

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2017-52389

(P2017-52389A)

(43) 公開日 平成29年3月16日(2017.3.16)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
B64C 13/18 (2006.01)	B 6 4 C 13/18	Z 5H301
B64C 39/02 (2006.01)	B 6 4 C 39/02	
B64C 27/68 (2006.01)	B 6 4 C 27/68	
B64C 29/00 (2006.01)	B 6 4 C 29/00	A
B64C 27/08 (2006.01)	B 6 4 C 27/08	

審査請求 未請求 請求項の数 12 O L (全 40 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願2015-177680 (P2015-177680)
 (22) 出願日 平成27年9月9日 (2015.9.9)

(71) 出願人 506301140
 公立大学法人会津大学
 福島県会津若松市一箕町大字鶴賀字上居合
 90番地
 (74) 代理人 100118094
 弁理士 殿元 基城
 (72) 発明者 岡 隆一
 福島県会津若松市一箕町大字鶴賀字上居合
 90番地 公立大学法人会津大学内
 Fターム(参考) 5H301 AA06 AA10 BB05 CC07 DD06
 DD15 GG09 GG17 HH15 LL14

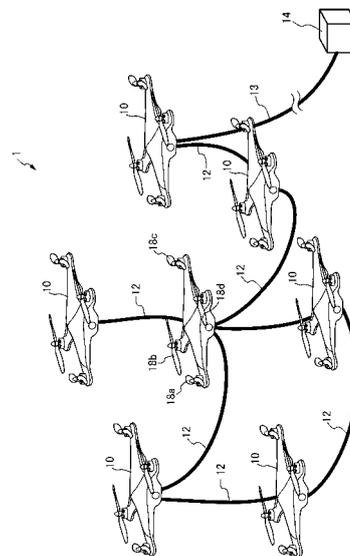
(54) 【発明の名称】 ドローンおよびドローン群

(57) 【要約】

【課題】複数のドローンにより構成されるドローン群に対して、給電ケーブルを用いて複数のドローンに電力の供給を行うこと。

【解決手段】ドローン群1は、モータ手段を駆動制御することにより飛行姿勢制御を行うことが可能な複数のドローン10と、複数のドローン10の隣接するドローン10同士を接続して、複数のドローン10をネットワーク状に接続する有線ケーブル12と、複数のドローン10の少なくとも1つのドローンに一端が接続される給電ケーブル13と、給電ケーブル13の他端側に接続され、地上に配置される電力供給手段14とを有する。ドローン群1では、電力供給手段14から給電ケーブル13および有線ケーブル12を通じて、複数のドローン10を駆動するための電力が、電力供給手段14から各ドローン10へと供給される。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

モータ手段を駆動制御することにより飛行姿勢制御を行う制御手段を備えたドローンであって、

前記ドローンが現実には飛行する 3 次元の飛行空間において予め規定される各座標軸と、前記ドローンから他のドローンへと吊り渡された有線ケーブルとのなす角を検出する角度検出手段を有し、

前記制御手段は、

前記ドローンから前記他のドローンまでの既設の距離および既設の方角に基づいて予め算出された、前記ドローンの飛行姿勢が安定した場合に前記有線ケーブルの吊り渡しにより前記ドローンに対して生じ得る理論上の外力 F_{fixed} と、

前記角度検出手段により検出された前記なす角に基づいて算出される、前記有線ケーブルの吊り渡しにより前記ドローンに対して生じる現実の外力 $c(t)$ と

の誤差 $e(t)$ に基づいて、PID 制御により制御量 $u(t)$ を算出し、

算出された前記制御量 $u(t)$ に基づいて、前記モータ手段を駆動制御することを特徴とするドローン。

【請求項 2】

前記理論上の外力 F_{fixed} の算出に関して、

前記ドローンから既設の距離 d だけ離れた x 軸方向の位置に他のドローンが位置するものとし、前記ドローンの質量を M 、前記有線ケーブルの質量を m 、重力加速度を g 、前記有線ケーブルの長さを l として、前記ドローンにおける x 軸と前記有線ケーブルとのなす角を θ_1 とすると、

$\cos \theta_1$ は、

【数 1】

$$\cos \theta_1 = \frac{\frac{d}{2}}{\frac{l}{2}} = \frac{d}{l}$$

$\sin \theta_1$ は、

【数 2】

$$\sin \theta_1 = \sqrt{1 - \left(\frac{d}{l}\right)^2}$$

により算出され

前記理論上の外力 F_{fixed} は、 x 軸方向の理論上の外力 F_x^1 と、前記 x 軸に垂直な z 軸方向の理論上の外力 F_z^1 とにより算出されて、

前記 x 軸方向の理論上の外力 F_x^1 は、

【数 3】

$$F_x^1 = \frac{\cos \theta_1 mg}{2 \sin \theta_1}$$

前記 z 軸方向の理論上の外力 F_z^1 は、

【数 4】

$$F_z^1 = Mg + \frac{mg}{2}$$

により算出されること

を特徴とする請求項 1 に記載のドローン。

【請求項 3】

地上に配置される電力供給手段より延設される給電ケーブルが前記ドローンに接続されて、前記電力供給手段より供給される電力により前記モータ手段の駆動動作が行われると共に、

10

前記給電ケーブルを介して供給された電力は、前記有線ケーブルを介して前記他のドローンに供給されること

を特徴とする請求項 1 に記載のドローン。

【請求項 4】

前記理論上の外力 F_{fixed} の算出に関して、

前記ドローンから既設の距離 d だけ離れた x 軸方向の位置に他のドローンが位置するものとし、前記ドローンの高さを h 、前記ドローンの質量を M 、前記有線ケーブルの質量を m 、前記給電ケーブルの質量を m_2 、重力加速度を g 、前記有線ケーブルの長さを l 、前記給電ケーブルの長さを L として、前記ドローンにおいて x 軸と前記有線ケーブルとのなす角を θ_2 とすると、

20

 $\cos \theta_2$ は、

【数 5】

$$\cos \theta_2 = \frac{\frac{d}{2}}{\frac{l}{2}} = \frac{d}{l}$$

30

 $\sin \theta_2$ は、

【数 6】

$$\sin \theta_2 = \sqrt{1 - \left(\frac{d}{l}\right)^2}$$

により算出され

40

前記 x 軸に垂直な z 軸と前記給電ケーブルとのなす角を θ_3 とすると、 $\cos \theta_3$ は、

【数 7】

$$\cos \theta_3 = \frac{h}{L}$$

 $\sin \theta_3$ は、

【数 8】

$$\sin \theta_3 = \sqrt{1 - \left(\frac{h}{L}\right)^2}$$

により算出され、

前記理論上の外力 F_{fixed} は、前記 x 軸方向の理論上の外力 $F^2_x(\theta_2, \theta_3)$ と、前記 z 軸方向の理論上の外力 $F^2_z(\theta_3)$ とにより算出されて、

10

前記 x 軸方向の理論上の外力 $F^2_x(\theta_2, \theta_3)$ は、

【数 9】

$$F_x^2(\theta_2, \theta_3) = \frac{\cos \theta_2 mg}{2 \sin \theta_2} + \sin \theta_3 \cos \theta_3 \cdot (m_2 g)$$

前記 z 軸方向の理論上の外力 $F^2_z(\theta_3)$ は、

【数 10】

$$F_z^2(\theta_3) = Mg + \frac{mg}{2} + \cos \theta_3 \cos \theta_3 \cdot (m_2 g)$$

20

により算出されること

を特徴とする請求項 3 に記載のドローン。

【請求項 5】

前記理論上の外力 F_{fixed} の算出に関して、

前記ドローンをドローン i とし、前記他のドローンが $|N(i)|$ 台存在してドローン j (但し $j \in N(i)$) で示されるものとして、前記ドローン i の質量を M_i 、前記ドローン i から前記ドローン j へ接続される有線ケーブルの質量を $m_{i,j}$ 、重力加速度を g とし、3次元の座標空間において前記ドローン i に接続された有線ケーブルと x 軸、 y 軸および z 軸とのなす角を $\theta_x^{i,j}$ 、 $\theta_y^{i,j}$ 、 $\theta_z^{i,j}$ とすると、

30

ドローン i に課される前記理論上の外力 F_{fixed} は、 x 軸方向の理論上の外力 $F^i_{x,total}$ と、 y 軸方向の理論上の外力 $F^i_{y,total}$ と、 z 軸方向の理論上の外力 $F^i_{z,total}$ とにより算出されて、

前記 x 軸方向の理論上の外力 $F^i_{x,total}$ は、

【数 11】

$$F_{x,total}^i = \sum_{j \in N(i)} \frac{m_{i,j} g \cos \theta_x^{i,j}}{2 \sin \theta_x^{i,j}}$$

40

前記 y 軸方向の理論上の外力 $F^i_{y,total}$ は、

【数 12】

$$F_{y,total}^i = \sum_{j \in N(i)} \frac{m_{i,j} g \cos \theta_y^{i,j}}{2 \sin \theta_y^{i,j}}$$

前記 z 軸方向の理論上の外力 $F^i_{z,total}$ は、

【数 1 3】

$$F_{z,total}^i = M_i g + \sum_{j \in N(i)} \frac{m_{i,j} g}{2}$$

により算出されること

を特徴とする請求項 1 に記載のドローン。

【請求項 6】

前記現実の外力 $c(t)$ の算出に関して、

10

前記ドローンをドローン i とし、前記他のドローンが $|N(i)|$ 台存在してドローン j (但し $j \neq i$) で示されるものとし、前記ドローン i の質量を M_i 、前記ドローン i から前記ドローン j へ接続される有線ケーブルの質量を $m_{i,j}$ 、重力加速度を g とし、前記角度検出手段により検出される、 x 軸、 y 軸および z 軸と前記ドローン i に接続された前記有線ケーブルとのなす角を $\varphi_x^{i,j}$ 、 $\varphi_y^{i,j}$ 、 $\varphi_z^{i,j}$ とすると、

ドローン i に対して生じる前記現実の外力 $c(t)$ は、 x 軸方向の現実の外力 $F_{x,total}^{i,2}$ と、 y 軸方向の理論上の外力 $F_{y,total}^{i,2}$ と、 z 軸方向の理論上の外力 $F_{z,total}^{i,2}$ とにより算出され、

前記 x 軸方向の現実の外力 $F_{x,total}^{i,2}$ は、

【数 1 4】

20

$$F_{x,total}^{i,2} = \sum_{j \in N(i)} \frac{m_{i,j} g \cos \varphi_x^{i,j}}{2 \sin \varphi_x^{i,j}}$$

前記 y 軸方向の理論上の外力 $F_{y,total}^{i,2}$ は、

【数 1 5】

$$F_{y,total}^{i,2} = \sum_{j \in N(i)} \frac{m_{i,j} g \cos \varphi_y^{i,j}}{2 \sin \varphi_y^{i,j}}$$

30

前記 z 軸方向の理論上の外力 $F_{z,total}^{i,2}$ は、

【数 1 6】

$$F_{z,total}^{i,2} = M_i g + \sum_{j \in N(i)} \frac{m_{i,j} g}{2}$$

により算出されること

40

を特徴とする請求項 1 又は請求項 5 に記載のドローン。

【請求項 7】

モータ手段を駆動制御することにより飛行姿勢制御を行う制御手段を備えたドローンであって、

複数の前記ドローンによってドローン群が構成され、

該ドローン群を構成する前記ドローンのそれぞれには、運搬対象物に一端が接続された有線ケーブルの他端が接続されており、

前記ドローンは、前記ドローンが現実飛行する 3 次元の飛行空間において予め規定される各座標軸と、他端が接続された前記有線ケーブルとのなす角を検出する角度検出手段を有し、

50

前記制御手段は、

前記運搬対象物までの既設の距離および既設の方角に基づいて予め算出された、前記ドローンの飛行姿勢が安定した場合に前記運搬対象物の接続により前記ドローンに対して生じ得る理論上の外力 F_{fixed} と、

前記角度検出手段により検出された前記なす角に基づいて算出される、前記運搬対象物の接続により前記ドローンに対して生じる現実の外力 $c(t)$ と

の誤差 $e(t)$ に基づいて、PID 制御により制御量 $u(t)$ を算出し、

算出された前記制御量 $u(t)$ に基づいて、前記モータ手段を駆動制御すること
を特徴とするドローン。

【請求項 8】

10

前記理論上の外力 F_{fixed} の算出に関して、

前記運搬対象物に前記有線ケーブルを介して接続される前記ドローンの数を k とし、前記ドローンの質量を M 、前記運搬対象の質量を M_2 、前記有線ケーブルの質量を m 、重力加速度を g とし、3次元の座標空間において前記ドローンに接続された前記有線ケーブルと x 軸、 y 軸および z 軸とのなす角を θ_x 、 θ_y 、 θ_z とすると、

前記ドローンに対して生じる前記理論上の外力 F_{fixed} は、 x 軸方向の理論上の外力 $F_x(\theta_x)$ と、 y 軸方向の理論上の外力 $F_y(\theta_y)$ と、 z 軸方向の理論上の外力 $F_z(\theta_z)$ とにより算出されて、

前記 x 軸方向の理論上の外力 $F_x(\theta_x)$ は、

【数 17】

20

$$F_x(\theta_x) = \frac{\cos\theta_x}{\sin\theta_x} \cdot \left(m + \frac{M_2}{k}\right) g$$

前記 y 軸方向の理論上の外力 $F_y(\theta_y)$ は、

【数 18】

$$F_y(\theta_y) = \frac{\cos\theta_y}{\sin\theta_y} \cdot \left(m + \frac{M_2}{k}\right) g$$

30

前記 z 軸方向の理論上の外力 $F_z(\theta_z)$ は、

【数 19】

$$F_z(\theta_z) = Mg + \left(m + \frac{M_2}{k}\right) g$$

により算出されること

40

を特徴とする請求項 7 に記載のドローン。

【請求項 9】

前記現実の外力 $c(t)$ の算出に関して、

前記運搬対象物に前記有線ケーブルを介して接続される前記ドローンの数を k とし、前記ドローンの質量を M 、前記運搬対象の質量を M_2 、前記有線ケーブルの質量を m 、重力加速度を g とし、前記角度検出手段により検出される、 x 軸、 y 軸および z 軸とのなす角を θ_x 、 θ_y 、 θ_z とすると、

前記ドローンに対して生じる前記現実の外力 $c(t)$ は、 x 軸方向の現実の外力 $F_x(\theta_x)$ と、 y 軸方向の現実の外力 $F_y(\theta_y)$ と、 z 軸方向の現実の外力 $F_z(\theta_z)$ とにより算出されて、

50

前記 x 軸方向の現実の外力 F_x (φ_x) は、
【数 2 0】

$$F_x(\varphi_x) = \frac{\cos\varphi_x}{\sin\varphi_x} \cdot \left(m + \frac{M_2}{k}\right) g$$

前記 y 軸方向の現実の外力 F_y (φ_y) は、
【数 2 1】

$$F_y(\varphi_y) = \frac{\cos\varphi_y}{\sin\varphi_y} \cdot \left(m + \frac{M_2}{k}\right) g$$

10

前記 z 軸方向の現実の外力 F_z (φ_z) は、
【数 2 2】

$$F_z(\varphi_z) = Mg + \left(m + \frac{M_2}{k}\right) g$$

20

により算出されること

を特徴とする請求項 7 又は請求項 8 に記載のドローン。

【請求項 1 0】

前記既設の距離および前記既設の方角により決定される編隊パターンが、前記既設の距離および前記既設の方角を予め複数パターン設定することにより複数用意されると共に、前記理論上の外力 F_{fixed} が、前記編隊パターンに応じて複数算出され、

前記制御手段は、前記編隊パターンの変更に伴って前記理論上の外力 F_{fixed} を変更することにより、変更された前記理論上の外力 F_{fixed} と前記現実の外力 $c(t)$ との誤差 $e(t)$ に基づいて、PID 制御により新たに制御量 $u(t)$ を算出し、

30

算出された前記制御量 $u(t)$ に基づいて、前記モータ手段を駆動制御すること
を特徴とする請求項 1 乃至請求項 9 のいずれか 1 項に記載のドローン。

【請求項 1 1】

モータ手段を駆動制御することにより飛行姿勢制御を行うことが可能な複数のドローンと、

前記複数のドローンの隣接するドローン同士を接続して、前記複数のドローンをネットワーク状に接続する有線ケーブルと、

前記複数のドローンの少なくとも 1 つのドローンに一端が接続される給電ケーブルと、
前記給電ケーブルの他端側に接続され、地上に配置される電力供給手段と

を有し、

40

前記電力供給手段から前記給電ケーブルおよび前記有線ケーブルを通じて、前記複数のドローンを駆動するための電力が前記電力供給手段により供給されること

を特徴とするドローン群。

【請求項 1 2】

前記ドローン群は、請求項 1 乃至請求項 6 に記載のドローンを複数台用いることにより構成されること

を特徴とする請求項 1 1 に記載のドローン群。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0 0 0 1】

50

本発明は、ドローンおよびドローン群に関し、より詳細には、他のドローンに対して有線ケーブルが吊り渡されたドローンにおいて、安定した飛行制御を行うことが可能なドローンおよびドローン群に関する。

【背景技術】

【0002】

従来より、無線技術等を用いた遠隔操作によって、上空を移動したりあるいは所定の位置および高度で飛行姿勢を維持したり（この維持状態をホバリングと称する）する無人の飛翔体が知られている。このような無人の飛翔体は、一般的にドローンと呼ばれている。一般的なドローンには、プロペラを回転駆動させるためのモータが複数設けられており、遠隔操作に応じてプロペラの回転数を制御することによって、ドローンを上下・左右・前後に移動させたり、その場で方向転換をさせたりすることが可能になっている。

10

【0003】

また、一般的なドローンには、自動姿勢制御機能が設けられている。例えば、ドローンには、3軸ジャイロセンサと3軸加速度センサが設けられており、3軸ジャイロセンサおよび3軸加速度センサで、ドローンの姿勢変化が検出された場合に、各モータを制御することによりプロペラの回転数を変更させて、飛行姿勢が安定する制御が行われる（例えば、特許文献1、特許文献2等参照）。

【0004】

一般的なドローンは、飛行姿勢の安定制御を行いながら単体で飛行することによって、上空からの映像を撮影したり、又は、軽量物の運搬を行ったりすることに利用されている。

20

【先行技術文献】

【特許文献】

【0005】

【特許文献1】特開2013-010499号公報

【特許文献2】特表2015-514263号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

一般的なドローンは、バッテリー電源や電池による電源等を搭載しており、バッテリー電源等を駆動源としてモータを駆動させることにより、飛行を行っている。しかしながら、バッテリー電源等に蓄電される電池容量には限界があるため、電池容量によって飛行時間が制限されてしまうという問題があった。例えば、飛行時間の短いもので10分程度、長いものであっても数十分程度であって、長時間の飛行を実現することが容易ではなかった。

30

【0007】

このため、近年では、ドローンの駆動源となる電力を給電ケーブルによって（有線で）地上から供給する方法が提案されている（例えば、「飛行ドローン有線給電テスト Test Flight by Wired Power」[平成27年8月1日検索]、インターネット<<https://www.youtube.com/watch?v=crXytGhV27c>>）。このような、有線による電力供給によって、長時間の飛行を実現することが可能になる。しかしながら、ドローンにおいてホバリング状態を維持するために、有線ケーブルによる影響を考慮した飛行姿勢の安定性を確保する必要が生じるため、飛行制御が難しくなるという問題があった。

40

【0008】

また、近年では、荷物の運搬等にドローンを利用しようとする要望が高まっている。しかしながら、ドローン単体で持ち上げることが可能な荷重（ペイロードと呼ばれる）は、数百グラムから数キログラムまでに限られてしまう。数十キログラムの荷物を運搬する場合には、ドローンにおいて十分なペイロードを確保する必要が生じるため、ドローンの機体自体の大型化（例えば、数メートルの外寸）が必要になると共に、有線等による十分な電力供給が必要になるため、実現が容易ではないという問題があった。

【0009】

50

また、ドローンを用いて上空からの撮影を行う場合、単体のドローンだけで撮影を行うと、飛行ルートが線的であることから、一度の飛行で撮影可能な範囲が限定されてしまうという問題があった。このため、複数回に分けてドローンを飛行させることにより、より広い範囲の撮影を行うことも可能であるが、上述したように、バッテリー電源等を駆動源として用いる場合には、飛行時間が限られてしまうため、複数回の撮影が容易ではないという問題があった。

【0010】

本発明は、上記問題に鑑みてなされるものであり、複数のドローンにより構成されるドローン群に対して、給電ケーブルを用いて複数のドローンに電力の供給を行うことが可能なドローン群を提供することを課題とする。

10

【0011】

また、他のドローンと有線ケーブルで接続されたドローンにおいて、有線ケーブル等による影響（外力）を考慮したドローンの安定飛行制御を実現すると共に、ドローンと他のドローンとの距離や方角を維持することにより複数のドローンが協同した飛行を実現すること可能なドローンを提供することを課題とする。

【0012】

また、複数のドローンで協働して荷物等の運搬対象物を運ぶ場合に、各ドローンにおいて、運搬対象物による影響（外力）を考慮した安定飛行制御を実現すると共に、ドローンと運搬対象物との距離や方角を維持することにより複数のドローンが協同した飛行を実現すること可能なドローンを提供することを課題とする。

20

【課題を解決するための手段】

【0013】

上記課題を解決するために、本発明に係るドローンは、モータ手段を駆動制御することにより飛行姿勢制御を行う制御手段を備えたドローンであって、前記ドローンが現実に飛行する3次元の飛行空間において予め規定される各座標軸と、前記ドローンから他のドローンへと吊り渡された有線ケーブルとのなす角を検出する角度検出手段を有し、前記制御手段は、前記ドローンから前記他のドローンまでの既設の距離および既設の方角に基づいて予め算出された、前記ドローンの飛行姿勢が安定した場合に前記有線ケーブルの吊り渡しにより前記ドローンに対して生じ得る理論上の外力 F_{fixed} と、前記角度検出手段により検出された前記なす角に基づいて算出される、前記有線ケーブルの吊り渡しにより前記ドローンに対して生じる現実の外力 $c(t)$ との誤差 $e(t)$ に基づいて、PID制御により制御量 $u(t)$ を算出し、算出された前記制御量 $u(t)$ に基づいて、前記モータ手段を駆動制御することを特徴とする。

30

【0014】

また、上述したドローンの前記理論上の外力 F_{fixed} の算出に関して、前記ドローンから既設の距離 d だけ離れた x 軸方向の位置に他のドローンが位置するものとし、前記ドローンの質量を M 、前記有線ケーブルの質量を m 、重力加速度を g 、前記有線ケーブルの長さを l として、前記ドローンにおける x 軸と前記有線ケーブルとのなす角を θ_1 とすると、 $\cos \theta_1$ は、

40

【数1】

$$\cos \theta_1 = \frac{\frac{d}{2}}{\frac{l}{2}} = \frac{d}{l}$$

$\sin \theta_1$ は、

【数 2】

$$\sin \theta_1 = \sqrt{1 - \left(\frac{d}{l}\right)^2}$$

により算出され、

前記理論上の外力 F_{fixed} は、 x 軸方向の理論上の外力 F_x^1 と、前記 x 軸に垂直な z 軸方向の理論上の外力 F_z^1 とにより算出されて、

10

前記 x 軸方向の理論上の外力 F_x^1 は、

【数 3】

$$F_x^1 = \frac{\cos \theta_1 mg}{2 \sin \theta_1}$$

前記 z 軸方向の理論上の外力 F_z^1 は、

【数 4】

$$F_z^1 = Mg + \frac{mg}{2}$$

20

により算出されるものであってもよい。

【0015】

また、上述したドローンは、地上に配置される電力供給手段より延設される給電ケーブルが前記ドローンに接続されて、前記電力供給手段より供給される電力により前記モータ手段の駆動動作が行われると共に、前記給電ケーブルを介して供給された電力は、前記有線ケーブルを介して前記他のドローンに供給されるものであってもよい。

【0016】

さらに、上述したドローンの前記理論上の外力 F_{fixed} の算出に関して、前記ドローンから既設の距離 d だけ離れた x 軸方向の位置に他のドローンが位置するものとし、前記ドローンの高さを h 、前記ドローンの質量を M 、前記有線ケーブルの質量を m 、前記給電ケーブルの質量を m_2 、重力加速度を g 、前記有線ケーブルの長さを l 、前記給電ケーブルの長さを L として、前記ドローンにおいて x 軸と前記有線ケーブルとのなす角を θ_2 とすると、

30

$\cos \theta_2$ は、

【数 5】

$$\cos \theta_2 = \frac{\frac{d}{2}}{\frac{l}{2}} = \frac{d}{l}$$

40

$\sin \theta_2$ は、

【数 6】

$$\sin \theta_2 = \sqrt{1 - \left(\frac{d}{l}\right)^2}$$

により算出され、

前記 x 軸に垂直な z 軸と前記給電ケーブルとのなす角を θ_3 とすると、
 $\cos \theta_3$ は、

10

【数 7】

$$\cos \theta_3 = \frac{h}{L}$$

$\sin \theta_3$ は、

【数 8】

$$\sin \theta_3 = \sqrt{1 - \left(\frac{h}{L}\right)^2}$$

20

により算出され、

前記理論上の外力 F_{fixed} は、前記 x 軸方向の理論上の外力 $F_x^2(\theta_2, \theta_3)$ と、前記 z 軸方向の理論上の外力 $F_z^2(\theta_3)$ とにより算出されて、

前記 x 軸方向の理論上の外力 $F_x^2(\theta_2, \theta_3)$ は、

【数 9】

$$F_x^2(\theta_2, \theta_3) = \frac{\cos \theta_2 mg}{2 \sin \theta_2} + \sin \theta_3 \cos \theta_3 \cdot (m_2 g)$$

30

前記 z 軸方向の理論上の外力 $F_z^2(\theta_3)$ は、

【数 10】

$$F_z^2(\theta_3) = Mg + \frac{mg}{2} + \cos \theta_3 \cos \theta_3 \cdot (m_2 g)$$

により算出されるものであってもよい。

【0017】

40

また、上述したドローンの前記理論上の外力 F_{fixed} の算出に関して、前記ドローンをドローン i とし、前記他のドローンが $N(i)$ 台存在してドローン j (但し $j \in N(i)$) で示されるものとして、前記ドローン i の質量を M_i 、前記ドローン i から前記ドローン j へ接続される有線ケーブルの質量を $m_{i,j}$ 、重力加速度を g とし、3次元の座標空間において前記ドローン i に接続された有線ケーブルと x 軸、y 軸および z 軸とのなす角を $\theta_{x,i,j}$ 、 $\theta_{y,i,j}$ 、 $\theta_{z,i,j}$ とすると、ドローン i に課される前記理論上の外力 F_{fixed} は、x 軸方向の理論上の外力 $F_{x,total}^i$ と、y 軸方向の理論上の外力 $F_{y,total}^i$ と、z 軸方向の理論上の外力 $F_{z,total}^i$ とにより算出されて、

前記 x 軸方向の理論上の外力 $F_{x,total}^i$ は、

【数 1 1】

$$F_{x,total}^i = \sum_{j \in N(i)} \frac{m_{i,j} g \cos \theta_x^{i,j}}{2 \sin \theta_x^{i,j}}$$

前記 y 軸方向の理論上の外力 $F_{y,total}^i$ は、

【数 1 2】

$$F_{y,total}^i = \sum_{j \in N(i)} \frac{m_{i,j} g \cos \theta_y^{i,j}}{2 \sin \theta_y^{i,j}}$$

10

前記 z 軸方向の理論上の外力 $F_{z,total}^i$ は、

【数 1 3】

$$F_{z,total}^i = M_i g + \sum_{j \in N(i)} \frac{m_{i,j} g}{2}$$

20

により算出されるものであってもよい。

【0 0 1 8】

さらに、上述したドローンの前記現実の外力 $c(t)$ の算出に関して、前記ドローンをドローン i とし、前記他のドローンが $|N(i)|$ 台存在してドローン j (但し $j \in N(i)$) で示されるものとし、前記ドローン i の質量を M_i 、前記ドローン i から前記ドローン j へ接続される有線ケーブルの質量を $m_{i,j}$ 、重力加速度を g とし、前記角度検出手段により検出される、x 軸、y 軸および z 軸と前記ドローン i に接続された前記有線ケーブルとのなす角を $\theta_x^{i,j}$ 、 $\theta_y^{i,j}$ 、 $\theta_z^{i,j}$ とすると、ドローン i に対して生じる前記現実の外力 $c(t)$ は、x 軸方向の現実の外力 $F_{x,total}^{i,2}$ と、y 軸方向の理論上の外力 $F_{y,total}^{i,2}$ と、z 軸方向の理論上の外力 $F_{z,total}^{i,2}$ とにより算出され

30

前記 x 軸方向の現実の外力 $F_{x,total}^{i,2}$ は、

【数 1 4】

$$F_{x,total}^{i,2} = \sum_{j \in N(i)} \frac{m_{i,j} g \cos \varphi_x^{i,j}}{2 \sin \varphi_x^{i,j}}$$

前記 y 軸方向の理論上の外力 $F_{y,total}^{i,2}$ は、

【数 1 5】

$$F_{y,total}^{i,2} = \sum_{j \in N(i)} \frac{m_{i,j} g \cos \varphi_y^{i,j}}{2 \sin \varphi_y^{i,j}}$$

40

前記 z 軸方向の理論上の外力 $F_{z,total}^{i,2}$ は、

【数 16】

$$F_{z,total}^{i2} = M_i g + \sum_{j \in N(i)} \frac{m_{i,j} g}{2}$$

により算出されるものであってもよい。

【0019】

さらに、本発明に係るドローンは、モータ手段を駆動制御することにより飛行姿勢制御を行う制御手段を備えたドローンあって、複数の前記ドローンによってドローン群が構成され、該ドローン群を構成する前記ドローンのそれぞれには、運搬対象物に一端が接続された有線ケーブルの他端が接続されており、前記ドローンは、前記ドローンが現実に飛行する3次元の飛行空間において予め規定される各座標軸と、他端が接続された前記有線ケーブルとのなす角を検出する角度検出手段を有し、前記制御手段は、前記運搬対象物までの既設の距離および既設の方角に基づいて予め算出された、前記ドローンの飛行姿勢が安定した場合に前記運搬対象物の接続により前記ドローンに対して生じ得る理論上の外力 F_{fixed} と、前記角度検出手段により検出された前記なす角に基づいて算出される、前記運搬対象物の接続により前記ドローンに対して生じる現実の外力 $c(t)$ との誤差 $e(t)$ に基づいて、PID制御により制御量 $u(t)$ を算出し、算出された前記制御量 $u(t)$ に基づいて、前記モータ手段を駆動制御することを特徴とする。

【0020】

また、上述したドローンの前記理論上の外力 F_{fixed} の算出に関して、前記運搬対象物に前記有線ケーブルを介して接続される前記ドローンの数を k とし、前記ドローンの質量を M 、前記運搬対象の質量を M_2 、前記有線ケーブルの質量を m 、重力加速度を g として、3次元の座標空間において前記ドローンに接続された前記有線ケーブルと x 軸、 y 軸および z 軸とのなす角を θ_x 、 θ_y 、 θ_z とすると、前記ドローンに対して生じる前記理論上の外力 F_{fixed} は、 x 軸方向の理論上の外力 $F_x(\theta_x)$ と、 y 軸方向の理論上の外力 $F_y(\theta_y)$ と、 z 軸方向の理論上の外力 $F_z(\theta_z)$ とにより算出されて、

前記 x 軸方向の理論上の外力 $F_x(\theta_x)$ は、

【数 17】

$$F_x(\theta_x) = \frac{\cos\theta_x}{\sin\theta_x} \cdot \left(m + \frac{M_2}{k}\right) g$$

前記 y 軸方向の理論上の外力 $F_y(\theta_y)$ は、

【数 18】

$$F_y(\theta_y) = \frac{\cos\theta_y}{\sin\theta_y} \cdot \left(m + \frac{M_2}{k}\right) g$$

前記 z 軸方向の理論上の外力 $F_z(\theta_z)$ は、

【数 19】

$$F_z(\theta_z) = Mg + \left(m + \frac{M_2}{k}\right) g$$

により算出されるものであってもよい。

【 0 0 2 1 】

さらに、上述したドローンの前記現実の外力 $c(t)$ の算出に関して、前記運搬対象物に前記有線ケーブルを介して接続される前記ドローンの数を k とし、前記ドローンの質量を M 、前記運搬対象の質量を M_2 、前記有線ケーブルの質量を m 、重力加速度を g として、前記角度検出手段により検出される、 x 軸、 y 軸および z 軸とのなす角を φ_x 、 φ_y 、 φ_z とすると、前記ドローンに対して生じる前記現実の外力 $c(t)$ は、 x 軸方向の現実の外力 $F_x(\varphi_x)$ と、 y 軸方向の現実の外力 $F_y(\varphi_y)$ と、 z 軸方向の現実の外力 $F_z(\varphi_z)$ とにより算出されて、

前記 x 軸方向の現実の外力 $F_x(\varphi_x)$ は、
【数 2 0】

$$F_x(\varphi_x) = \frac{\cos\varphi_x}{\sin\varphi_x} \cdot \left(m + \frac{M_2}{k}\right) g$$

前記 y 軸方向の現実の外力 $F_y(\varphi_y)$ は、
【数 2 1】

$$F_y(\varphi_y) = \frac{\cos\varphi_y}{\sin\varphi_y} \cdot \left(m + \frac{M_2}{k}\right) g$$

前記 z 軸方向の現実の外力 $F_z(\varphi_z)$ は、
【数 2 2】

$$F_z(\varphi_z) = Mg + \left(m + \frac{M_2}{k}\right) g$$

により算出されるものであってもよい。

【 0 0 2 2 】

また、上述したドローンは、前記既設の距離および前記既設の方角により決定される編隊パターンが、前記既設の距離および前記既設の方角を予め複数パターン設定することにより複数用意されると共に、前記理論上の外力 F_{fixed} が、前記編隊パターンに応じて複数算出され、前記制御手段は、前記編隊パターンの変更に伴って前記理論上の外力 F_{fixed} を変更することにより、変更された前記理論上の外力 F_{fixed} と前記現実の外力 $c(t)$ との誤差 $e(t)$ に基づいて、PID 制御により新たに制御量 $u(t)$ を算出し、算出された前記制御量 $u(t)$ に基づいて、前記モータ手段を駆動制御するものであってもよい。

【 0 0 2 3 】

また、本発明に係るドローン群は、モータ手段を駆動制御することにより飛行姿勢制御を行うことが可能な複数のドローンと、前記複数のドローンの隣接するドローン同士を接続して、前記複数のドローンをネットワーク状に接続する有線ケーブルと、前記複数のドローンの少なくとも1つのドローンに一端が接続される給電ケーブルと、前記給電ケーブルの他端側に接続され、地上に配置される電力供給手段とを有し、前記電力供給手段から前記給電ケーブルおよび前記有線ケーブルを通じて、前記複数のドローンを駆動するための電力が前記電力供給手段により供給されることを特徴とする。

【 0 0 2 4 】

さらに、上述したドローン群は、上述したドローンを複数台用いることにより構成されるものであってもよい。

10

20

30

40

50

【発明の効果】

【0025】

本発明に係るドローンでは、制御手段が、他のドローンに対する既設の距離および既設の方角に基づいて予め算出された、前記ドローンの飛行姿勢が安定した場合にドローンに対して生じ得る外力 F_{fixed} と、3次元の飛行空間の各座標軸と有線ケーブルとのなす角を、角度検出手段を用いて検出することにより算出される、ドローンに対して生じる現実の外力 $c(t)$ との誤差 $e(t)$ に基づいて、PID制御により制御量 $u(t)$ を算出し、算出された制御量 $u(t)$ に基づいてモータ手段を駆動制御することを特徴とする。このようにしてモータ手段の駆動制御を行うことにより、他のドローンとの現実の距離および現実の方角を、既設の距離および既設の方角に修正・維持することが可能になる。このため、ドローンと他のドローンとにより構成されるドローン群の飛行形態を維持・修正した状態で、全体として協同した飛行制御を行うことが可能になる。

10

【0026】

また、他のドローンの位置（座標）や、他のドローンの有線ケーブルと飛行空間の各座標軸とのなす角等を全く考慮することなく、制御手段が設けられたドローンに関する、3次元の飛行空間の各座標軸と有線ケーブルとのなす角を現実を検出するだけで、ドローン群全体として協同した飛行制御を行うことができる。このため、各ドローンの具体的な位置（座標）をGPS（Global Positioning System: 全地球測位システム）で測定したり、測定された各ドローンの位置（座標）をそれぞれのドローンに対して配信等したりすることなく、ドローン群における安定した飛行制御を行うことが可能になる。

20

【0027】

さらに、本発明に係るドローンでは、電力供給手段より供給される電力によりドローンのモータ手段を駆動することができる。また、給電ケーブルを介して供給された電力を、有線ケーブルを介して他のドローンに供給することができる。このため、バッテリー電源等を用いてモータ手段を駆動させる場合のように、バッテリー電源の容量を心配することなく、継続的な長時間の飛行制御を実現することが可能になる。

【0028】

また、本発明に係るドローンでは、既設の距離および既設の方角により決定される編隊パターンが、既設の距離および既設の方角を予め複数パターン設定することにより複数用意されると共に、理論上の外力 F_{fixed} が、編隊パターンに応じて複数算出される。制御手段は、編隊パターンの変更に伴って理論上の外力 F_{fixed} を変更することにより、変更された理論上の外力 F_{fixed} と現実の外力 $c(t)$ との誤差 $e(t)$ に基づいて、PID制御により新たに制御量 $u(t)$ を算出し、算出された制御量 $u(t)$ に基づいてモータ手段を駆動制御する。このため、編隊パターンを変更することによって、ドローン間の現実の距離および現実の方角を変更することができ、ドローン群全体の編隊形状を、広くしたり狭くしたりして容易に変更することが可能になる。

30

【0029】

さらに、本発明に係るドローン群は、複数のドローン同士を有線ケーブルでネットワーク状に接続すると共に、給電ケーブルを介して、少なくとも1つのドローンから地上に配置される電力供給手段まで給電ケーブルが接続されている。そして、本発明は、電力供給手段から給電ケーブルおよび有線ケーブルを通じて、複数のドローンを駆動するための電力が供給される。

40

【0030】

このように、複数のドローン同士を有線ケーブルで接続すると共に給電ケーブルを介して電力の供給を行うことにより、バッテリー電源の容量等を心配することなく、ドローン群全体として継続的な長時間の飛行を実現することが可能になる。

【0031】

また、ドローン群を構成する各ドローンの間隔をあけて飛行を行うことにより、ドローン群全体として面的な広がりを持った状態で移動等することが可能になる。このため、ドローン群全体で撮影された動画や写真の映像を、より広い範囲の映像として検出すること

50

が可能になる。

【図面の簡単な説明】

【0032】

【図1】実施の形態に係る複数のドローンからなるドロネットを斜め上方より示した斜視図である。

【図2】実施の形態に係るドローンを斜め下方より示した斜視図である。

【図3】実施の形態に係るドローンの概略構成を示したブロック図である。

【図4】左右方向に有線ケーブルが吊り渡された2つのドローンAおよびドローンBに生じる理論上の外力を説明するための模式図である。

【図5】図4に示したドローンBに対して地上の電力供給機から伸びる給電ケーブルが取り付けられる場合に生じる理論上の外力を説明するための模式図である。

【図6】図4に示したドローンBの右側に距離dの間隔を保ってドローンCが位置することにより、ドローンA、ドローンBおよびドローンCがx軸上に一列に配置された場合に生じる理論上の外力を説明するための模式図である。

【図7】x軸とy軸との水平面からなる直交クロスライン上に3つのドローンA～Cが配置される場合に生じる理論上の外力を説明するための模式図である。

【図8】実施の形態に係るドロネットを構成する2つのドローンiおよびドローンjを有線ケーブルで接続させた場合の力学モデルを示した模式図である。

【図9】実施の形態に係るドローンを実際に飛行制御する場合に生じ得る力の力学モデルを示した模式図である。

【図10】実施の形態に係るカメラを用いて、有線ケーブルのなす角 $(t) = (\ x(t), y(t), z(t))$ を測定する処理を説明するための模式図である。

【図11】図9に示した力学モデルに対して、ドローンを移動させるために、移動方向に向かう力 $M(t)$ を加えた場合の力学モデルを示した模式図である。

【図12】編隊パターンを変更することにより、ドロネットを構成するドローンの接続状態を変更させる一例を (a) (b) を用いて示した図である。

【図13】(a)は、7台のドローンが有線ケーブルで接続されるドロネットにおいて、真ん中のドローンiが飛行を停止した場合を示した模式図であり、(b)は、ドローンiが飛行可能な場合に生じる理論上の外力を説明するための模式図である。

【図14】ドローンiが飛行を停止した場合に、ドローンjに生じる理論上の外力を説明するための模式図である。

【図15】(a)は、7台のドローンが有線ケーブルで接続されるドロネットの構成を模式的に示した図であり、(b)は、1本の有線ケーブルが落下した状態を示した模式図である。

【発明を実施するための形態】

【0033】

以下、本発明に係るドローンについて一例を示し、図面を用いて詳細に説明を行う。図1は、本実施の形態に係る複数のドローンを斜め上方より示した斜視図であり、図2は、単体のドローンを斜め下方より示した斜視図である。

【0034】

図1に示すように、各ドローン10は、有線ケーブル12を介して他のドローン10と接続された状態になっている。具体的には、有線ケーブル12の一端が一のドローン10に接続され、他端が他のドローン10に接続されることにより、有線ケーブル12が、ネットワーク状に、ドローン10間で吊り下げられた状態になっている。ドローン10から有線ケーブル12を介して接続される他のドローンの台数は、必ずしも1台だけに限定されるものではなく、複数の他のドローンに接続されるものであってもよい。

【0035】

本実施の形態では、図1に示すように、有線ケーブル12によって接続されたドローン群(複数のドローン)を、ドロネット1と称する。本実施の形態に係るドローン10では、それぞれのドローン10が他のドローン10との距離を一定に保つようにして飛行する

10

20

30

40

50

ことにより、ドロネット1として協同した飛行（編隊飛行）を行うことが可能になっている。

【0036】

ドロネット1を構成するドローン10のうち、1台のドローン10には、地上に設けられる電力供給機（電力供給手段）14から延設される給電ケーブル13の一端が接続されており、この給電ケーブル13を介して電力の供給を受けること（給電）が可能になっている。また、ドロネット1を構成する他のドローン10に対しても、ドローン10間に吊り渡されている有線ケーブル12を介して、電力供給機14からの電力を供給することが可能となっている。

【0037】

ドローン10は、図2に示すように、中心に位置する本体部15と、本体部15から均等に4方向へと延設された4本のアーム部16a～16dとにより概略構成されている。また、各アーム部16a～16dの先端には、プロペラ18a～18dが回転可能に設けられている。プロペラ18a～18dは、アーム部16a～16dの先端部に設けられるモータ（モータ手段）20a～20dによって回転される構造になっている。また、ドローン10の底部15aには、カメラ28が設けられており、カメラ28により、底部15aに取り付けられる有線ケーブル12の端部周辺を撮影することが可能になっている。

【0038】

図3は、ドローン10の概略構成を示したブロック図である。ドローン10は、4つのモータ20a～20dと、磁気センサ22と、3軸ジャイロセンサ24と、3軸加速度センサ26と、カメラ（角度検出手段）28と、記憶部30と、通信部32と、制御部（制御手段、角度検出手段）34とを有している。モータ20a～20dは、上述したように、アーム部16a～16dの先端部に設けられている。モータ20a～20dの出力軸は、上方向に突設されており、この出力軸の先端にプロペラ18a～18dが取り付けられている。

【0039】

磁気センサ22は、方位を検出するため役割を有している。各ドローン10には、ドローン10が飛行する3次元の飛行空間において、予め前後・左右・上下方向が決められている。上下方向は、3軸加速度センサ26により重力方向の加速度検出を行うことによって検出することが可能であるが、前後方向および左右方向は、基準となる方位に基づいて決定される。このため、磁気センサ22によって方位を検出することによって、ドローンの前後・左右方向の判断を行うことが可能になる。例えば、磁気センサ22で検出された南北方位を基準として前後方向を決定し、東西方位を基準として左右方向を決定することが可能である。このようにして前後・左右・上下方向を決定することによって、ドローン10がどの方向を向いているのかを判断することが可能となる。磁気センサ22により検出された方位情報は、制御部34に出力される。

【0040】

3軸加速度センサ26は、ドローンが飛行する3次元の飛行区間における3軸（直交する3軸）を基準として、それぞれの軸方向に対する加速度を測定する役割を有している。直交する3軸として、前後軸と、左右軸と、上下軸とが基準として用いられる。このうち、上下軸は、3軸加速度センサ26で重力方向の加速度検出を行うことによって決定される。一方で、前後軸は、上述したように、磁気センサ22により測定された方位（例えば南北方位）を基準として決定されており、左右軸は、磁気センサ22により測定された方位（例えば東西方位）を基準として決定される。また、前後軸に対して水平な直交する軸を左右軸として規定することも可能である。3軸加速度センサ26により検出されたそれぞれの軸方向に対する加速度は、制御部34に出力される。

【0041】

3軸ジャイロセンサ24は、3次元の飛行空間における3軸を基準とし、それぞれの軸に基づく回転状態（角速度）を測定する役割を有している。3軸ジャイロセンサ24は、3軸加速度センサ26で検出することができない回転の動きを検出することが可能になっ

10

20

30

40

50

ている。3軸ジャイロセンサ24で検出する角速度の基本となる3軸は、3軸加速度センサ26において基準とされる3軸と同様に、前後軸（ロール軸）と、左右軸（ピッチ軸）と、上下軸（ヨー軸）を基準としている。3軸ジャイロセンサ24は、それぞれの軸における1秒あたりの角度（dps：degree per second）を、ロール角、ピッチ角、ヨー角として検出し、制御部34に出力する。

【0042】

カメラ28は、ドローン10に接続される有線ケーブル12の端部周辺を撮影することにより、有線ケーブル12の傾斜角度を検出する役割を有している。有線ケーブル12の一端は、図1および図2に示すように、本体部15の底部15aに取り付けられている。また、有線ケーブル12の端部近傍には、予めマーカー（目印）36が設けられている。カメラ28は、有線ケーブル12の端部周辺を撮影可能に設けられており、カメラ28で有線ケーブル12の端部周辺を撮影することにより、マーカー36が常に映像に含まれるようにして撮影を行うことが可能になっている。撮影された画像データは、記憶部30の画像バッファ領域に出力される。

10

【0043】

記憶部30には、制御部34における飛行制御プログラムや、制御部34の処理に用いられる様々なデータ（例えば、カメラ画像から3次元の飛行空間におけるマーカー位置（マーカー座標）を検出するためのマーカー位置変換テーブル等）が記憶される。また、記憶部30には、カメラ28により撮影された画像を記憶するための画像バッファ領域が確保されている。記憶部30には、軽量化や消費電力の低減を考慮してフラッシュメモリ（不揮発性メモリ）が用いられる。但し、軽量化されたハードディスクドライブやソリッドステートドライブ（solid state drive, SSD）等を用いることも可能である。

20

【0044】

通信部32は、図示を省略したコントローラより受信される制御信号を受信する役割を有している。ドローン10とコントローラとは、無線通信を用いてデータ（制御信号等）の送受信を行うことが可能になっている。ユーザによってコントローラの操作が行われると、コントローラからドローン10に対して制御信号が出力される。通信部32では、コントローラより制御信号を受信して制御部34に出力する。通信部32とコントローラとの無線通信の通信方式は、特定の通信方式に限定されるものではなく、一般的に用いられる通信方式を用いることが可能である。例えば、Wi-Fi（Wireless Fidelity）規格による通信方式や、特定省電力無線規格による通信方式や、携帯電話網を利用した通信方式等の様々な通信方式を利用することが可能である。

30

【0045】

制御部34は、4つあるモータ20a～20dの回転数をそれぞれ制御することにより、ドローン10の飛行制御を行う役割を有している。具体的に、制御部34は、ドローン10が飛行を開始した後に、通信部32で制御信号を受信していない状態で、ホバリングを維持するための飛行制御を行う。また、制御部34は、通信部32で制御信号を受信した場合に、制御信号に基づいてドローン10を移動させるための飛行制御を行う。

【0046】

ここで、ホバリングとは、ドローン10の飛行開始後に、ドローン10の飛行姿勢（前後左右方向における位置および高度（高さ））を維持する飛行状況を意味している。例えば、風の影響等によって、ドローン10が傾きそうになったり、流されそうになったりした場合であっても、ドローン10が風により傾いたり流されたりしないように、制御部34がモータ20a～20dの回転数を制御して風による外力を打ち消す方向に一定の力（推力）を発生させて、ドローン10の飛行状態を水平かつ一定の高度に保つことが可能になる。

40

【0047】

より詳細に、ドローン10でホバリングが行われる飛行制御を説明すると、3軸ジャイロセンサ24が、前後軸、左右軸および上下軸に基づくドローンの回転状態（角速度）を測定し、制御部34が、回転状態の検出に応じて4つのモータ20a～20dの回転数制

50

御を行うことにより、ドローン10の状態変化を修正する方向へと飛行姿勢を修正して、ドローン10を水平状態に維持させる制御を行う。

【0048】

また、3軸加速度センサ26が、前後方向、左右方向および上下方向に基づくドローン10の加速度を測定し、制御部34が、加速度の検出に応じて4つのモータ20a~20dの回転数制御を行うことにより、ドローン10の移動を修正する方向へとモータ20a~20dによる推力を発生させて、ドローン10が流されない(移動しない)ように飛行状態を維持させる制御を行う。

【0049】

また、制御部34は、カメラ28により撮影された画像に基づいて、ドローン10の底部15aに取り付けられた有線ケーブル12の傾斜角度および延設方向(より詳細には、左右軸をx軸とし、前後軸をy軸とし、上下軸をz軸として、各軸と有線ケーブルとのなす角(x, y, z))を検出する役割を有している。カメラ28により撮影された映像は記憶部30の画像バッファ領域に記憶される。有線ケーブル12にはマーカ36が付けられており、有線ケーブル12がどの方向に移動してもマーカ36を映像に撮影可能な位置にカメラ28が取り付けられている(カメラ28の撮影範囲に常にマーカ36が入るように取り付け位置および撮影範囲・撮影画角が決定されている)。制御部34は、撮影された映像からマーカ36位置(撮影画像における横座標と縦座標)を検出する。また、記憶部30には、撮影画像のマーカ36位置から有線ケーブル12の3次元座標(x, y, z)を検出するためのマーカ位置変換テーブルが予め記憶されている。制御部34は、マーカ位置変換テーブルを用いて、マーカ36の3次元座標(x, y, z)を検出することにより、有線ケーブル12の傾斜角度および延設方向を算出する。このようにして検出された有線ケーブル12の傾斜角度および延設方向に基づいて、有線ケーブル12および有線ケーブル12の他端が取り付けられる他のドローンとの影響等を考慮した飛行制御を行う。

【0050】

次に、ドローン10間に有線ケーブル12が吊り渡された場合における各ドローン10の飛行制御に用いられる理論上の外力について説明する。実施の形態に係るドローン10では、一のドローン10に対してどこに他のドローン10が位置するか(一のドローン10から他のドローン10までの距離および方角)を予め設定した「編隊モード」が用意されている。この編隊モードによって、他のドローン10との距離や方角が、ドローン10毎に既設の距離および既設の方角として予め決められている。さらに、有線ケーブル12の長さとのドローン10との既設の距離とにより、x軸、y軸およびz軸と有線ケーブル12とのなす角(x, y, z)が予め算出される。また、なす角(x, y, z)と、有線ケーブル12の質量mと、ドローン10の質量M等に基づいて、ドローン10に生じる理論上の外力が予め計算される。制御部34は、モータ20a~20dを駆動制御して理論上の外力を打ち消す方向に力(推力)を発生させることによって、ドローン10の安定飛行を実現すると共に、他のドローン10との現実の距離および現実の方角を、既設の距離および既設の方角に維持(あるいは修正)する制御を行う。

【0051】

なお、編隊モードは、他のドローン10との既設の距離や既設の方角に基づいて、複数設定することが可能となっている。このため、コントローラを介して各ドローン10の制御部34に、編隊モードを変更する旨の制御信号を出力することによって、ドローン10全体の飛行形態(各ドローン10の飛行位置等)を容易に変更することが可能になっている。

【0052】

図4は、紙面の左右方向に有線ケーブル12が吊り渡された2つのドローンAおよびドローンBに対して生じる理論上の外力を説明するための模式図である。図4における2つのドローンAおよびドローンBの間隔は、予め既設の距離に設定されている。図4を用いた説明では、3次元の座標空間におけるx軸、y軸およびz軸を基準として、各ドローン

10

20

30

40

50

10に生じる理論上の外力（負荷）の説明を行う。なお、図4では、説明の便宜上、地上に設置される電力供給機14に繋がる給電ケーブル13は示されていない。電力供給機14に繋がる給電ケーブル13を考慮した説明に関しては、後述する。

【0053】

図4において、ドローンAとドローンBとの既設の距離は d [cm]に設定されている。また、有線ケーブル12の長さは、 l [cm]とする。さらに、ドローンAおよびドローンBの質量を M として、有線ケーブル12の質量を m とする。また、重力加速度を g で示すものとする。ドローンAからドローンBへと延びる左右方向の水平軸を x 軸とし、上下方向の軸を z 軸とする。

【0054】

有線ケーブル12は、図1に示すように、通常一定のたわみを有する曲線形状で、2つのドローン間に吊り渡されることになるが、本実施の形態では、有線ケーブル12の曲線形状を、2つの直線で近似する。そして、 x 軸と有線ケーブル12のそれぞれの端部とのなす角を、図4に示すように、 θ_1 および θ_2 とする。この θ_1 および θ_2 の角度（角度）は、既設の距離 d と有線ケーブル12の長さ l とが決まれば、次の計算式により近似的に求めることが可能である。

【数23】

$$\cos \theta = \frac{\frac{d}{2}}{\frac{l}{2}} = \frac{d}{l}$$

【数24】

$$\sin \theta = \sqrt{1 - \left(\frac{d}{l}\right)^2}$$

また、有線ケーブル12の中心位置には、有線ケーブル12の重力 mg が掛かると考えることができるので、ドローンAにおける有線ケーブル12の張力 F_x^1 は、

【数25】

$$F_x^1 = \frac{\cos \theta_1 mg}{2 \sin \theta_1}$$

で示すことができる。

ドローンBにおける有線ケーブル12の張力 F_x^2 は、

【数26】

$$F_x^2 = \frac{\cos \theta_2 mg}{2 \sin \theta_2}$$

で示すことができる。

【0055】

このため、ドローンAの x 軸方向の理論上の外力は、上述した F_x^1 で示すことができ、ドローンBの x 軸方向の理論上の外力は、上述した F_x^2 で示すことができる。

【 0 0 5 6 】

また、ドローン A の z 軸方向の理論上の外力 F_z^1 は、
【 数 2 7 】

$$F_z^1 = Mg + \frac{mg}{2}$$

で表すことができる。また、ドローン B の z 軸方向の理論上の外力 F_z^2 は、
【 数 2 8 】

$$F_z^2 = Mg + \frac{mg}{2}$$

10

で表すことができる。

【 0 0 5 7 】

各ドローン 10 は、モータ 20 a ~ 20 d を駆動制御することにより、x 軸方向、y 軸方向および z 軸方向の 3 方向の外力に対向する力（推力）を発生することができる。しかしながら、図 4 に示すように y 軸方向（前後方向）を考慮しない場合に、ドローン 1 を安定飛行させるためには、x 軸方向と z 軸方向との 2 つの方向について、外力の逆方向の力（推力）を発生・維持させる必要が生じる。

20

【 0 0 5 8 】

図 5 は、図 4 に示したドローン B に対して、地上の電力供給機 14 から伸びる給電ケーブル 13 が取り付けられる場合を示した模式図である。図 5 のドローン A に関しては、図 4 で説明した場合と同様に、x 軸方向の理論上の外力 F_x^1 (θ_1) として、

【 数 2 9 】

$$F_x^1(\theta_1) = \frac{\cos\theta_1 mg}{2\sin\theta_1}$$

が算出され、z 軸方向の理論上の外力 F_z^1 として、

30

【 数 3 0 】

$$F_z^1 = Mg + \frac{mg}{2}$$

が算出される。

【 0 0 5 9 】

一方で、ドローン B においては、電力供給機 14 に接続される給電ケーブル 13 の影響が生じることになる。給電ケーブル 13 の質量を m_2 とし、給電ケーブル 13 が z 軸となす角を θ_3 とし、電力供給機 14 からドローン B までの給電ケーブル 13 のたるみ等が生じないものとする。また、電力供給機 14 からドローン B までの高さを距離 h とし、給電ケーブル 13 の長さを L とする。

40

【 0 0 6 0 】

このような条件の元で、給電ケーブル 13 のみによって、ドローン B に生じる理論上の外力は、図 5 に示すように、x 軸方向の理論上の外力として、 $\sin\theta_3 \cos\theta_3 \cdot m_2 g$ で算出することができ、z 軸方向の理論上の外力として、 $\cos\theta_3 \cos\theta_3 \cdot m_2 g$ で算出することができる。

【 0 0 6 1 】

従って、ドローン B に対して有線ケーブル 12（質量 m ）と給電ケーブル 13（質量 m_2 ）との両方のケーブルにより生じる理論上の外力は、

50

x 軸方向の理論上の外力 F_x^2 (2 , 3) として、
【数 3 1】

$$F_x^2(\theta_2, \theta_3) = \frac{\cos\theta_2 mg}{2\sin\theta_2} + \sin\theta_3 \cos\theta_3 \cdot (m_2 g)$$

が算出される。また、z 軸方向の理論上の外力 F_z^2 (3) として、
【数 3 2】

$$F_z^2(\theta_3) = Mg + \frac{mg}{2} + \cos\theta_3 \cos\theta_3 \cdot (m_2 g)$$

10

が算出される。

【0062】

図 6 は、図 4 に示したドローン B の紙面右側（ドローン B を中心としてドローン A の反対側）に、ドローン B から既設の距離 d の間隔を保ってドローン C が位置し、ドローン A、ドローン B およびドローン C が x 軸上に一列に配置された状態を示した模式図である。図 6 では、ドローン A とドローン B との間に有線ケーブル 1 2 が吊り渡されており、また、ドローン B とドローン C との間にも有線ケーブル 1 2 が吊り渡されている。

【0063】

20

各ドローン A, B, C の質量を M 、有線ケーブルの質量を m 、重力加速度を g 、有線ケーブル 1 2 の長さを l 、それぞれの有線ケーブル 1 2 における x 軸とのなす角を、図 6 に示すように $\theta_1 \sim \theta_4$ とすると、ドローン A の z 軸方向に生じる理論上の外力 F_z^1 は、
【数 3 3】

$$F_z^1 = Mg + \frac{mg}{2}$$

ドローン A の x 軸方向に生じる理論上の外力 F_x^1 (1) は、
【数 3 4】

30

$$F_x^1(\theta_1) = \frac{\cos\theta_1 mg}{2\sin\theta_1}$$

ドローン B の z 軸方向に生じる理論上の外力 F_z^2 は、
【数 3 5】

$$F_z^2 = Mg + mg$$

ドローン B の x 軸方向に生じる理論上の外力 F_x^2 (2 , 3) は、
【数 3 6】

40

$$F_x^2(\theta_2, \theta_3) = \frac{\cos\theta_2 mg}{2\sin\theta_2} + \frac{\cos\theta_3 mg}{2\sin\theta_3}$$

但し、 $\theta_2 = -\theta_3$ ならば、 F_x^2 (2 , 3) = 0
ドローン C の z 軸方向に生じる理論上の外力 F_z^3 は、

【数 3 7】

$$F_z^3 = Mg + \frac{mg}{2}$$

ドローン C の x 軸方向に生じる理論上の外力 F_x^3 (4) は、

【数 3 8】

$$F_x^3(\theta_4) = \frac{\cos\theta_4 mg}{2\sin\theta_4}$$

10

になる。

【0064】

図 7 は、x 軸と y 軸との水平面上に 3 台のドローン A ~ C が位置する場合であって、ドローン B が x 軸と y 軸との交点に位置し、ドローン A が y 軸上であって、ドローン B から既設の距離 d だけ離れた場所に位置し、ドローン C が x 軸上であって、ドローン B から既設の距離 d だけ離れた場所に位置する場合を示している。いわゆる、直交クロスライン上の 3 つのドローン A ~ C に生じる理論上の外力を示している。図 6 と同様に、各ドローンの質量を M、各有線ケーブル 1 2 の質量を m、重力加速度を g、既設の距離を d および各有線ケーブル 1 2 の長さを l に設定し、図 7 に示すように x 軸および y 軸と有線ケーブル

20

1 2 とのなす角を $\theta_1 \sim \theta_4$ に設定すると、ドローン A の z 軸方向に生じる理論上の外力 F_z^1 は、

【数 3 9】

$$F_z^1 = Mg + \frac{mg}{2}$$

ドローン A の x 軸方向に生じる理論上の外力 F_x^1 は、

【数 4 0】

$$F_x^1 = 0$$

30

ドローン A の y 軸方向に生じる理論上の外力 F_y^1 (1) は、

【数 4 1】

$$F_y^1(\theta_1) = \frac{\cos\theta_1 mg}{2\sin\theta_1}$$

ドローン B の z 軸方向に生じる理論上の外力 F_z^2 は、

【数 4 2】

$$F_z^2 = Mg + mg$$

40

ドローン B の x 軸方向に生じる理論上の外力 F_x^2 (3) は、

【数 4 3】

$$F_x^2(\theta_3) = \frac{\cos\theta_3 mg}{2\sin\theta_3}$$

ドローン B の y 軸方向に生じる理論上の外力 F_y^2 (2) は、

50

【数 4 4】

$$F_y^2(\theta_2) = \frac{\cos\theta_2 mg}{2\sin\theta_2}$$

ドローン C の z 軸方向に生じる理論上の外力 F_z^3 は、

【数 4 5】

$$F_z^3 = Mg + \frac{mg}{2}$$

10

ドローン C の x 軸方向に生じる理論上の外力 F_x^3 (4) は、

【数 4 6】

$$F_x^3(\theta_4) = \frac{\cos\theta_4 mg}{2\sin\theta_4}$$

ドローン C の y 軸方向に生じる理論上の外力 F_y^3 は

【数 4 7】

$$F_y^3 = 0$$

20

になる。

【0065】

図 4 ~ 図 7 に示したドローン 10 は、複数のドローン 10 が有線ケーブル 12 を介して接続される場合を例示したものである。ドローン 10 を構成するドローン 10 の構成台数は特に限定されるものではなく、任意である。また、有線ケーブル 12 によるドローン 10 間の接続関係も特に限定されるものではなく、任意である。このため、図 1 に示すように、複数のドローン 10 が接続されることにより構成されるドローン 10 のうち、任意の 2 台のドローン 10 に着目して、それぞれのドローン 10 に生じる外力について説明する。なお、有線ケーブル 12 によってネットワークのように複数のドローン 10 が接続されるドローン 10 において、ドローン 10 を構成するそれぞれのドローン 10 は、ドローン 10 のネットワークにおけるトポロジーと解釈することができる。

30

【0066】

図 8 は、ドローン 10 を構成する任意の 2 つのドローン i およびドローン j を有線ケーブル 12 で接続させた状態を示した模式図である。図 8 では、ドローン i が x 軸、y 軸および z 軸の原点に位置するものとし、また、ドローン j も x 軸、y 軸および z 軸の原点に位置するものとする。なお、ドローン i およびドローン j における x 軸、y 軸および z 軸は、それぞれの延設方向が同じ方向ではあるが、ドローン i における x 軸、y 軸および z 軸と、ドローン j における x 軸、y 軸および z 軸とは、別個独立の座標軸（異なる 3 次元の座標空間）とする。このように異なる座標軸として、それぞれのドローン 10 を考えても、現実にドローン 10 の飛行制御を行う場合において、他のドローン 10 の位置（座標位置）等を直接的な制御判断の対象としないため、問題が生じることはない。具体的には、ドローン 10 において、ドローン 10 において飛行制御を行う場合には、カメラ 28 により検出される有線ケーブル 12 と各軸とのなす角しか現実に検出しないため、他のドローン 10 の直接的な位置（座標）や方角等は飛行制御に利用されない。

40

【0067】

図 8 に示すように、ドローン i の x 軸、y 軸および z 軸に対する有線ケーブル 12 のなす角を、 $\alpha_{x^{i,j}}$ 、 $\alpha_{y^{i,j}}$ 、 $\alpha_{z^{i,j}}$ とし、ドローン j の x 軸、y 軸および z 軸に対する有線ケーブル 12 のなす角を、 $\alpha_{x^{j,i}}$ 、 $\alpha_{y^{j,i}}$ 、 $\alpha_{z^{j,i}}$ とする。こ

50

の角度は、ドローン 10 間における有線ケーブル 12 の長さ l と既設の距離 d とに基づいて算出することができる。

【0068】

ドローン i とドローン j とが有線ケーブル 12 で接続されることにより働く x 軸方向、 y 軸方向および z 軸方向の理論上の外力を $F^{i,j} = (F_x^{i,j}, F_y^{i,j}, F_z^{i,j})$ とすると、

【数48】

$$F^{i,j} = \left(\frac{m_{i,j}g \cos \theta_x^{i,j}}{2 \sin \theta_x^{i,j}}, \frac{m_{i,j}g \cos \theta_y^{i,j}}{2 \sin \theta_y^{i,j}}, M_i g + \frac{m_{i,j}g}{2} \right) \quad 10$$

となる。ドロネット 1 を構成するドローン 10 の集合を $N(i)$ とする。 $|N(i)|$ は、集合 $N(i)$ のメンバの総数（ドローン 10 の総数）である。ドローン i に生じるが外力は、有線ケーブル 12 が接続される本数 j ($j \in N(i)$) だけ加算されることになる。このため、ドローン i に対して生じる x 軸方向の理論上の外力 $F_{x,total}^i$ は、

【数49】

$$F_{x,total}^i = \sum_{j \in N(i)} \frac{m_{i,j}g \cos \theta_x^{i,j}}{2 \sin \theta_x^{i,j}} \quad 20$$

y 軸方向の理論上の外力 $F_{y,total}^i$ は、

【数50】

$$F_{y,total}^i = \sum_{j \in N(i)} \frac{m_{i,j}g \cos \theta_y^{i,j}}{2 \sin \theta_y^{i,j}}$$

z 軸方向の理論上の外力 $F_{z,total}^i$ は、

【数51】

$$F_{z,total}^i = M_i g + \sum_{j \in N(i)} \frac{m_{i,j}g}{2}$$

となる。

全体的な理論上の外力 F_{total}^i は、

$$F_{total}^i = (F_{x,total}^i, F_{y,total}^i, F_{z,total}^i) \text{ となる。}$$

【0069】

上述した F_{total}^i には、ドロネット 1 から電力供給機 14 へと伸びる給電ケーブル 13 の外力を、説明の便宜上考慮していない。

【0070】

ここで、ドローン i の飛行姿勢が安定した場合（安定状態にある場合）に、ドローン i に対する安定状態を定めた外力を F_{fixed}^i と定義する。

$$F_{fixed}^i = (F_{x,fixed}^i, F_{y,fixed}^i, F_{z,fixed}^i)$$

ドローン i の理論上の外力 F_{total}^i によって、有線ケーブルが接続されたドローン i の飛行姿勢が安定した場合、ドローン i に対する安定状態を定めた外力 F_{fixed}^i は、ドローン i の理論上の外力 F_{total}^i に該当することになる。このため、

$$F_{fixed}^i = F_{total}^i$$

$$= (F_{x, total}^i, F_{y, total}^i, F_{z, total}^i)$$

と表すことができる。

従って、飛行状態のドローン*i*に対して、 $-F_{fixed}^i$ の推力を発生させて、 F_{fixed}^i とつり合わせることにより、ドローン*i*を安定飛行させることが可能になる。しかしながら、現実にはドローン*i*において発生される推力は、 F_{fixed}^i とつり合わないため、ドローン*i*を安定状態で飛行させることが難しい。このため、ドローン*i*を安定状態に至らせるための制御が必要となる。次に、この制御方法について説明する。

【0071】

図9は、実際に飛行制御する場合に生じ得るドローン10の力を示した力学モデルの模式図である。他のドローン10との間隔として実際に距離*d*を保った場合（図9において、距離*d*を維持した場合の有線ケーブル12を有線ケーブル（安定状態）と示している）には、ドローン10に対して全体的な外力 F_{fixed} （この外力は理論上の外力 F_{fixed} に該当する）が生じることになる。ドローン10を安定状態にするためには、 $-F_{fixed}$ の力をドローン10で発生させる必要があるが、ドローン10において測定される力（推力）は、 $-F_{fixed}$ と等しくならない。

10

【0072】

ドローン10において測定される力（推力）を $D(t)$ とすると、 $D(t)$ は、 $-F_{fixed}$ と等しくならないので、その差分である誤差を求める。誤差を $e(t)$ とすると、

$$e(t) = -D(t) - F_{fixed}$$

で求めることができる。

20

【0073】

従って、ドローンの飛行状態が安定するように制御を行うためには、誤差 $e(t)$ を考慮した力（制御量）を算出する必要が生ずる。実施の形態に係るドローン1では、誤差 $e(t)$ を考慮した力（制御量）の計算にPID制御を用いる。PID制御は、フィードバックを用いた制御方法であり、誤差を、誤差の比例、積分、微分で評価する最も典型的な制御方法である。PID制御により求められる制御量を $u(t)$ とすると、 $u(t)$ は下記のPID制御の式を用いて算出することができる。

【数52】

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(\tau) d\tau + K_d \frac{de(t)}{dt}$$

30

ここで、 K_p 、 K_i 、 K_d は事前に定められるパラメータを意味している。算出された制御量 $u(t)$ は、図9に示すように、安定状態の有線ケーブルに対して生じる外力 F_{fixed} （理論上の外力 F_{fixed} ）と、ドローン10に生じる現実の外力 $c(t)$ との差で示される。

【0074】

また、ドローン10に発生される力（現実の外力） $c(t)$ は、カメラ28により撮影された映像に基づいて求められる、有線ケーブル12の角度および方角によって算出することができる。 $c(t)$ は、

40

$$c(t) = (c_x(t), c_y(t), c_z(t))$$

で示され、この $c(t)$ は、3次元の飛行空間における*x*軸、*y*軸および*z*軸と有線ケーブル12との実際のなす角 $\theta(t) = (\theta_x(t), \theta_y(t), \theta_z(t))$ の測定値に基づいて決定される。

【0075】

具体的に、有線ケーブル12によりドローン*j*とドローン*i*とが接続される状態において、ドローン*i*の有線ケーブル12と*x*軸との現実のなす角 $\theta_x^{i,j}$ により測定される*x*軸方向の現実の外力 $F_{x, total}^{i,2}$ は、

【数 5 3】

$$F_{x,total}^{i2} = \sum_{j \in N(i)} \frac{m_{i,j} g \cos \varphi_x^{i,j}}{2 \sin \varphi_x^{i,j}}$$

現実のなす角 $\varphi_x^{i,j}$ により測定される y 軸方向の現実の力 $F_{y,total}^{i2}$ は、

【数 5 4】

$$F_{y,total}^{i2} = \sum_{j \in N(i)} \frac{m_{i,j} g \cos \varphi_y^{i,j}}{2 \sin \varphi_y^{i,j}}$$

10

現実のなす角 $\varphi_z^{i,j}$ により測定される z 軸方向の現実の力 $F_{z,total}^{i2}$ は

【数 5 5】

$$F_{z,total}^{i2} = M_i g + \sum_{j \in N(i)} \frac{m_{i,j} g}{2}$$

20

となり、ドローン i について測定される全体的な力 $F^{i2,j}$ は、

【数 5 6】

$$F^{i2,j} = \left(\frac{m_{i,j} g \cos \varphi_x^{i,j}}{2 \sin \varphi_x^{i,j}}, \frac{m_{i,j} g \cos \varphi_y^{i,j}}{2 \sin \varphi_y^{i,j}}, M_i g + \frac{m_{i,j} g}{2} \right)$$

となる。従って、ドローン i に発生される力（現実の外力） $c(t)$ は、

$$c(t) = F^{i2,j} = (F_{x,total}^{i2}, F_{y,total}^{i2}, F_{z,total}^{i2}) \text{ と}$$

なる。

30

【0076】

このようにして、有線ケーブル 12 と各軸とのなす角の変化に基づいて測定される力 $c(t)$ は、ドローン i において測定される力（推力）の負の値 $-D(t)$ に等しく

$$c(t) = -D(t)$$

となるため、

$$\begin{aligned} e(t) &= -D(t) - F_{\text{fixed}} \\ &= c(t) - F_{\text{fixed}} \text{ となる。} \end{aligned}$$

【0077】

また、図 9 で示すように、 $D(t)$ は、ドローン 10 が安定飛行状態になると、

$$\begin{aligned} D(t+1) &= D(t) + u(t) \\ &= -F_{\text{fixed}} \end{aligned}$$

40

の関係式が成立する。この $D(t+1) = D(t) + u(t)$ が、ドローン 10 の反発力として発生されると、ドローン 10 が $-F_{\text{fixed}}$ とつり合って安定状態になる。

【0078】

図 10 は、カメラ 28 を用いて有線ケーブル 12 のなす角 $\varphi = (\varphi_x, \varphi_y, \varphi_z)$ を測定する処理を説明するための模式図である。既に説明したように、カメラ 28 はドローン 10 の本体部 15 の底部 15a に設けられている。カメラ 28 は、本体部 15 の底部に一端が取り付けられる有線ケーブル 12 のマーカー 36 を撮影する役割を有しており、マーカー 36 の移動範囲を考慮して、カメラ 28 の撮影範囲が決定されている。図 10 では、有線ケーブル 12 の可動範囲を円錐形状で示し、マーカー 36 の移動範囲を円錐の底部

50

とした上で、カメラ 28 の撮影範囲を決定している。但し、カメラ 28 に魚眼レンズ等を用いることによって、有線ケーブル 12 の可動範囲に拘わらず、ドローン 10 の底部 15 a から下半分の範囲を撮影する構成にすることも可能である。

【0079】

カメラ 28 で撮影された映像には、有線ケーブル 12 のマーカー 36 が必ず撮影されるようになっており、有線ケーブル 12 の移動状態に応じてマーカー 36 の撮影位置が変化する。このため、マーカー 36 の撮影位置（撮影画像の横座標と縦座標）に基づいて、図 10 に示すマーカーの 3 次元座標 (x, y, z) を一対一対応で求めることが可能である。このような一対一に変換するマーカー位置変換テーブルは、予め記憶部 30 に記憶されており、制御部 34 が撮影された映像に基づいてマーカー位置を検出し、マーカー位置変換テーブルを用いて 3 次元座標 (x, y, z) を検出する。さらに、この 3 次元座標 (x, y, z) を検出することができれば、この 3 次元座標 (x, y, z) に基づいて、マーカー 36 から原点までの直前（つまり、実質的な有線ケーブル 12）と、 x 軸、 y 軸および z 軸とのなす角 $(\alpha_x, \alpha_y, \alpha_z)$ を算出することが可能になる。

10

【0080】

一方で、予め編隊モードに応じて他のドローン 10 との既設の距離 d が決定されているため、既設の距離 d と有線ケーブル 12 の長さ l とに基づいて、有線ケーブル 12 と x 軸、 y 軸および z 軸との理論上のなす角 $(\alpha_x, \alpha_y, \alpha_z)$ を算出することができる。この算出された理論上のなす角に基づいて、理論上の外力 F_{fixed} が算出される。しかしながら、上述したように、実際にカメラ画像を用いて、ドローン 10 に生ずる現実の外力を x 軸、 y 軸および z 軸とのなす角 $(\alpha_x, \alpha_y, \alpha_z)$ で判断すると、予め算出される理論上のなす角 $(\alpha_x, \alpha_y, \alpha_z)$ と、カメラ画像に基づく現実のなす角 $(\alpha_x, \alpha_y, \alpha_z)$ とは一致せず、このなす角の差によって、ドローンの飛行姿勢の安定制御が実現されていないと判断することができる。

20

【0081】

このため、予め算出される理論上のなす角 $(\alpha_x, \alpha_y, \alpha_z)$ によって求められる外力 F_{fixed} と、カメラ画像に基づいて検出された現実のなす角 $(\alpha_x, \alpha_y, \alpha_z)$ に基づいて求められる力（現実の外力） $c(t)$ との誤差 $e(t)$ を用いて、PID 制御により制御量 $u(t)$ を求めて、ドローン 10 の飛行制御を行うことにより、各ドローン 10 の飛行姿勢を安定させることが可能となる。

30

【0082】

特に、ドロネット 1 を構成するそれぞれのドローン 10 には、他のドローン 10 との既設の距離および既設の方向に基づいて有線ケーブル 12 等により生ずる理論上の外力 F_{fixed} が予め算出されるが、カメラ画像により求められた現実のなす角 $(\alpha_x, \alpha_y, \alpha_z)$ に基づいて求められる力（現実の外力） $c(t)$ と、理論上の外力 F_{fixed} とを比較すると、誤差 $e(t)$ が発生する。従って、誤差 $e(t)$ に基づいて、PID 制御により制御量 $u(t)$ を算出し、算出された $u(t)$ に基づいて、制御部 34 がモータ 20 a ~ 20 d を駆動制御することにより他のドローン 10 との現実の距離および現実の方角を、既設の距離および既設の方角に修正あるいは維持することができ、ドロネット 1 として調和のとれた飛行（予め設定される編隊パターンに沿った飛行）を実現することが可能になる。

40

【0083】

このようにして、時間 t 毎に、上述した $D(t+1) = D(t) + u(t)$ に基づいて、制御部 34 がモータ 20 a ~ 20 d の駆動制御を行うことにより、ドロネット 1 全体として、予め設定された編隊状態を維持したまま、一体として飛行制御を行うことが可能となる。

【0084】

また、ドロネット 1 を全体として移動させる場合には、必ずしも各ドローン 10 に対して制御命令を出力させて全てのドローン 10 を主体的に移動させる必要はない。

【0085】

ドロネット 1 を構成するドローン 10 のうち、少なくとも 1 台のドローン 10（ドロネ

50

ット1を構成するドローン10の数が多い場合には数台でもよい)に対して、一定方向へと移動させる旨の制御信号をコントローラから出力することにより、制御信号を受信したドローン10だけが、移動を開始しようとする。ドローン10の移動により、他のドローン10との距離 d が一時的に長くなったり、短くなったりするが、距離 d の変化によって、カメラ画像により検出される有線ケーブル12の現実のなす角が変化するため、この変化量に基づいて誤差を解消するように(全体としてドロネット1が安定するように)、各ドローン10の飛行制御が自動的に行われることになる。このため、少なくとも1台のドローン10に対してのみ移動制御を行っただけで、結果的に、ドロネット1を構成する全てのドローン10が同様に移動を開始することになり、ドロネット1全体として編隊状態を維持しようとしつつ、移動することが可能になる。

10

【0086】

図11は、図9に示した力学モデルの模式図に対して、ドローン10を移動させるために、移動方向に向かう力 $M(t)$ を加えた場合の力学モデルを示した模式図である。図11に示すように、ドローン10に対して生ずる力 $D(t+1)$ は、ドローン10において測定される力 $D(t)$ と、PID制御により求められる制御量 $u(t)$ に加えて、移動方向に向かう力 $M(t)$ が加算された力となる。図9で説明したように、ドローン10において測定される力 $D(t)$ と、PID制御により求められる制御量 $u(t)$ とを加えた力が、理論上の外力 F_{fixed} を打ち消し合うことにより、ドローン10が一定の位置に留まりつつ飛行姿勢を安定状態に維持することができる。この安定姿勢で飛行制御が行われている場合に、一部のドローン10に対して移動方向に向かう力 $M(t)$ が加えられると、一時的にドロネット1全体のバランス(編隊状態)が不安定な状態になってしまう。

20

【0087】

移動方向に向かう力 $M(t)$ が加えられたドローン10は、自ら移動を行うことができる。一方で、移動方向に向かう力 $M(t)$ が直接加えられていないドローン10では、有線ケーブル12を介して間接的に移動方向に向かう力 $M(t)$ が加えられることになる。このように間接的に移動方向に向かう力 $M(t)$ が加えられたドローン10は、自身の安定性を保つために反発力を発生し、移動方向に向かう力 $M(t)$ が直接に加えられたドローン10に追従することになる。

【0088】

例えば、ドローンAにドロネット1の左方向へと移動するための力 $M(t)$ が加わると、一時的に有線ケーブル12で接続されたドローンBの距離 d が広がり、この広がりによって有線ケーブル12におけるなす角が変化し、結果的にドローンBが左へ移動する力が発生し、その後、その変動を吸収する制御が働くことになる。この結果、ドロネット1全体が、ドローンAの移動に伴って強制力が働いている間、非安定状態のまま移動することになり、強制力が働かなくなった段階で、再度、全体が安定状態に移行することになる。

30

【0089】

このように、ドロネット1を全体として移動させる場合には、ドロネット1を構成する全てのドローン10に対して移動方向に向かう力 $M(t)$ を直接的に加えなくても、一部のドローン10だけに、力 $M(t)$ を加えることによって、結果的にドロネット1全体を移動させることが可能になる。

40

【0090】

次に、ドローン10における編隊姿勢の変更処理について説明する。編隊パターンは、他のドローン10との既設の距離および既設の方角に基づいて設定されるため、設定される既設の距離および既設の方角を予め複数設定しておくことにより、編隊パターンを複数種類用意することが可能である。記憶部30には、複数種類の編隊パターンを記憶することが可能であるため、コントローラよりドロネット1の全てのドローン10に対して編隊パターンを変更する制御信号を送信することにより、ドロネット1においてドローン10間の距離や方向を変更することが可能となる。

【0091】

50

具体的には、編隊パターンに設定される他のドローン10との既設の距離および既設の方角に基づいて、ドローン10毎に、x軸方向、y軸方向およびz軸方向に対する理論上の外力 F_{fixed} が予め算出されて記憶部30に記憶されている。各ドローン10の制御部34では、算出された理論上の外力 F_{fixed} を打ち消すようにモータ20a~20dの回転制御を行って、各ドローン10において飛行姿勢の安定制御を行う。

【0092】

図12(a)(b)は、編隊パターンを変更することにより、ドロネット1の接続状態を変更させる一例を示した図である。図12(a)に示すように、ドロネット1を構成するドローン10のうち、破線sの範囲内の7台のドローン10を近接して配置すると共に、有線ケーブル12による接続状態を蛇腹状にジグザグに接続させて、ドロネット1をコンパクトな編隊状態とする。この状態において、コントローラを介して各ドローン10に編隊パターンを変更する旨の制御信号を出力することにより、図12(b)に示すように、破線sで囲まれた7台のドローン10間の接続状態を、有線ケーブル12を直線状に伸ばすことにより、ドローン10間の距離を長くする編隊状態に変更する。このように編隊パターンを変更することによって、ドロネット1における編隊形状を細長い状態に変更することが可能となる。ドロネット1における編隊形状を細長く変更することにより、電力供給機14による全てのドローン10への給電状態を維持しながら、ドロネット1の飛行形態を広げることが可能になる。このため、ドロネット1における端部のドローン10を電力供給機14から遠く離れた位置まで移動させることが可能となり、ドローン10の飛行範囲を広くすることができると共に、電力供給機14からの給電により継続的な飛行を行うことが可能になる。

10

20

【0093】

また、ドロネット1において、いずれかのドローン10に故障等が発生して十分な飛行能力を維持することができなくなった場合であっても、有線ケーブル12を介して接続される他のドローン10が飛行能力を失ったドローン10を引き上げるようにして飛行制御を行うことにより、ドロネット1全体としての飛行を継続させることが可能である。

【0094】

例えば、図13(a)に示すように7台のドローン10が有線ケーブル12で接続されるドロネット1において、真ん中のドローンi(黒丸で表示)が飛行を停止した場合には、有線ケーブル12によりドローンiに接続された4台のドローン10で、ドローンiを引き上げるようにして飛行制御することにより、ドローンiを運ぶことが可能である。

30

【0095】

ドローンiが飛行可能な場合、図13(b)に示すように、有線ケーブル12によりドローンjに接続されたドローンiに生じるz軸方向の外力 $F_z^{i,j}$ は、有線ケーブル12の質量をm、ドローンiの質量を M_2 とすると

$$F_z^{i,j} = M_2 g + m g / 2$$

になる。しかしながら、ドローンiが飛行できない場合、ドローンiに有線ケーブル12を介して接続された他のドローン10が、z軸方向の外力 $F_z^{i,j}$ を、手分けして支える必要が生じる。このため、図14に示すように、ドローンjに生じるz軸方向の理論上の外力 $F_z^{j,i}$ ($F_z^{j,i}$)は、ドローンiの質量を M_2 とすると、

40

【数57】

$$F_z^{j,i}(\theta_z^{j,i}) = M g + \left(m + \frac{M_2}{k}\right) g$$

で計算される。ここで、kはドローンiと有線ケーブル12を介して接続される他のドローン10の台数を意味する。

【0096】

同様に、ドローンjに生じるx軸方向の理論上の外力 $F_x^{j,i}$ ($F_x^{j,i}$)は、

50

【数 5 8】

$$F_x^{j,i}(\theta_x^{j,i}) = \frac{\cos\theta_x^{j,i}}{\sin\theta_x^{j,i}} \cdot \left(m + \frac{M_2}{k}\right) g$$

ドローン j に生じる y 軸方向の理論上の外力 $F_y^{j,i}$ ($\theta_y^{j,i}$) は、

【数 5 9】

$$F_y^{j,i}(\theta_y^{j,i}) = \frac{\cos\theta_y^{j,i}}{\sin\theta_y^{j,i}} \cdot \left(m + \frac{M_2}{k}\right) g$$

10

で計算することができる。

【0097】

このように、ドローン i が飛行能力を失う場合を予め想定して、各ドローン 10 に生じる理論上の外力を計算し、ドローン i が飛行能力を失った場合の編隊モードを設定しておく。そして、ドローン i が飛行能力を失った場合に、編隊モードを変更することによって、簡単にドローン i を引き上げつつドローン 1 全体で飛行を継続する状態に、各ドローン 10 の飛行制御を変更させることができる。

20

【0098】

また、このように、ドローン i が飛行能力を失った場合に、ドローン j に生じる力（現実の外力） $c(t)$ は、カメラ 28 により撮影された映像に基づいて検出される有線ケーブル 12 と x 軸、y 軸および z 軸との実際のなす角 ($\alpha_x, \alpha_y, \alpha_z$) の測定値に基づいて算出される。

【0099】

具体的に、現実に測定される有線ケーブル 12 と x 軸とのなす角を $\alpha_x^{j,i}$ とし、現実に測定される y 軸とのなす角を $\alpha_y^{j,i}$ とし、現実に測定される z 軸とのなす角を $\alpha_z^{j,i}$ とすると、

ドローン j に生じる x 軸方向の現実の外力 $F_x^{j,i}$ ($\alpha_x^{j,i}$) は、

30

【数 6 0】

$$F_x^{j,i}(\alpha_x^{j,i}) = \frac{\cos\alpha_x^{j,i}}{\sin\alpha_x^{j,i}} \cdot \left(m + \frac{M_2}{k}\right) g$$

ドローン j に生じる y 軸方向の現実の外力 $F_y^{j,i}$ ($\alpha_y^{j,i}$) は、

【数 6 1】

$$F_y^{j,i}(\alpha_y^{j,i}) = \frac{\cos\alpha_y^{j,i}}{\sin\alpha_y^{j,i}} \cdot \left(m + \frac{M_2}{k}\right) g$$

40

ドローン j に生じる z 軸方向の現実の外力 $F_z^{j,i}$ ($\alpha_z^{j,i}$) は、

【数 6 2】

$$F_z^{j,i}(\alpha_z^{j,i}) = Mg + \left(m + \frac{M_2}{k}\right) g$$

50

により計算することが可能になる。

【 0 1 0 0 】

また、同様の考え方によって、複数のドローン 1 0 に対して有線ケーブル 1 2 によって接続された運搬対象物（荷物等）を協働して運搬することも可能になる。この場合に、運搬対象物の質量を M_2 とすると、有線ケーブル 1 2 を介して接続される他のドローン 1 0 に生じる理論上の外力は、上述した x 軸方向の理論上の外力 $F_{x^{j,i}}^{j,i}$ と、 y 軸方向の理論上の外力 $F_{y^{j,i}}^{j,i}$ と、 z 軸方向の理論上の外力 $F_{z^{j,i}}^{j,i}$ とで計算することが可能になる。また、有線ケーブル 1 2 を介して接続される他のドローン 1 0 に生じる現実の外力は、上述した x 軸方向の現実の外力 $F_{x^{j,i}}^{j,i}$ と、 y 軸方向の現実の外力 $F_{y^{j,i}}^{j,i}$ と、 z 軸方向の現実の外力 $F_{z^{j,i}}^{j,i}$ とで計算することが可能である。

10

【 0 1 0 1 】

さらに、図 1 5 に示すように、有線ケーブル 1 2 の 1 つが落下等した場合に関しても、予め有線ケーブル 1 2 が落下等した場合を想定して編隊モードを設定しておくことにより、迅速にドロネット 1 全体としての安定状態を維持することが可能である。

【 0 1 0 2 】

例えば、 $N(i)$ 台のドローン 1 0 からなるドロネット 1 のうち、ドローン i に j 台（ $j \leq N(i)$ ）のドローンが、有線ケーブル 1 2 を介して接続されている場合、ドローン i の x 軸方向に対する理論上の外力 $F_{x,total}^i$ は、

【数 6 3】

$$F_{x,total}^i = \sum_{j \in N(i)} \frac{m_{i,j} g \cos \theta_x^{i,j}}{2 \sin \theta_x^{i,j}}$$

20

y 軸方向に対する理論上の外力 $F_{y,total}^i$ は、

【数 6 4】

$$F_{y,total}^i = \sum_{j \in N(i)} \frac{m_{i,j} g \cos \theta_y^{i,j}}{2 \sin \theta_y^{i,j}}$$

30

z 軸方向に対する理論上の外力 $F_{z,total}^i$ は、

【数 6 5】

$$F_{z,total}^i = M_i g + \sum_{j \in N(i)} \frac{m_{i,j} g}{2}$$

となり、全体的な外力 F_{total}^i は、

$$F_{total}^i = (F_{x,total}^i, F_{y,total}^i, F_{z,total}^i) \text{ となる。}$$

40

【 0 1 0 3 】

一方で、ドローン i に接続される有線ケーブル 1 2 が落下等して、ドローン i と接続されなくなったドローン 1 0 の数を $B(i)$ とすると、ドローン i の x 軸方向に対する理論上の外力 $F_{x,total}^i$ は、

【数 6 6】

$$F_{x,total}^i = \sum_{j \in N(i)-B(i)} \frac{m_{i,j} g \cos \theta_x^{i,j}}{2 \sin \theta_x^{i,j}}$$

y 軸方向に対する理論上の外力 $F_{y,total}^i$ は、

【数 6 7】

$$F_{y,total}^i = \sum_{j \in N(i)-B(i)} \frac{m_{i,j} g \cos \theta_y^{i,j}}{2 \sin \theta_y^{i,j}}$$

10

z 軸方向に対する理論上の外力 $F_{z,total}^i$ は、

【数 6 8】

$$F_{z,total}^i = M_i g + \sum_{j \in N(i)-B(i)} \frac{m_{i,j} g}{2}$$

20

に変化することになる。

【0104】

このため、ドローン i に対して有線ケーブル 12 を介して接続される他のドローン 10 の台数が、 $B(i)$ だけ減少した場合（接続されるドローン 10 の台数が最大で $N(i) - B(i)$ になった場合）には、減少した状態の理論上の外力を考慮した編隊パターンを予め設定し、有線ケーブル 12 の落下等に応じて編隊パターンの変更を行うことにより、ドロネット 1 の状態変化に対応した制御を行うことが可能になる。

【0105】

以上、説明したように、実施の形態に係るドロネット 1 は、有線ケーブル 12 によって接続された複数のドローン 10 により構成されると共に、少なくとも一のドローン 10 が電力供給機 14 から延びる有線ケーブル 12 と接続されて各ドローン 10 に対して電力供給を行うことが可能になっている。このため、バッテリー電源等を用いて電力供給を行う場合のようにバッテリー電源の容量を心配することなく、飛行を継続することが可能になる。

30

【0106】

また、各ドローン 10 の記憶部 30 には、予め設定される各ドローン 10 間の既設の距離や既設の方角に基づいて、各ドローン 10 を有線ケーブル 12 で接続することにより生じ得る理論上の外力が、編隊パターンに応じて計算されて記憶されている。各ドローン 10 の制御部 34 では、3 軸ジャイロセンサ 24 や 3 軸加速度センサ 26 により検出されたドローン 10 の飛行姿勢変化に対する飛行制御とは別に、選択された編隊パターンに対応する理論上の外力がドローン 10 に生じるものとして、飛行制御を行う。このように、3 軸ジャイロセンサ 24 や 3 軸加速度センサ 26 で検出された飛行姿勢変化に対する飛行制御とは別に、編隊パターンに対応する理論上の外力が生じるものとして、飛行制御を行うことよって、ドローン 10 単体での安定飛行を実現するだけでなく、ドロネット 1 全体として、編隊パターンに応じた各ドローン 10 の編隊形状を保ちつつ、飛行を行うことが可能になる。

40

【0107】

さらに、本実施の形態に係るドローン 10 では、各ドローン 10 において、カメラ 28 で撮影されたマーカー 36 の位置を検出することにより、有線ケーブル 12 の角度（x 軸、y 軸および z 軸とのなす角）を検出して現実の外力 $c(t)$ を算出し、理論上の外力 F_{fixed} と現実の外力 $c(t)$ との誤差 $e(t)$ に基づいて、PID 制御により制御量 u （

50

t)を算出し、モータ20a~20dを制御部34で駆動制御することにより、飛行姿勢の安定制御を行う。このように、理論上の外力 F_{fixed} と現実の外力 $c(t)$ との誤差 $e(t)$ に基づいて、飛行姿勢の安定制御を行うことにより、他のドローン10との現実の距離および現実の方角を、既設の距離および既設の方角に修正・維持することが可能になる。

【0108】

また、ドローン10における有線ケーブル12の角度(x軸、y軸およびz軸とのなす角)を実際に検出することにより、ドローン10の飛行姿勢の制御修正を行うことができると共に、ドロネット1全体として協同した飛行を行うことが可能になる。このため、ドロネット1を構成する各ドローン10の具体的な位置(座標)を、GPS(Global Positioning System:全地球測位システム)で測定したり、測定された位置(座標)をそれぞれのドローン10に対して配信等したりすることなく、ドロネット1全体の飛行形態を修正・維持することが可能である。

10

【0109】

現在、市場に数多く出荷されているドローンでは、3軸ジャイロセンサや3軸加速度センサで検出された飛行姿勢変化に基づいて飛行制御を行う制御部が設けられている。このため、新たに有線ケーブルの角度(x軸、y軸およびz軸とのなす角)を算出する手段を設けることにより、本実施の形態で説明したような、有線ケーブルの接続により生ずる外力を考慮した飛行制御を、一般的なドローンで容易に実現することが可能になる。

【0110】

また、編隊パターンを変更することによって、図12(a)(b)に示したように、ドローン10間の距離および方角を変更することができ、ドロネット1全体の編隊形状を広くしたり狭くしたりすることが可能になる。従って、例えば、ドロネット1により地上映像を撮影等する場合に、複数台のドローン10で一度に撮影を行うことができるので、広い範囲の撮影を一度の飛行で実現することが可能になる。特に、ドロネット1の編隊形状を広くすることにより、電力供給機14から比較的離れた場所までドローン10を飛ばすことができるので、電力消費量を考慮することなく、長時間の撮影を広範囲で行うことが可能になる。

20

【0111】

以上、本発明に係るドローンおよびドローン群について、図面を用いて説明したが、本発明に係るドローンおよびドローン群は、実施の形態で説明した構成には限定されない。当業者であれば、特許請求の範囲に記載された範疇内において、各種の変更例または修正例に想到しうることは明らかであり、それらについても実施の形態に示した構成と同様の効果を奏することが可能である。

30

【0112】

例えば、実施の形態に係るドローン10では、有線ケーブル12の角度(x軸、y軸およびz軸とのなす角)を検出するために、カメラ28で有線ケーブル12のマーカ36を撮影し、撮影画像に基づいて角度検出を行う構成を説明した。しかしながら、有線ケーブル12の角度を検出する方法は、カメラ28で撮影された画像を解析する方法だけには限定されない。例えば、ジョイスティック構造を備えた連結部材をドローン10の底部15aに設けて、スティック先端に有線ケーブル12の端部を取り付けることにより、有線ケーブル12の角度および方向を連結部材の変動量に基づいて検出する構成にすることも可能である。このようなジョイスティック構造を、角度検出手段として用いることにより、画像解析等を行うことなく、物理的な変化量の検出によって、有線ケーブル12の角度および方向を検出することができるため、コスト低減と構造の簡素化を図ることが可能になる。

40

【0113】

また、ドロネット1を構成するドローン10の台数およびドローン10間に吊り渡される有線ケーブル12の本数等は、図1等に示した例には限定されない。ドロネット1を構成するドローン10の台数は、何台であってもよく、さらに、どのような接続パターンで

50

有線ケーブル 12 をドローン 10 間に吊り渡すものであってもよい。

【0114】

さらに、本実施の形態に係るドローン 10 では、図 2 に示したように、4 本のアーム部 16 a ~ 16 d が本体部 15 より 4 方向に延設され、各アーム部 16 a ~ 16 d の先端にモータ 20 a ~ 20 d およびプロペラ 18 a ~ 18 d が設けられる構成を一例として示した。しかしながら、本発明に係るドローンは、このような構成からなるものには限定されない。例えば、1 組のプロペラおよびモータだけが設けられたドローンであって、プロペラから吹き出される風の排出方向を調整する方向調整用の操舵翼を設けることにより、姿勢制御を行うことが可能な構造のものであってもよい。

【符号の説明】

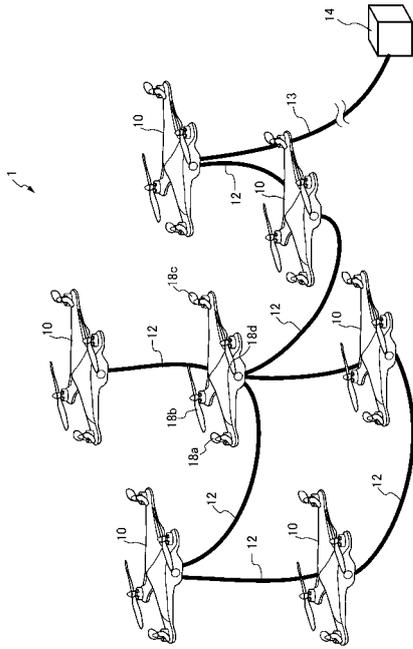
【0115】

- 1 ... ドロネット (ドローン群)
- 10 ... ドローン
- 12 ... 有線ケーブル
- 13 ... 給電ケーブル
- 14 ... 電力供給機 (電力供給手段)
- 15 ... (ドローンの) 本体部
- 15 a ... (ドローンの本体部の) 底部
- 16 a ~ 16 d ... (ドローンの) アーム部
- 18 a ~ 18 d ... プロペラ
- 20 a ~ 20 d ... モータ (モータ手段)
- 22 ... 磁気センサ
- 24 ... 3 軸ジャイロセンサ
- 26 ... 3 軸加速度センサ
- 28 ... カメラ (角度検出手段)
- 30 ... 記憶部
- 32 ... 通信部
- 34 ... 制御部 (制御手段、角度検出手段)
- 36 ... マーカー

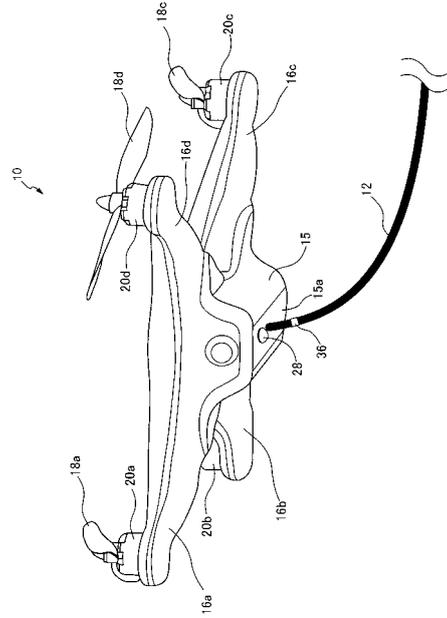
10

20

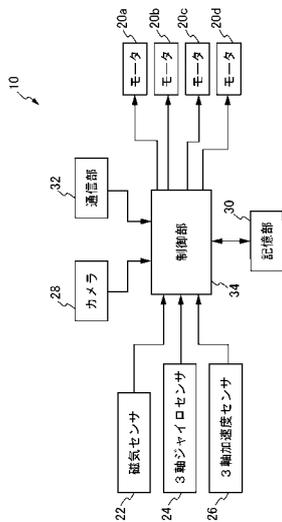
【 図 1 】



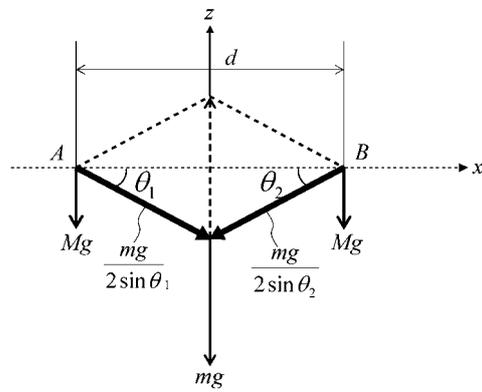
【 図 2 】



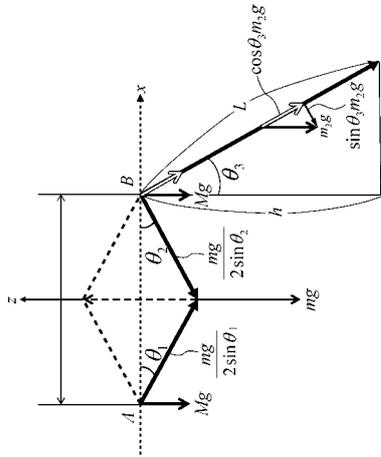
【 図 3 】



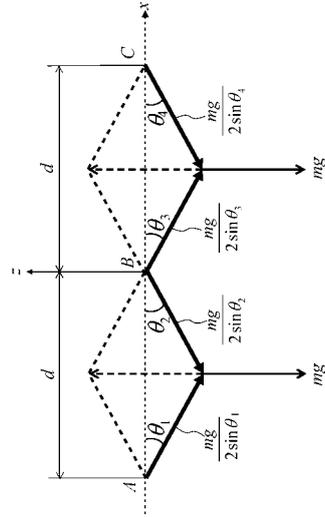
【 図 4 】



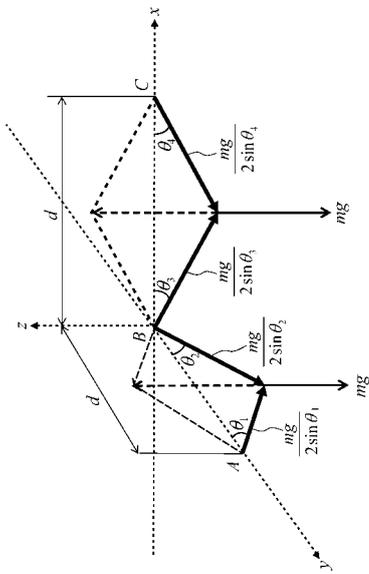
【 図 5 】



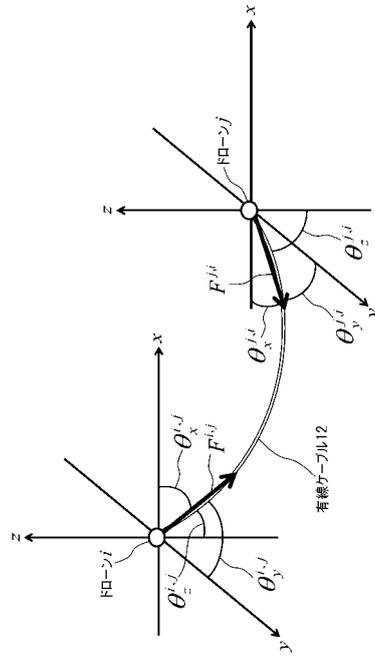
【 図 6 】



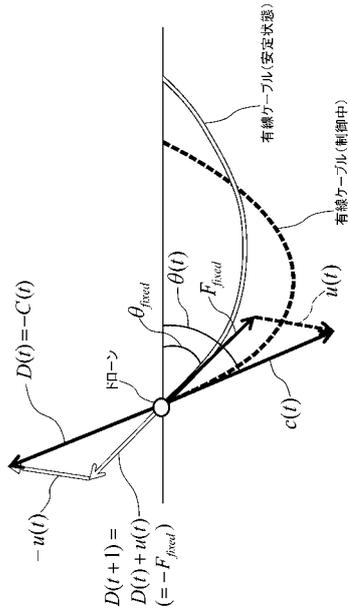
【 図 7 】



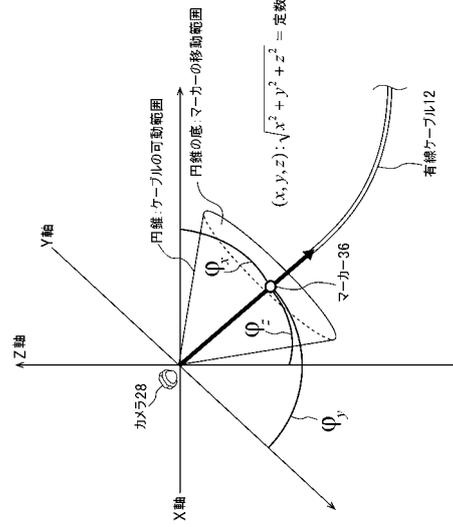
【 図 8 】



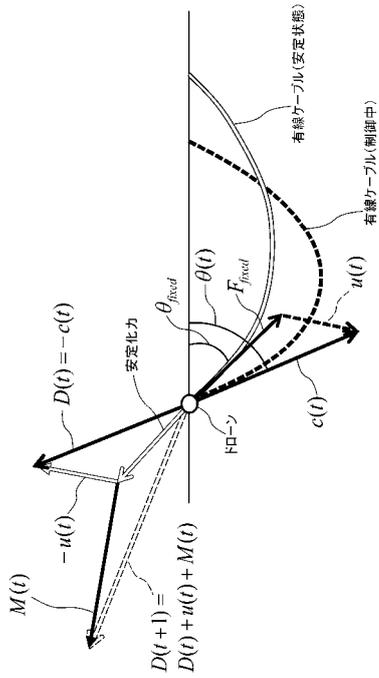
【 図 9 】



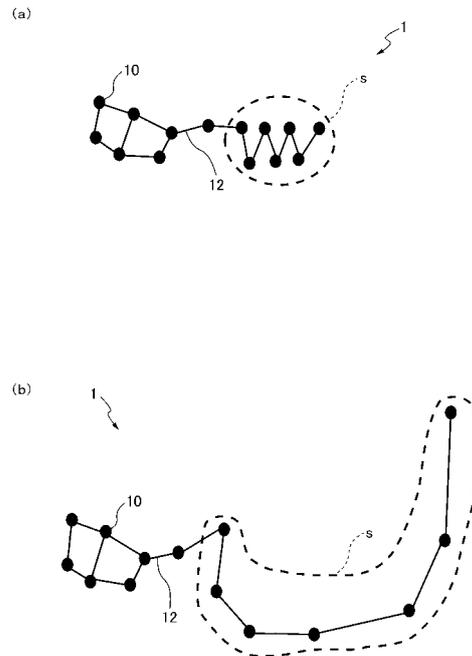
【 図 1 0 】



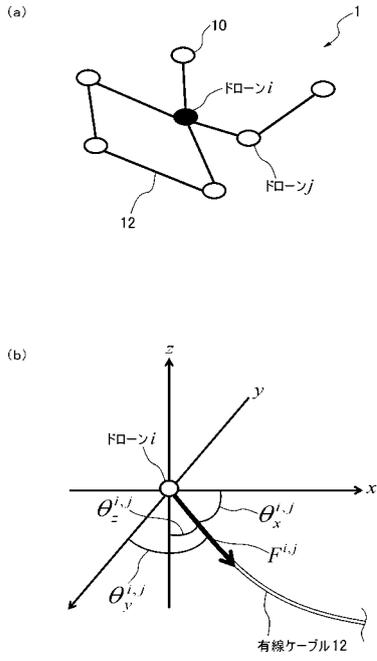
【 図 1 1 】



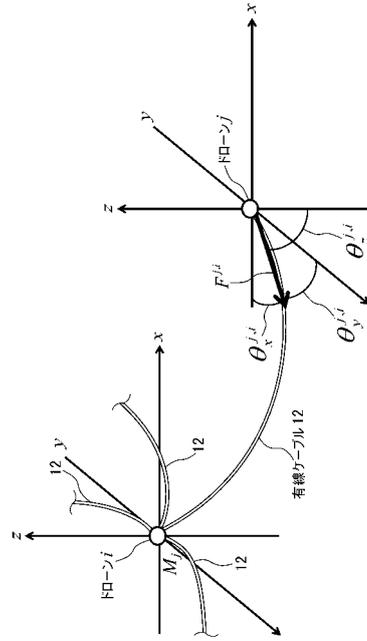
【 図 1 2 】



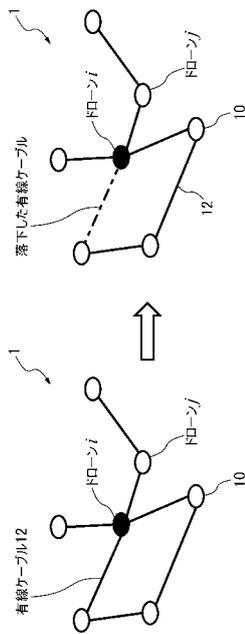
【 図 1 3 】



【 図 1 4 】



【 図 1 5 】



フロントページの続き

(51) Int.Cl.			F I			テーマコード(参考)
B 6 4 F	3/02	(2006.01)	B 6 4 F	3/02		
G 0 5 D	1/08	(2006.01)	G 0 5 D	1/08	Z	