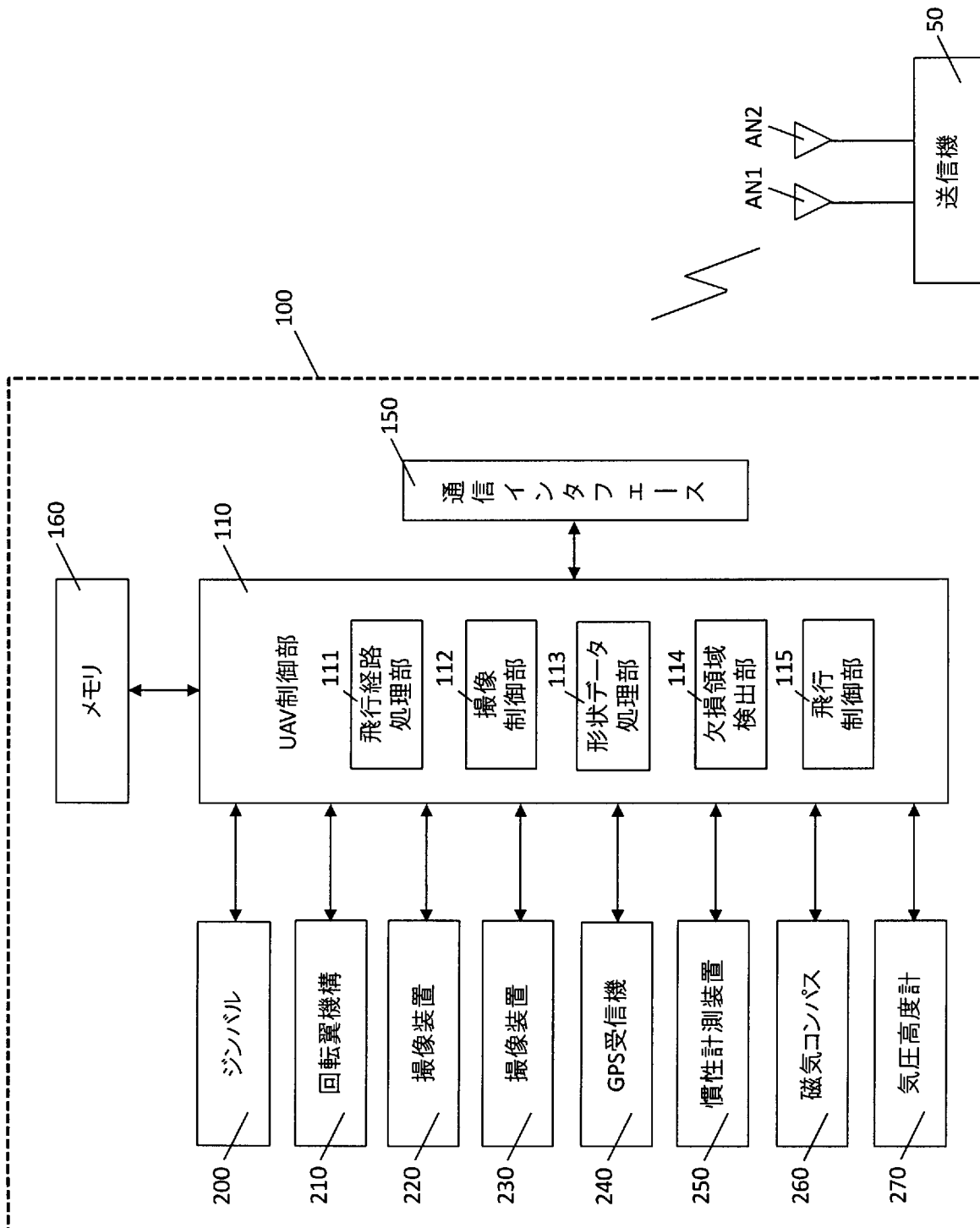
[図2]



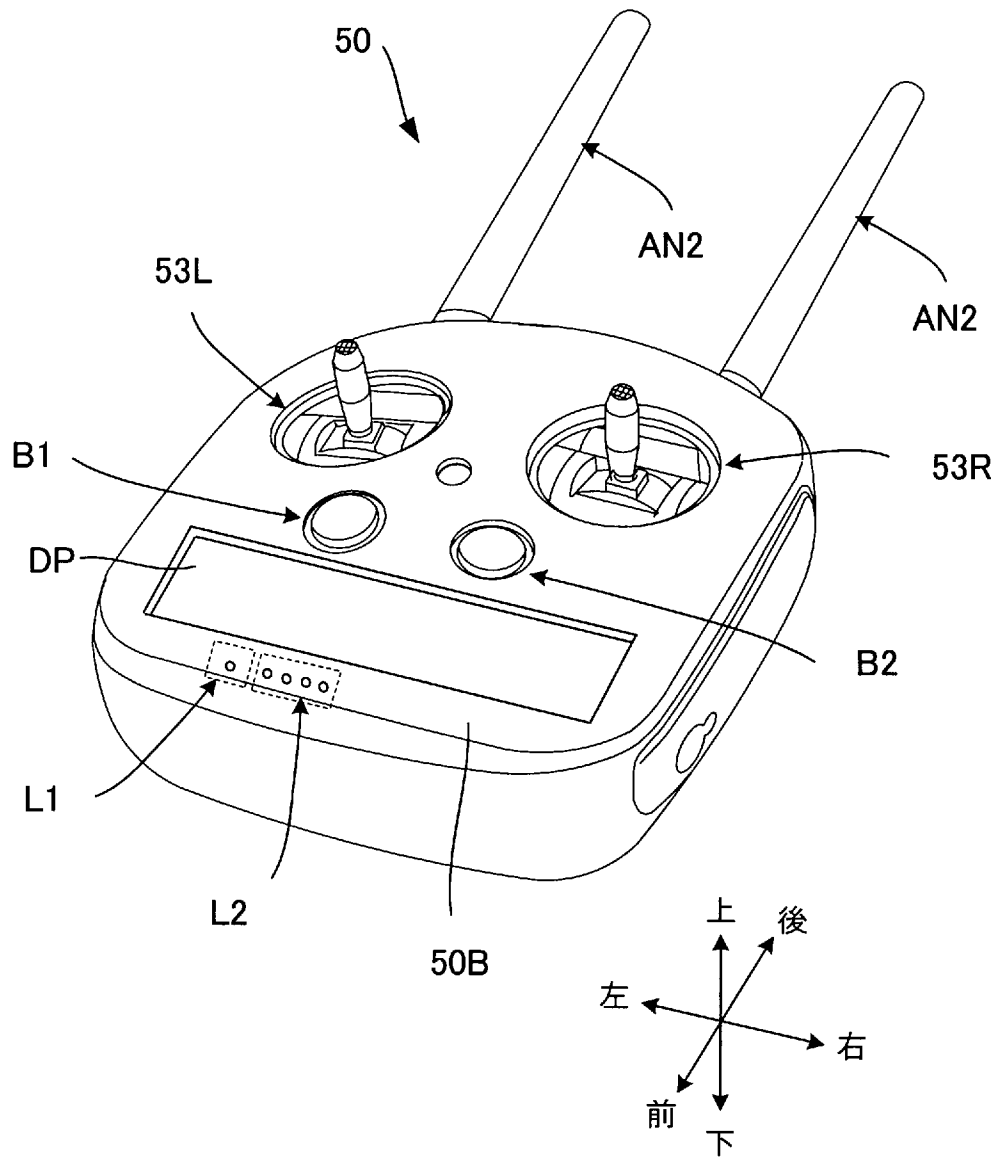
[図3]



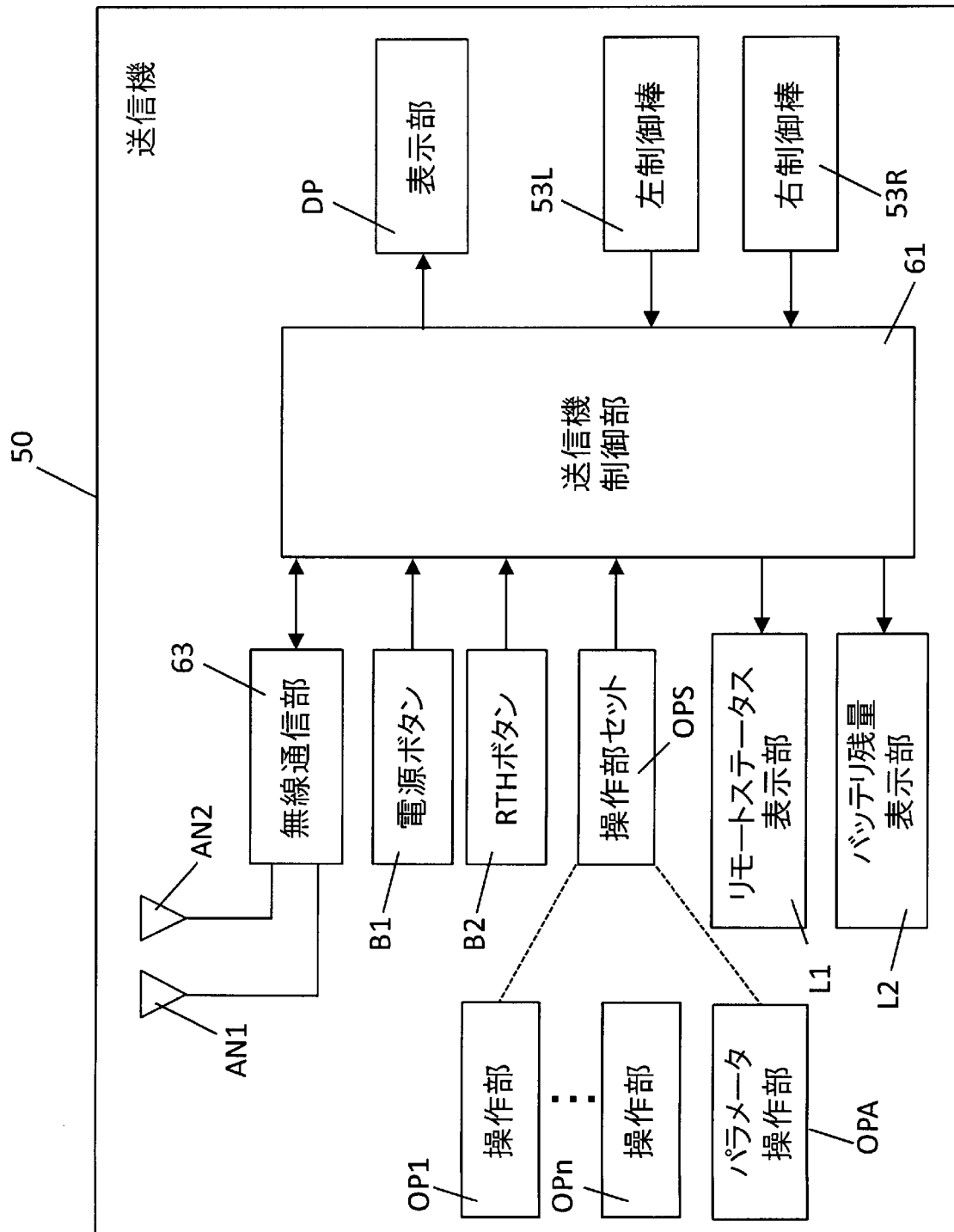
[図4]



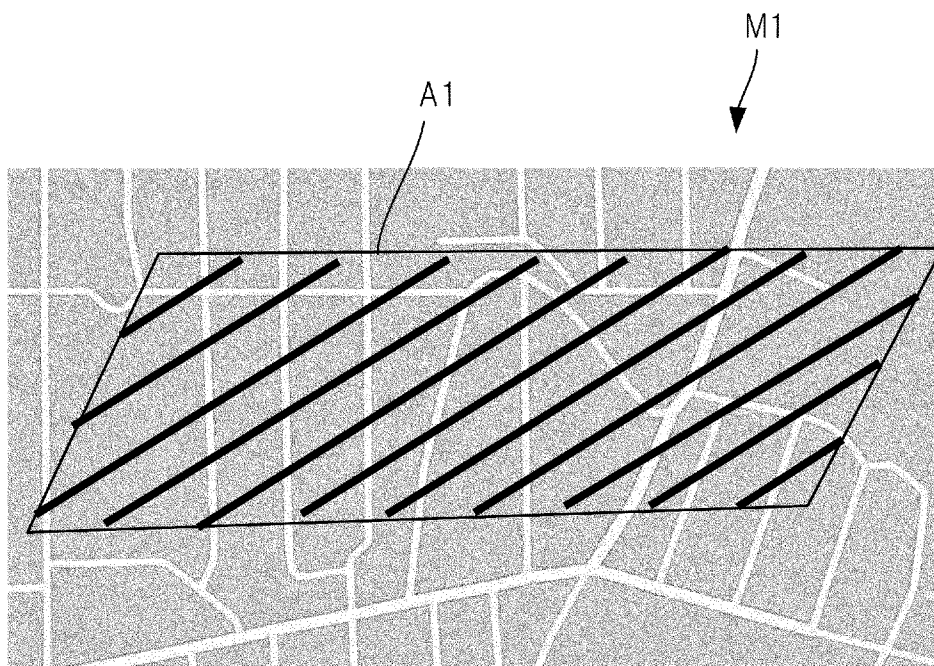
[図5]



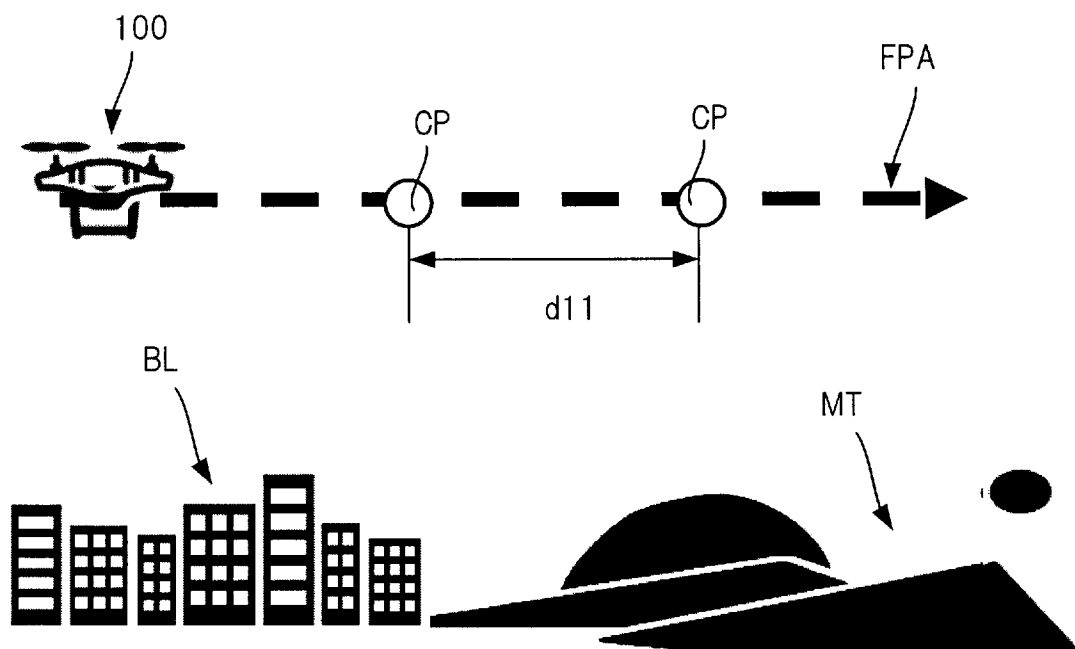
[図6]



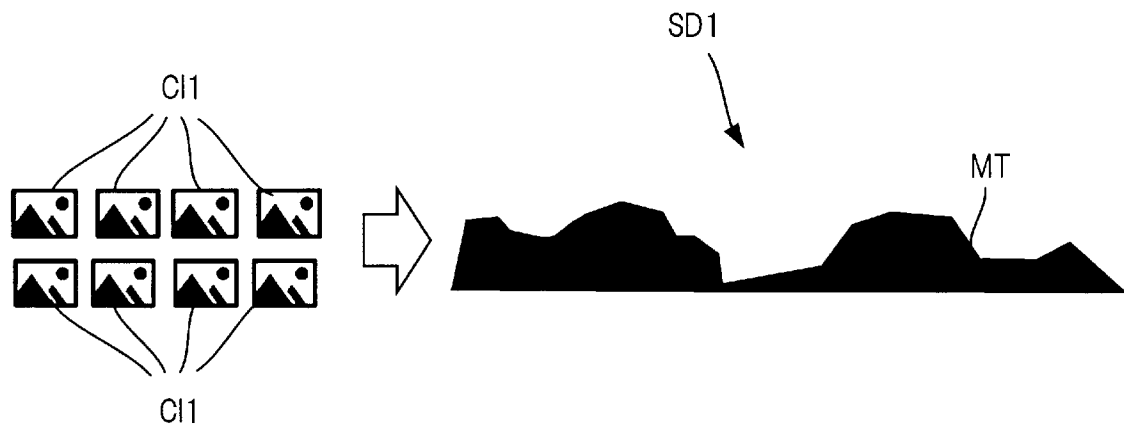
[図7]



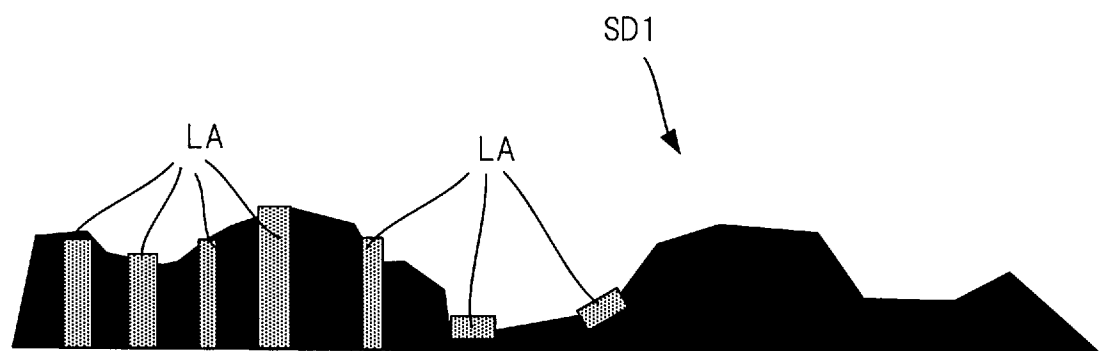
[図8]



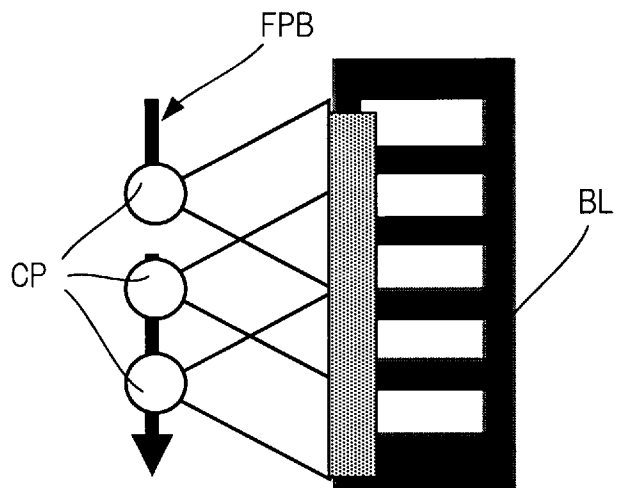
[図9]



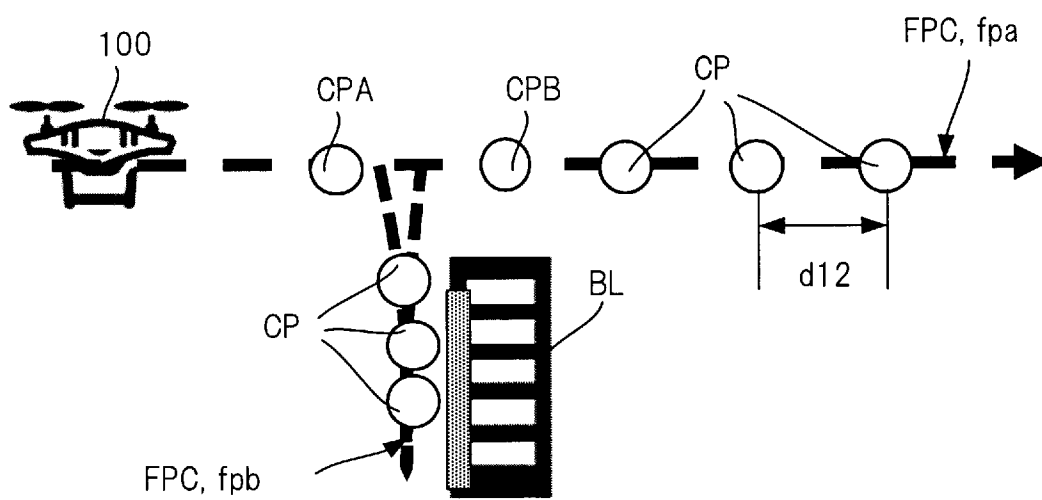
[図10]



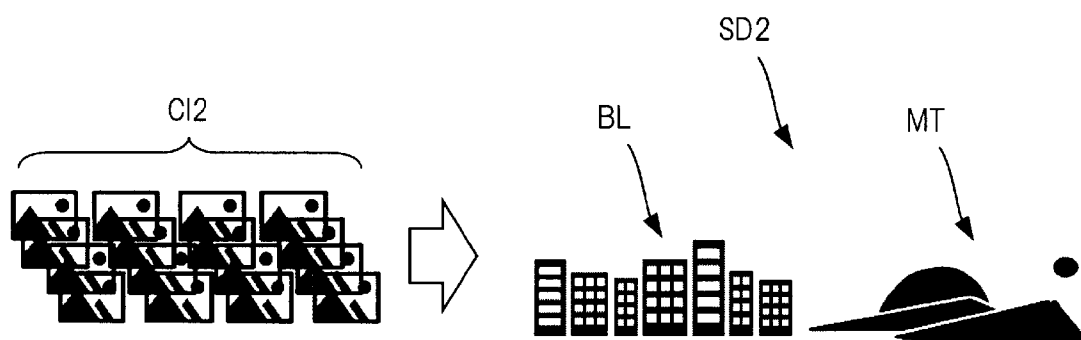
[図11]



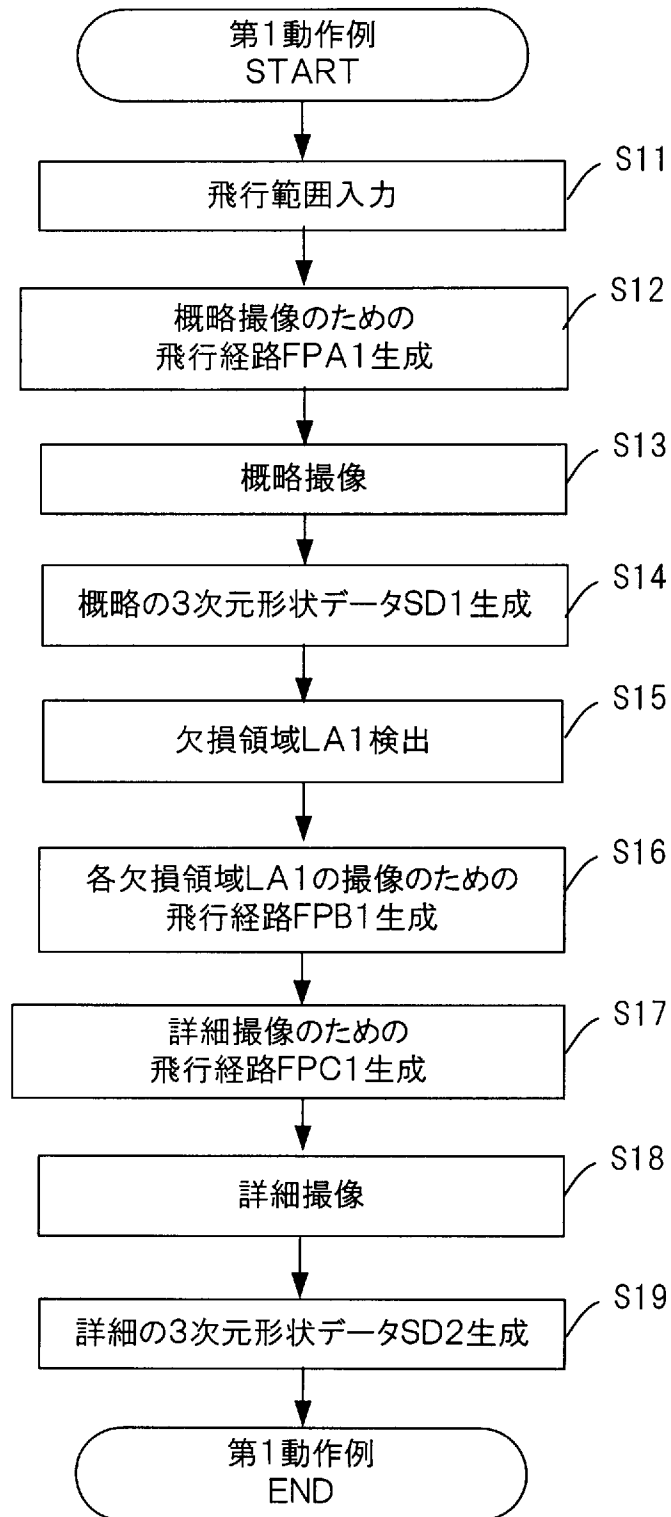
[図12]



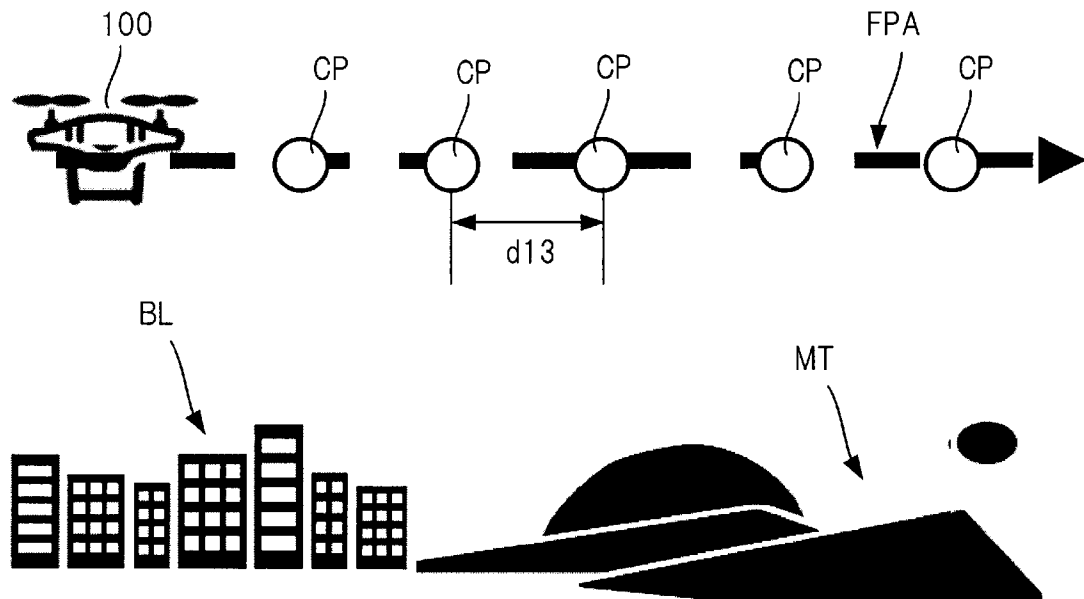
[図13]



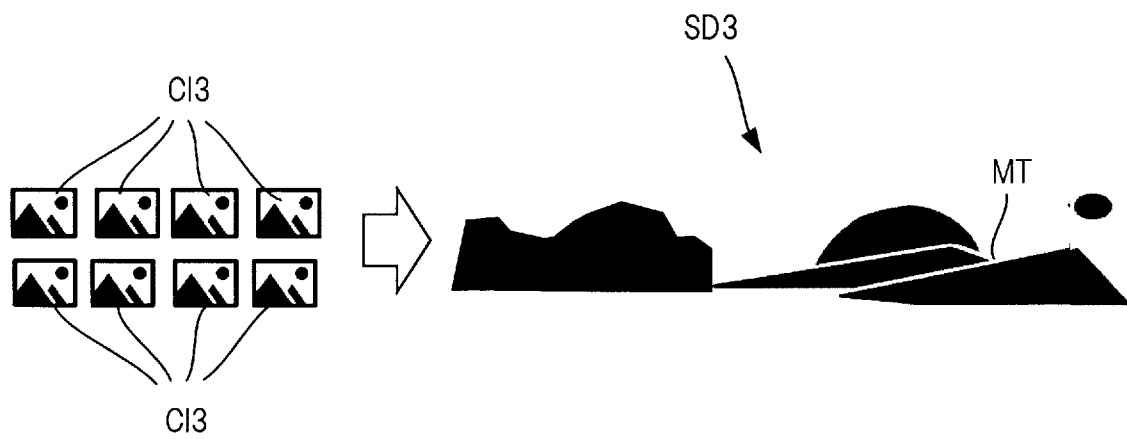
[図14]



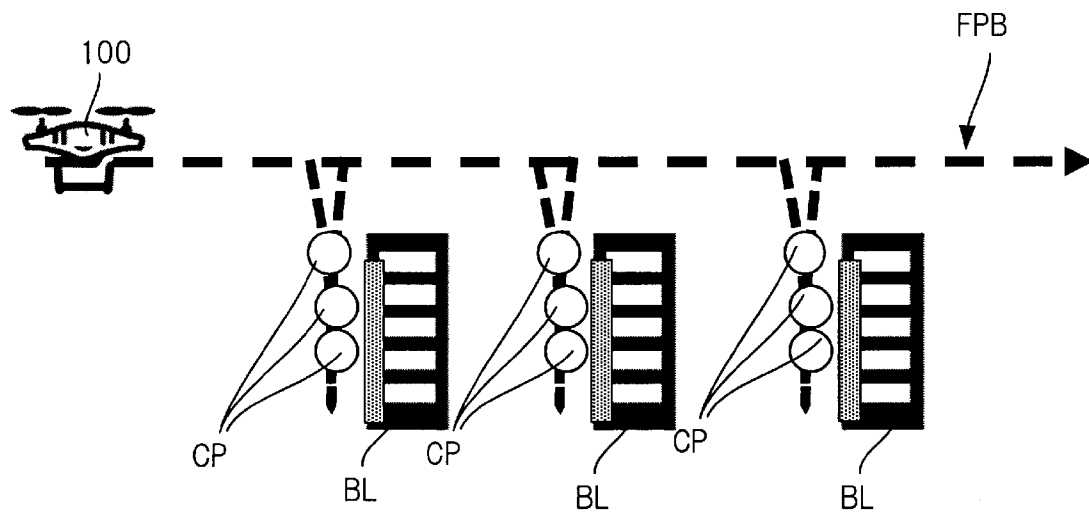
[図15]



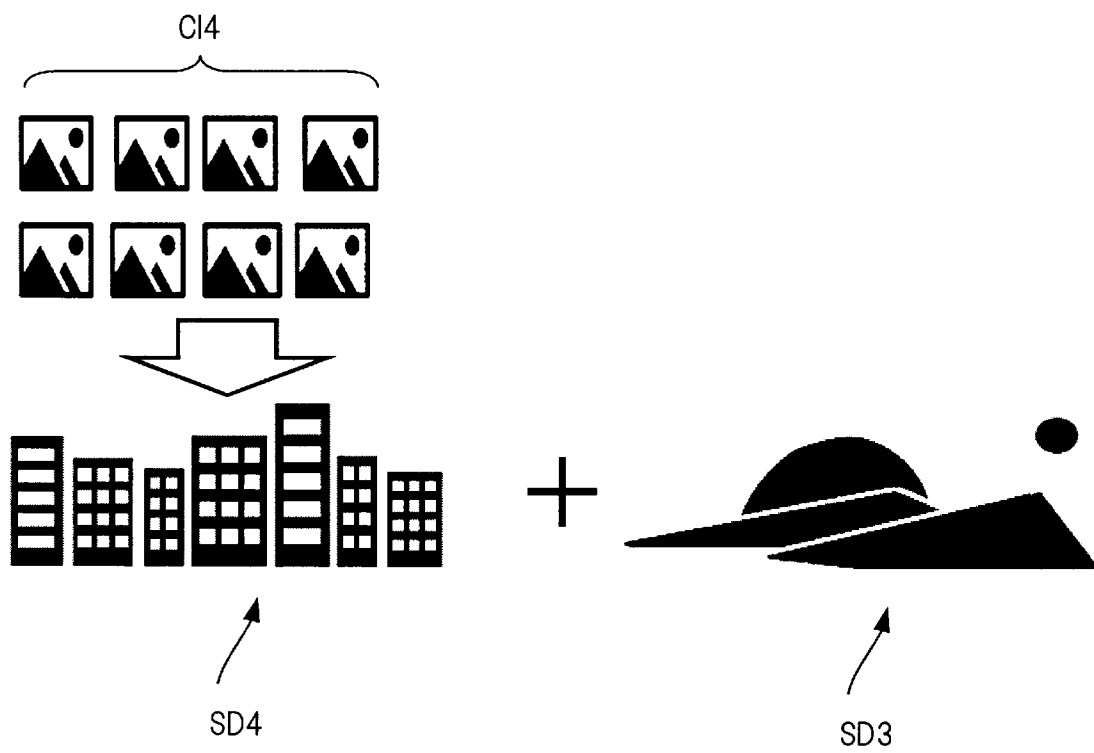
[図16]



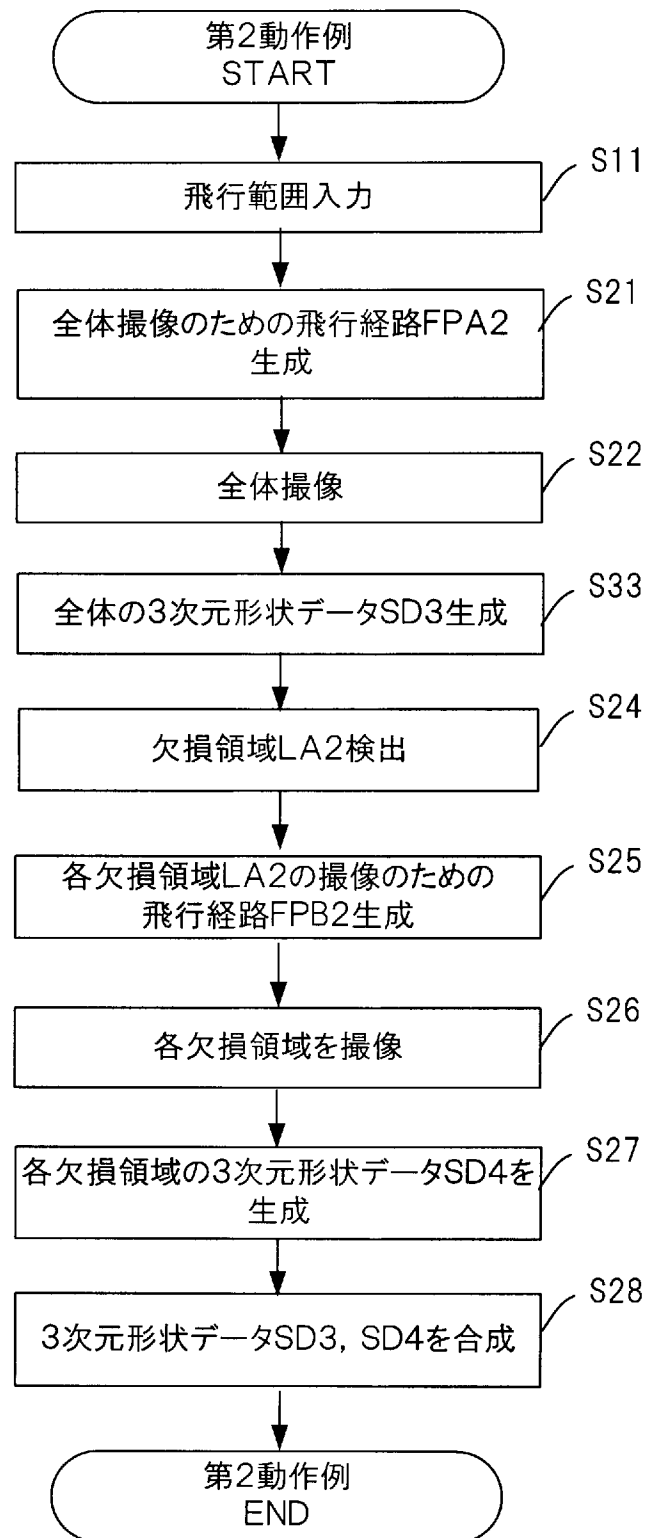
[図17]



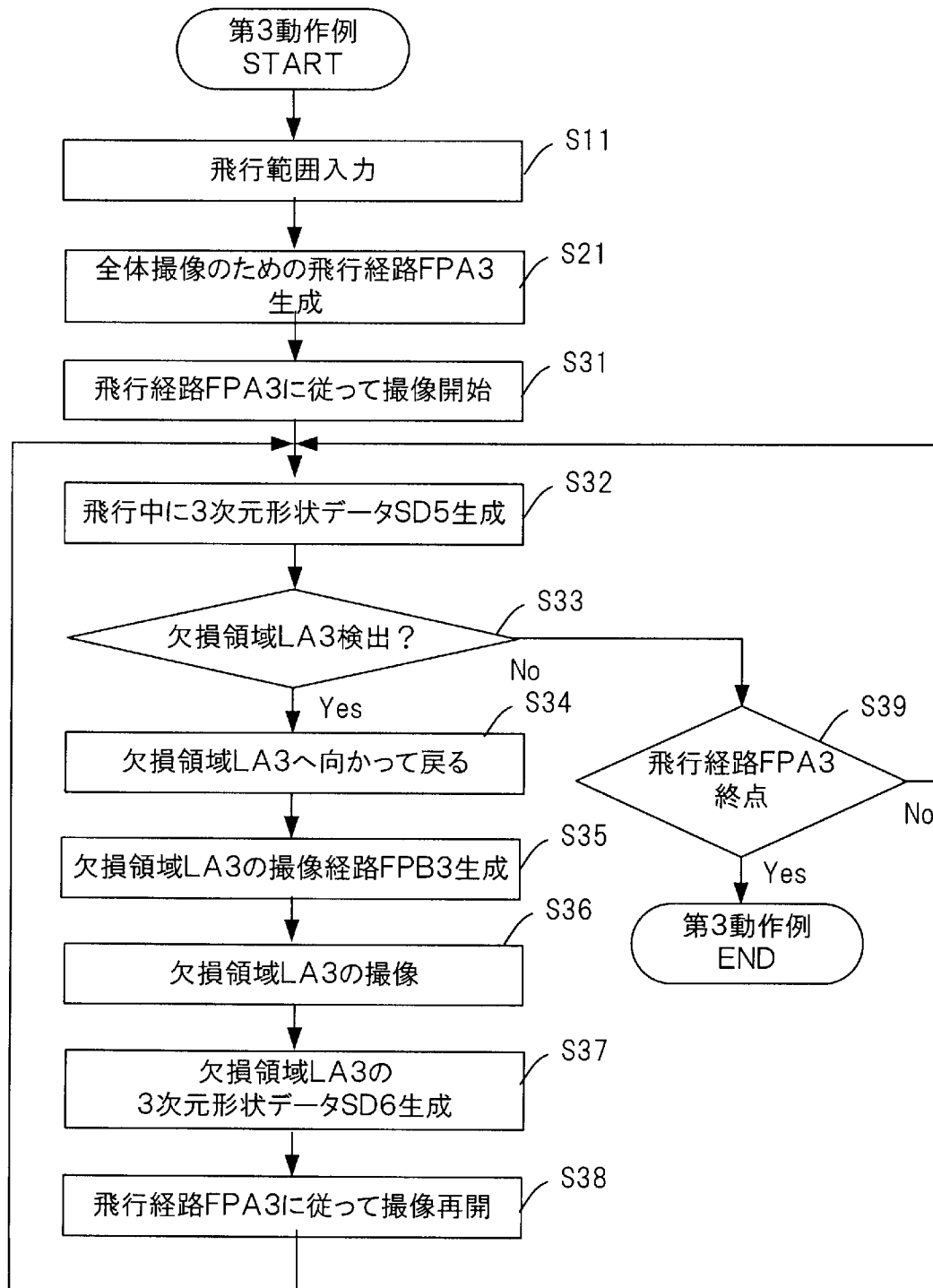
[図18]



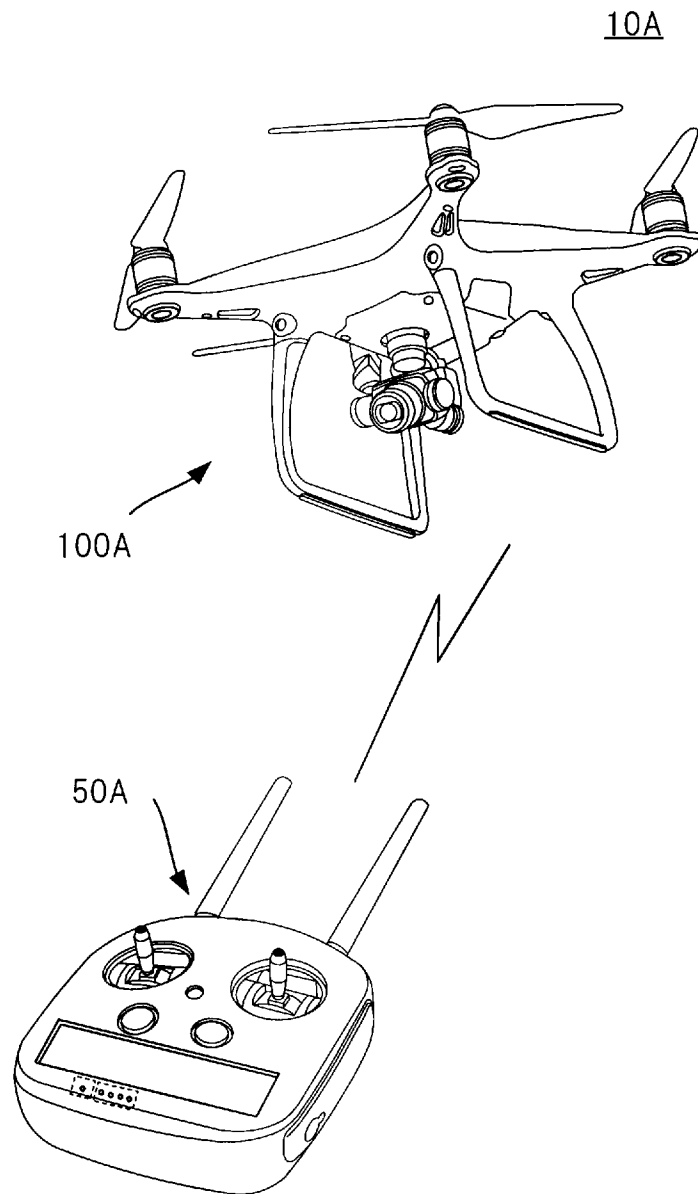
[図19]



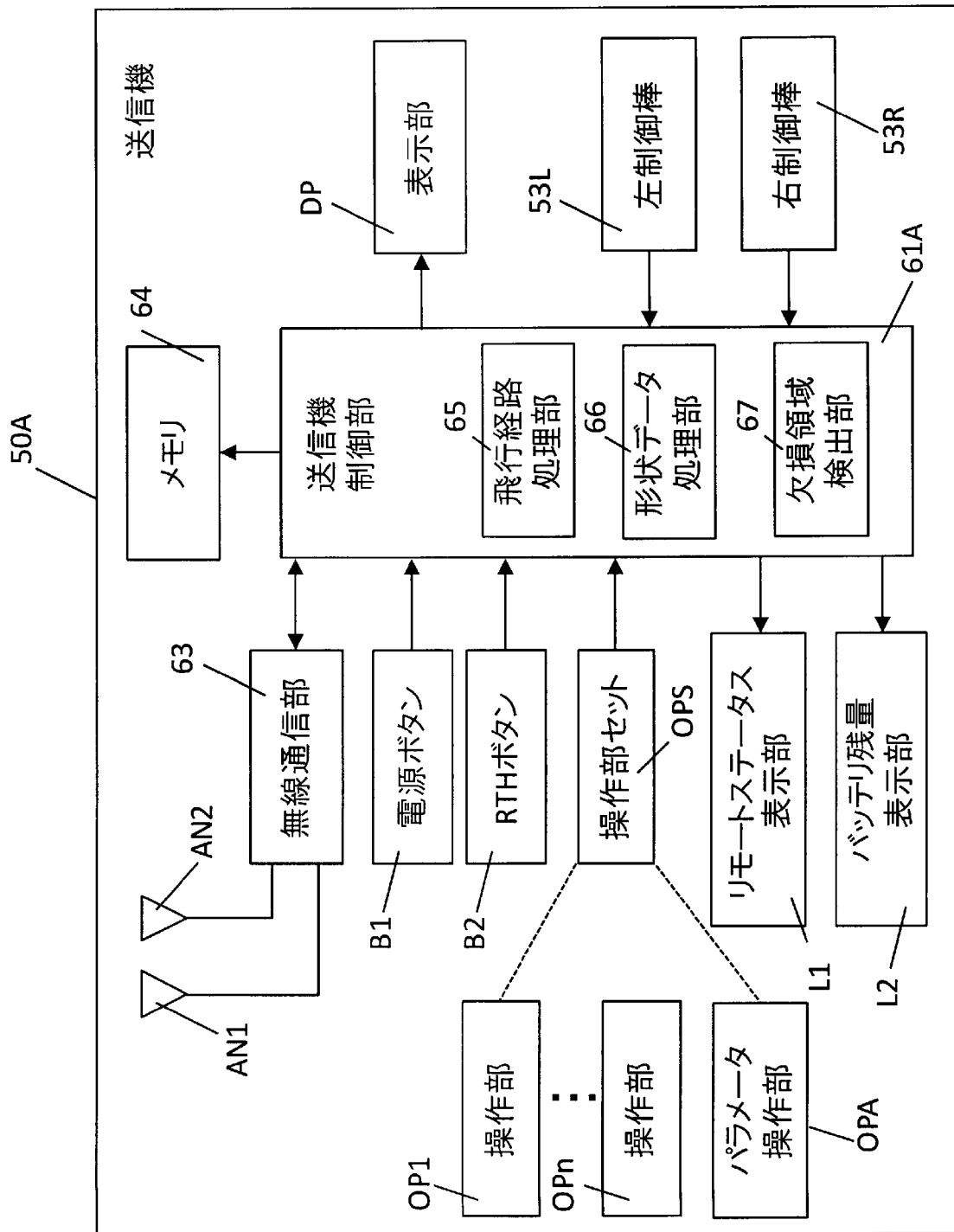
[図20]



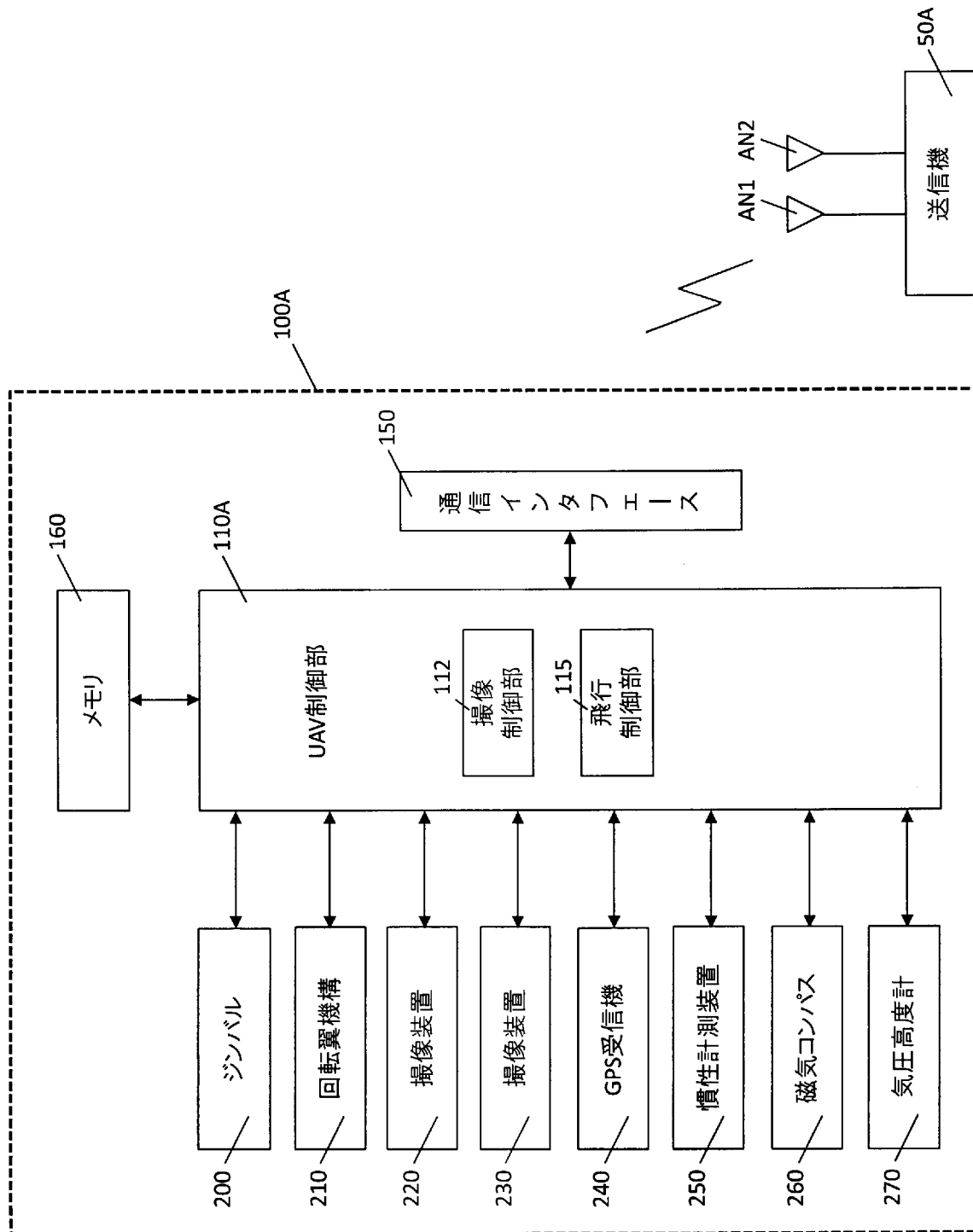
[図21]



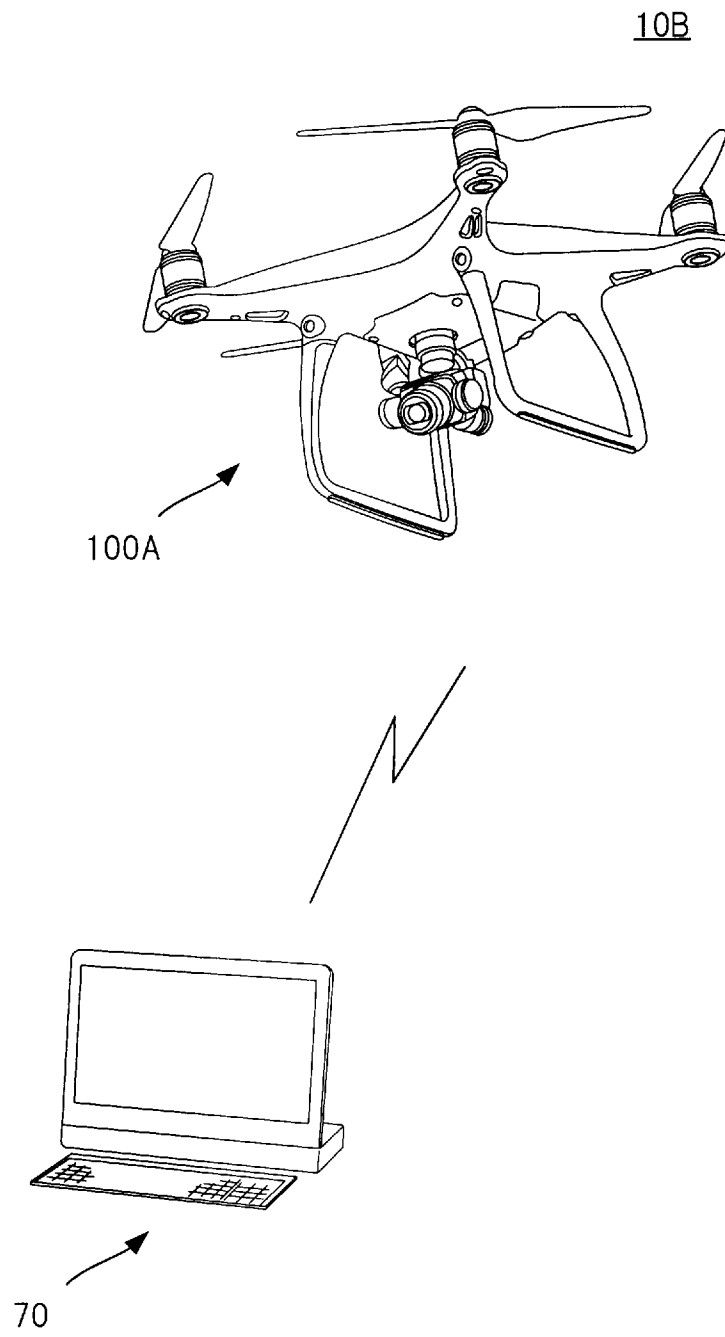
[図22]



[図23]



[図24]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2016/080751

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G01C11/06(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)

G01C11/00-11/06, G01B11/00-11/30

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

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2016
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2016	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2016

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

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2016-85100 A (Kabushiki Kaisha amuse oneself), 19 May 2016 (19.05.2016), claims; all drawings (Family: none)	1-46
A	JP 2006-3280 A (Topcon Corp.), 05 January 2006 (05.01.2006), paragraph [0035]; all drawings (Family: none)	1-46
A	JP 2015-145784 A (Topcon Corp.), 13 August 2015 (13.08.2015), paragraphs [0019], [0115] to [0122]; fig. 9 & US 2015/0220085 A1 paragraphs [0056], [0122] to [0129]; fig. 9 & EP 2902744 A1 & CN 104819706 A	1-46

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

☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

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

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

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

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

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

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

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

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

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
26 December 2016 (26.12.16)

Date of mailing of the international search report
10 January 2017 (10.01.17)

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

Authorized officer

Telephone No.

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl. G01C11/06 (2006.01) i

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl. G01C11/00-11/06, G01B11/00-11/30

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1922-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2016年
日本国実用新案登録公報	1996-2016年
日本国登録実用新案公報	1994-2016年

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

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
A	JP 2016-85100 A (株式会社 amuse oneself) 2016.05.19, 【特許請求の範囲】, 全図 (ファミリーなし)	1-46
A	JP 2006-3280 A (株式会社 トプコン) 2006.01.05, 段落【0035】, 全図 (ファミリーなし)	1-46

C欄の続きにも文献が列挙されている。

パテントファミリーに関する別紙を参照。

- * 引用文献のカテゴリー
- 「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
- 「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
- 「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)
- 「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
- 「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願日の後に公表された文献
- 「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
- 「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
- 「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
- 「&」 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

26.12.2016

国際調査報告の発送日

10.01.2017

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/J P)

郵便番号 100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

丑田 真悟

電話番号 03-3581-1101 内線 3216

2S

3100

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
A	JP 2015-145784 A (株式会社トプコン) 2015.08.13, 段落【0019】 , 【0115】 - 【0122】 , 図 9 & US 2015/0220085 A1 段落[0056], [0122]-[0129], 図 9 & EP 2902744 A1 & CN 104819706 A	1-46