

(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2017-156102
(P2017-156102A)

(43) 公開日 平成29年9月7日(2017.9.7)

(51) Int. Cl.

G01S 5/04 (2006.01)

F I

G01S 5/04

テーマコード(参考)

5J062

審査請求 未請求 請求項の数 6 O L (全 15 頁)

(21) 出願番号 特願2016-36845 (P2016-36845)
(22) 出願日 平成28年2月29日(2016.2.29)

(出願人による申告)平成27年度、総務省、電波資源
拡大のための研究開発、産業技術力強化法第19条の適
用を受ける特許出願

(71) 出願人 301022471
国立研究開発法人情報通信研究機構
東京都小金井市貫井北町4-2-1
(74) 代理人 100120868
弁理士 安彦 元
(72) 発明者 三浦 龍
東京都小金井市貫井北町4-2-1 国立
研究開発法人情報通信研究機構内
(72) 発明者 滝沢 賢一
東京都小金井市貫井北町4-2-1 国立
研究開発法人情報通信研究機構内
(72) 発明者 原 晋介
大阪府池田市畑1-7-3

最終頁に続く

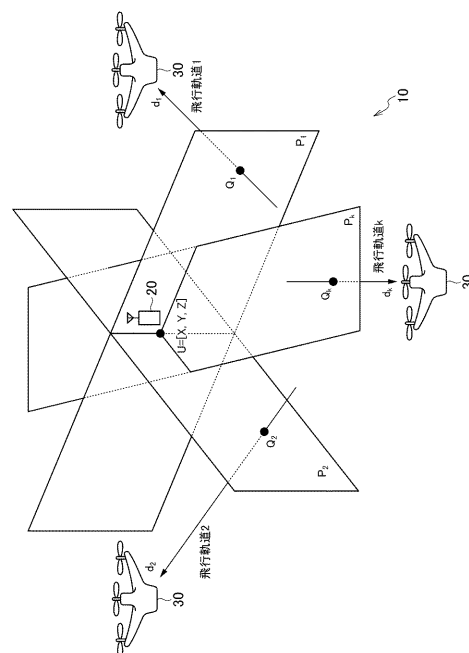
(54) 【発明の名称】 位置推定システム

(57) 【要約】

【課題】無線信号のドップラーシフト量を正確に測定
するステップを経ることなく対象物の位置を推定する
ことができ、その推定精度を格段に向上させる。

【解決手段】外部から制御可能とされた飛行軌道上を飛
行する過程で対象物に取り付けられた信号発信機20か
ら発信された無線信号を継続して受信する飛行体30と
、飛行体30により受信された無線信号に関するデー
タの位置に対する相対的な変化傾向を観測する観測部33
と、観測されたデータの相対的な変化傾向が予め設定
した条件を満たす条件満足位置を求め、飛行体30を互
いに異なる飛行軌道上で飛行させる過程で観測部33か
ら3回以上に亘り観測された相対的な変化傾向から条件満
足位置を3箇所以上に亘り求めるとともに、それぞれの
条件満足位置における3次元的位置情報並びに方向ベ
クトルが代入された3つ以上の平面の方程式に基づいて
対象物の位置を推定する位置推定部35とを備える。

【選択図】図3



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

静止状態にあるか又は僅かに移動する対象物の位置を推定する位置推定システムにおいて、

外部から制御可能とされた飛行軌道上を飛行する過程で上記対象物に取り付けられた信号発信機から発信された無線信号を継続して受信する飛行体と、

上記飛行体における上記飛行軌道上の各位置の 3 次元的位置情報並びに当該位置における上記飛行軌道の 3 次元的方向ベクトルを検出する飛行体位置情報検出手段と、

上記飛行体により受信された無線信号に関するデータの上記位置に対する相対的な変化傾向を観測する観測手段と、

上記観測手段により観測されたデータの相対的な変化傾向が予め設定した条件を満たす条件満足位置を求めると共に、その条件満足位置における 3 次元的位置情報並びに方向ベクトルを上記飛行体位置情報取得手段から取得してこれを平面の方程式に代入する位置推定手段とを備え、

上記位置推定手段は、飛行体を互いに異なる飛行軌道上で飛行させる過程で上記観測手段から 3 回以上に亘り観測された相対的な変化傾向から上記条件満足位置を 3 箇所以上に亘り求めるとともに、それぞれの上記条件満足位置における 3 次元的位置情報並びに方向ベクトルが代入された 3 つ以上の平面の方程式に基づいて上記対象物の位置を推定すること

を特徴とする位置推定システム。

【請求項 2】

上記位置推定手段は、上記観測手段により観測されたデータの相対的な変化傾向から上記対象物に対して最も距離が近くなる位置を上記条件満足位置とすること

を特徴とする請求項 1 記載の位置推定システム。

【請求項 3】

上記観測手段は、上記無線信号に関するデータとしての伝搬遅延量の相対的な変化傾向を観測し、

上記位置推定手段は、上記観測手段により観測された伝搬遅延量が最小となる位置を上記条件満足位置とすること

を特徴とする請求項 2 記載の位置推定システム。

【請求項 4】

上記観測手段は、上記無線信号に関するデータとしての無線信号の受信電力の相対的な変化傾向を観測し、

上記位置推定手段は、上記観測手段により観測された受信電力が最大となる位置を上記条件満足位置とすること

を特徴とする請求項 2 記載の位置推定システム。

【請求項 5】

上記観測手段は、上記無線信号に関するデータとしての無線信号の周波数の相対的な変化傾向を観測し、

上記位置推定手段は、上記対象物から発信された無線信号の周波数 f_0 を予め取得すると共に、上記観測手段により観測された周波数が周波数 f_0 に最も近くなる位置を上記条件満足位置とすること

を特徴とする請求項 1 記載の位置推定システム。

【請求項 6】

上記観測手段は、上記条件満足位置を検出することができるまで無線信号に関するデータを取得し続け、

上記飛行体は、上記観測手段により上記条件満足位置を検出することができた後に、別の飛行軌道に変更して飛行し続けること

を特徴とする請求項 1 記載の位置推定システム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】**【0001】**

本発明は、静止状態にあるか又は僅かに移動する対象物の位置を推定する位置推定システムに関するものである。

【背景技術】**【0002】**

近年において、徘徊のために行方がわからなくなった高齢者の探索や、遭難者の探索を行うために、人間の現在位置を正確に推定するための技術に対する社会的なニーズが高まっている。また測定対象が人間である場合に限定されること無く、例えば野生動物等の生態探査を高精度に行うため、野生動物の現在位置を正確に推定する技術も求められている。

10

【0003】

その推定の確実性を向上させるために、静止状態にある対象物から発信される無線信号を移動体により受信し、その受信信号から得られる情報に基づいて当該移動体の位置から対象物までの距離や角度を求めることで位置推定する技術も提案されている（例えば、特許文献1参照。）。例えば、対象物から発信される無線信号の発振周波数が既知で、かつ移動体の速度が既知である場合を仮定したとき、移動体の任意の位置で受信した無線信号の周波数を測定することにより、そのドップラーシフト量に基づいて移動体から対象物までの角度を推定することができる。これらのプロセスを複数個所で行うことにより、対象物の位置も推定できる。

20

【先行技術文献】**【特許文献】****【0004】**

【特許文献1】特公平7 - 117580号公報

【発明の概要】**【発明が解決しようとする課題】****【0005】**

しかしながら、この特許文献1の開示技術によれば、移動体が任意の位置において位置推定の対象物までの角度を推定しようとする場合、対象物から発振される無線信号の発振周波数に加え、無線信号を受信した位置や当該位置における移動体の移動方向、更に当該位置における移動速度を正確に検知する必要がある。さらにこの特許文献1の開示技術によれば、かかる位置推定を行うためには、ドップラーシフト量も正確に測定する必要がある。

30

【0006】

対象物から発信される無線信号の発振周波数は、移動体が静止している場合に信号を受信すれば容易に検知することができ、また移動体の位置と進行方向はGPS等を用いれば簡単に取得することができる。しかしながら、移動体の測定位置での移動速度と、無線信号のドップラーシフト量を正確に測定することは実際のところ困難である。

【0007】

そこで本発明は、上述した問題点に鑑みて案出されたものであり、その目的とするところは、移動体の移動速度と、無線信号のドップラーシフト量を正確に測定するステップを経ることなく対象物の位置を推定することができ、その推定精度を格段に向上させることが可能な位置推定システムを提供することにある。

40

【課題を解決するための手段】**【0008】**

本発明者らは、上述した課題を解決するために、以下の構成からなる位置推定システムを発明した。

【0009】

第1発明に係る位置推定システムは、静止状態にあるか又は僅かに移動する対象物の位置を推定する位置推定システムにおいて、外部から制御可能とされた飛行軌道上を飛行す

50

る過程で上記対象物に取り付けられた信号発信機から発信された無線信号を継続して受信する飛行体と、上記飛行体における上記飛行軌道上の各位置の3次元的位置情報並びに当該位置における上記飛行軌道の3次元的方向ベクトルを検出する飛行体位置情報検出手段と、上記飛行体により受信された無線信号に関するデータの上記位置に対する相対的な変化傾向を観測する観測手段と、上記観測手段により観測されたデータの相対的な変化傾向が予め設定した条件を満たす条件満足位置を求めると共に、その条件満足位置における3次元的位置情報並びに方向ベクトルを上記飛行体位置情報取得手段から取得してこれを平面の方程式に代入する位置推定手段とを備え、上記位置推定手段は、飛行体を互いに異なる飛行軌道上で飛行させる過程で上記観測手段から3回以上に亘り観測された相対的な変化傾向から上記条件満足位置を3箇所以上に亘り求めるとともに、それぞれの上記条件満足位置における3次元的位置情報並びに方向ベクトルが代入された3つ以上の平面の方程式に基づいて上記対象物の位置を推定することを特徴とする。

10

【0010】

第2発明に係る位置推定システムは、第1発明において、上記位置推定手段は、上記観測手段により観測されたデータの相対的な変化傾向から上記対象物に対して最も距離が近くなる位置を上記条件満足位置とすることを特徴とする。

【0011】

第3発明に係る位置推定システムは、第2発明において、上記観測手段は、上記無線信号に関するデータとしての伝搬遅延量の相対的な変化傾向を観測し、上記位置推定手段は、上記観測手段により観測された伝搬遅延量が最小となる位置を上記条件満足位置とすることを特徴とする。

20

【0012】

第4発明に係る位置推定システムは、第2発明において、上記観測手段は、上記無線信号に関するデータとしての無線信号の受信電力の相対的な変化傾向を観測し、上記位置推定手段は、上記観測手段により観測された受信電力が最大となる位置を上記条件満足位置とすることを特徴とする。

【0013】

第5発明に係る位置推定システムは、第1発明において、上記観測手段は、上記無線信号に関するデータとしての無線信号の周波数の相対的な変化傾向を観測し、上記位置推定手段は、上記対象物から発信された無線信号の周波数 f_0 を予め取得すると共に、上記観測手段により観測された周波数が周波数 f_0 に最も近くなる位置を上記条件満足位置とすることを特徴とする。

30

【0014】

第6発明に係る位置推定システムは、第1発明において、上記観測手段は、上記条件満足位置を検出することができるまで無線信号に関するデータを取得し続け、上記飛行体は、上記観測手段により上記条件満足位置を検出することができた後に、別の飛行軌道に変更して飛行し続けることを特徴とする。

【発明の効果】**【0015】**

上述した構成からなる本発明を適用した位置推定システムによれば、観測部33により観測された無線信号に関するデータの相対的な変化傾向を追うだけで、飛行方向から90°をなす方向に信号発信機20の位置Uが存在する飛行軌道k上の条件満足位置を特定することが可能となる。そして、この条件満足位置における3次元的位置情報並びに方向ベクトルを平面の方程式に代入することを、互いに異なる飛行軌道間において3回以上に亘り繰り返して行うことにより、対象物の位置を推定することができる。

40

【0016】

実際のプロセスにおいては、無線信号に関するデータを正確に測定するステップを経ることなく、単に当該データの相対的な変化傾向を追うだけで対象物の位置を推定することができる。このため、従来技術のように、移動体の移動速度と、無線信号のドップラースhift量を正確に測定するステップを経ることなく対象物の位置を推定することができ、そ

50

の推定精度を格段に向上させることが可能となる。

【図面の簡単な説明】

【0017】

【図1】本発明を適用した位置推定システムの全体構成を示す図である。

【図2】信号発信機並びに飛行体のブロック構成図である。

【図3】本発明を適用した位置推定システムにおける位置推定のコンセプトについて説明するための図である。

【図4】一の飛行軌道kを飛行体により飛行させる場合の例を示す図である。

【図5】直線状に設定した飛行軌道上で飛行体を飛行させつつ、信号発信機から発信される無線信号を受信する例を示す図である。

【図6】横軸を飛行方向に向けた直線状に飛行軌道の各位置とし、縦軸を無線信号に関するデータの相対的な変化傾向を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0018】

以下、本発明を適用した位置推定システムを実施するための形態について図面を参照しながら詳細に説明をする。

【0019】

本発明を適用した位置推定システム10は、図1に示すように信号発信機20と、飛行体30とを備えている。

【0020】

図2(a)は、信号発信機20の構成を示している。信号発信機20は、所定の周波数からなる信号を生成する信号生成部21と、この信号生成部21に接続されたアンテナ22とを有している。この信号生成部21において生成された所定の周波数からなる信号は、アンテナ22により電波とされて四方に向けて発信される。以下、このアンテナ22から発信される電波を無線信号という。

【0021】

ちなみにこの信号発信機20は、これら信号生成部21並びにアンテナ22を有しており、所定の周波数からなる無線信号を発信するものであればいかなる形態に具現化されるものであってもよく、例えばビーコンのみ発信するビーコン発信機として具現化されるものであってもよいし、携帯電話機、スマートフォン、ウェアラブル端末、タブレット型端末、パーソナルコンピュータ(PC)等のように無線通信を行うことが可能な通信端末として具現化されるものであってもよい。この信号発信機20は実際に位置を推定したい対象に所持させ、或いは取り付けることとなる。仮に位置を推定したい対象が高齢者や子供等のような人間であれば、その人間にこの信号発信機20を所持させる。また位置を推定したい対象が動物であれば、その動物に対して信号発信機20を取り付ける。ちなみに、この信号発信機20は、このような自由に動く生命体に対して取り付けられる場合に限定されるものではなく、木等の植物に取り付けられるものであってもよい。またこの信号発信機20は、建築構造物、建材、石、道路、橋梁、トンネル、各種インフラ等の非生命体に取り付けられるものであってもよい。

【0022】

この信号発信機20の取り付け対象は、本発明を適用した位置推定システム10による位置推定時において静止していることを前提としているが、これに限定されるものではなく、僅かに移動するものであってもよい。

【0023】

本発明を適用した位置推定システム10は、この信号発信機20の位置を正確に検知することで、実際に位置を推定したい、この信号発信機20が取り付けられる対象の位置を把握するためのシステムである。

【0024】

飛行体30は、自律飛行が可能な任意の飛行物体である。この飛行体30は、固定翼機、回転翼機、飛行船、気球、ドローン、無人航空機(Unmanned aerial vehicle: UAV)

10

20

30

40

50

)、ヘリコプター、飛行機等で具現化される。この飛行体30は、人間が搭乗することの無い無人によるものであってもよいし、人間が搭乗可能とされていてもよい。但し、この飛行体30は、ランダムに飛行するのではなく、その飛行軌道が外部から制御可能であることが前提となる。

【0025】

図2(b)は、飛行体30の構成を示している。飛行体30は、機体制御部31と、アンテナ29に接続された無線信号受信部32と、この無線信号受信部32に接続された観測部33と、情報検出部34と、観測部33並びに情報検出部34とに接続された位置推定部35と、機体制御部31に接続された操作部36及び制御信号受信部37と、位置推定部35に接続された情報記憶部38及び推定情報送信部39とを有している。

10

【0026】

機体制御部31は、予め入力された飛行計画に規定される飛行軌道や飛行制御コマンドに基づいて、飛行体30の推進システムや操舵システム(いずれも不図示)を制御する。機体制御部31は、これら飛行計画や飛行制御コマンドは、操作部36又は制御信号受信部37を介して取得する。この機体制御部31は、これら飛行計画や飛行制御コマンドに基づいて飛行高度や飛行方向が指定されることにより飛行軌道が特定されることとなり、指定した高度や座標を飛行することが可能となる。また、機体制御部31は、これら飛行計画や飛行制御コマンドに基づいて飛行速度も指定されることになる。

【0027】

操作部36は、飛行計画や飛行制御コマンドをユーザが実際に入力するためのユーザインターフェースである。この操作部36は、具体的にはキーボードやボタン、タッチパネル、マウス、スイッチ等により構成されているが、仮にこの飛行体30が無人ではなく、人間が搭乗するものである場合には、操縦桿やコックピットがこれに該当する。操作部36を介して入力された飛行計画や飛行制御コマンドは、機体制御部31へと送られ、これに沿って飛行体30の飛行軌道等が定まるものとなる。

20

【0028】

制御信号受信部37は、遠隔にて操作される図示しないコントローラ又は図示しない基地局を介して送信されてくる飛行計画や飛行制御コマンドを受信するためのデバイスである。これら飛行計画や飛行制御コマンドは、有線通信又は無線通信により外部から送信されてくる。仮にこれら飛行制御コマンド等が無線通信により送信されてくる場合には、制御信号受信部37は、これを受信するためのアンテナとして構成されることとなる。制御信号受信部37は、飛行計画や飛行制御コマンドを機体制御部31へ送信する。機体制御部31は、かかる飛行計画や飛行制御コマンドを受けて、これに応じた飛行体30の飛行軌道等を決定していくこととなる。

30

【0029】

即ちこの飛行体30は、ユーザの意思に基づいて入力された飛行制御コマンド等に基づいて、飛行高度や飛行方向が制御されることから、任意の飛行軌道を飛行するのではなく、あくまでユーザの意向に従った飛行軌道を飛行することとなる。即ち、この飛行体30の飛行軌道は、あくまで外部から制御されることが前提となる。

【0030】

無線信号受信部32は、アンテナ29を介して信号発信機20から送信されてくる無線信号を受信する。無線信号受信部32は、この受信した無線信号を観測部33へと出力する。

40

【0031】

観測部33は、無線信号受信部32から送られてくる無線信号に関するデータを、各種観測基準に基づいて観測する。ここでいう無線信号に関するデータとは、無線信号に関するものであればいかなるデータであってもよく、例えば無線信号の伝搬遅延量(伝播遅延時間)、受信電力、周波数等である。この観測部33は、無線信号に関するデータを取得した上で、その変化傾向を時系列的に観測し続ける。観測部33は、無線信号に関するデータの観測結果を、位置推定部35に対して通知する。

50

【 0 0 3 2 】

情報検出部 3 4 は、飛行体 3 0 における各種情報を検出するための部位である。この情報検出部 3 4 は、1 又は複数からなる計測器等で構成されており、例えばエンジン回転数を判別するための装置、姿勢センサ、高度計、加速度センサ、対気速度計、磁気コンパスやジャイロコンパス等の方位計等で構成されている。またこの情報検出部 3 4 は、現時点における飛行体 3 0 の位置情報を検出するため、GPS (Global Positioning System) 装置を有する者であってもよい。この GPS 装置では、飛行体 3 0 の現時点における緯度、経度、高度及び時間情報を取得する。ちなみに、このような位置情報を検出するための手段としては、GPS 装置以外の衛星測位システムを利用するようにしてもよい。また時間情報を取得する際には、この GPS 装置以外の電波時計を使用するようにしてもよい。これらの計測器や装置を有する情報検出部 3 4 によれば、少なくとも飛行体 3 0 の飛行軌道上における各位置の 3 次元的な位置情報を取得することができる。また当該位置における飛行軌道の 3 次元的な方向ベクトルを検出することができる。情報検出部 3 4 は、この方向ベクトルを、例えば GPS や地磁気センサ等により検出する。情報検出部 3 4 は、少なくともこの取得した飛行体 3 0 の飛行軌道上における各位置の 3 次元的な位置情報並びに当該位置における飛行軌道の 3 次元的な方向ベクトルを位置推定部 3 5 へ送信する。

10

【 0 0 3 3 】

位置推定部 3 5 は、観測部 3 3 から無線信号に関するデータの観測結果が送られてくる。また位置推定部 3 5 は、情報検出部 3 4 から飛行体 3 0 の飛行軌道上における各位置の 3 次元的な位置情報並びに当該位置における飛行軌道の 3 次元的な方向ベクトルを受信する。位置推定部 3 5 は、かかるデータの観測結果に基づき、これら位置情報や方向ベクトルを参照しつつ、信号発信機 2 0 の位置推定を行う。この位置推定の詳細については、後述する。位置推定部 3 5 は、この推定した信号発信機 2 0 の位置を情報記憶部 3 8 及び/又は推定情報送信部 3 9 へと出力する。

20

【 0 0 3 4 】

情報記憶部 3 8 は、(Flash Memory) 等の半導体メモリ素子、ハードディスク、光ディスク等の記憶装置等で構成される。この情報記憶部 3 8 は、位置推定部 3 5 から送信されてきた信号発信機 2 0 の推定位置に関する情報を記憶する。またこの情報記憶部 3 8 は、観測部 3 3 から送信されてきた無線信号に関するデータの観測結果や、情報検出部 3 4 から送信されてきた位置情報や方向ベクトルも必要に応じて記憶する。情報記憶部 3 8 に記憶された信号発信機 2 0 の推定位置に関する情報、無線信号に関するデータの観測結果、位置情報や方向ベクトルは、位置推定部 3 5 等による制御の下で必要に応じて読み出される。

30

【 0 0 3 5 】

推定情報送信部 3 9 は、位置推定部 3 5 から送信されてくる信号発信機 2 0 の推定位置に関する情報を無線通信又は有線通信を通じて外部の図示しない基地局やコントローラ等に送信する。

【 0 0 3 6 】

次に本発明を適用した位置推定システム 1 0 における位置推定のコンセプトについて説明をする。

40

【 0 0 3 7 】

本発明を適用した位置推定システム 1 0 によれば、図 3 に示すように、飛行体 3 0 を飛行軌道 1、2、3、 \dots 、 k 、 \dots 、 N (ここで $N \geq 3$) に亘り、飛行させる。飛行体 3 0 は、各飛行軌道 k を飛行する過程において、信号発信機 2 0 から発信される周波数 f_0 [Hz] の無線信号を受信し続ける。そして、この飛行体 3 0 は、受信した無線信号に関するデータを観測することにより飛行軌道の方向に対して 90° 方向に位置する信号発信機 2 0 の位置を推定していくこととなる。この図 3 でいうところの飛行軌道 1 においては、 Q_1 においてその飛行軌道の方向に対して 90° 方向に信号発信機 2 0 の座標 U が位置していることとなる。同様に飛行軌道 2 においては、 Q_2 においてその飛行軌道の方向に対して 90° 方向に信号発信機 2 0 の U が位置していることとなる。また飛行軌道 k においては

50

、 Q_k においてその飛行軌道の方向に対して 90° 方向に信号発信機20のUが位置していることとなる。以下、この推定対象としての信号発信機20の3次元座標を $U = [X, Y, Z]$ で与えるものとする。

【0038】

図4は、一の飛行軌道 k を飛行体30により飛行させる場合の例を示している。飛行軌道 k における飛行体30の飛行方向における方向ベクトルは $d_k = [a_k, b_k, c_k]$ で与えられる。また、その飛行方向から 90° をなす方向に信号発信機20の位置Uが存在する飛行軌道 k 上の位置 Q_k の位置ベクトルは、 $Q_k = [x_k, y_k, z_k]$ で与えられる。即ち、方向ベクトル $d_k = [a_k, b_k, c_k]$ は、飛行軌道 k 上の位置 Q_k において飛行体30の飛行方向を示すものであり、この位置 Q_k から 90° をなす方向に信号発信機20の位置Uが存在することとなる。

10

【0039】

本発明を適用した位置推定システム10によれば、飛行体30を飛行軌道 k 上において飛行させながら、その飛行方向 $d_k = [a_k, b_k, c_k]$ から 90° をなす方向に信号発信機20の位置Uが存在する飛行軌道 k 上の位置 Q_k を探索する動作を行っていくこととなる。

【0040】

図5の例では、直線状に設定した飛行軌道 k 上で飛行体30を飛行させつつ、信号発信機20から発信される無線信号を受信する例を示している。飛行軌道 k において飛行体30が位置 $Q_{k1}, \dots, Q_{k2}, \dots, Q_{k3}$ を経て方向ベクトル $d_k = [a_k, b_k, c_k]$ の方向に直線状に飛行していく場合、位置Uと最も距離が近いのは位置 Q_{k2} である。そして、この位置Uと最も距離が近い位置 Q_{k2} から方向ベクトル $d_k = [a_k, b_k, c_k]$ の方向に対して 90° をなす方向に信号発信機20の位置Uが存在する。図5において、位置Uと最も距離が近いのは位置 Q_{k2} であり、位置Uからこの方向ベクトル $d_k = [a_k, b_k, c_k]$ の飛行軌道に向けて引かれる垂線の位置が、位置 Q_{k2} となる。

20

【0041】

このため、このような位置Uと最も距離が近い飛行軌道 k 上の位置 Q_{k2} を、信号発信機20から発信される無線信号を介して解析していくこととなる。例えば無線信号の受信電力を解析した場合、飛行体30が位置 $Q_{k1}, \dots, Q_{k2}, \dots, Q_{k3}$ を経て方向ベクトル $d_k = [a_k, b_k, c_k]$ の方向に直線状に飛行する過程において、位置 Q_{k1} から位置 Q_{k2} に至るまでには位置Uからの距離が徐々に近くなるため、これに応じて受信電力が徐々に大きくなる。一方、飛行体30が位置 Q_{k2} から位置 Q_{k3} に至るまでには位置Uからの距離が徐々に遠くなるため、これに応じて受信電力が徐々に小さくなる。その結果、受信電力のピークはちょうど位置 Q_{k2} において現れることとなる。

30

【0042】

従って、飛行体30が位置 $Q_{k1}, \dots, Q_{k2}, \dots, Q_{k3}$ を経て方向ベクトル $d_k = [a_k, b_k, c_k]$ の方向に直線状に飛行する過程において、この受信電力の相対的な変化傾向を追うことにより、そのピークの位置を特定することで、位置 Q_{k2} の位置情報を求めることが可能となる。その結果、受信電力の相対的な変化傾向を追うだけで、飛行方向 $d_k = [a_k, b_k, c_k]$ から 90° をなす方向に信号発信機20の位置Uが存在する飛行軌道 k 上の位置 Q_k (以下、このような条件を満たす位置 Q_k を条件満足位置という。)特定することが可能となる。

40

【0043】

図6は、横軸を飛行方向 $d_k = [a_k, b_k, c_k]$ に向けた直線状の飛行軌道 k の各位置とし、縦軸を無線信号に関するデータの相対的な変化傾向を示している。図6(a)は、縦軸を構成する無線信号に関するデータとして伝搬遅延量を、図6(b)は、縦軸を構成する無線信号に関するデータとして上述した受信電力を、図6(c)は、縦軸を構成する無線信号に関するデータとして受信周波数をそれぞれ割り当てている。

【0044】

図6(a)の例では、無線信号の伝搬遅延量(伝播遅延時間)を飛行方向 $d_k = [a_k,$

50

$b_k, c_k]$ に向けた直線状の飛行軌道に沿って測定していく。そして、この伝搬遅延量が最小となる位置 Q_k が条件満足位置となる。

【0045】

図6(b)の例では、上述と同様に受信電力が最大となる位置 Q_k が条件満足位置となる。

【0046】

図6(c)の例では、受信する無線信号が受けるドップラーシフト量が0となることを利用した場合、無線信号の周波数を観測し、その周波数が信号発信機20から発信される周波数 f_0 に最も近くなる位置が条件満足位置となる。

【0047】

この図6の例において、いずれのケースにおいても縦軸について絶対的な正確な値を測定する必要は無く、あくまで横軸の位置に対して相対的な変化傾向を識別し、その最大値、最小値、或いは周波数 f_0 に最も近くなる場所を特定することで、条件満足位置を求めることができる。従って、条件満足位置を求めるにあたり、無線信号に関するデータを観測する観測部33の詳細なキャリブレーションの必要がなくなり、観測が複雑化してしまうのを防止することができる。

【0048】

なお、条件満足位置を求める方法は、これらに限定されるものではなく、他のいかなる方法に基づいて求めるようにしてもよい。即ち、位置 U からの距離を識別することが可能な他のデータを無線信号から観測し、その相対的な変化傾向から最も距離が近くなる条件満足位置を特定できるものであればいかなる方法に基づくものであってもよい。或いは、観測されたデータの相対的な変化傾向を追い、例えば図6(c)に示すような周波数 f_0 に最も近くなるという条件等、予め設定した条件を満たすものを条件満足位置として特定するものであれば、他のいかなる方法が適用されるものであってもよい。

【0049】

このようにして求められた条件満足位置 Q_k における座標 $Q_k = [x_k, y_k, z_k]$ を含むと共に、飛行体30の飛行軌道 k の方向ベクトル $d_k = [a_k, b_k, c_k]$ に対して垂直な平面 P_k は、信号発信機20の3次元座標 $U = [X, Y, Z]$ を含むものとなる。その条件満足位置 Q_k における座標 $Q_k = [x_k, y_k, z_k]$ は、情報検出部34から得ることができ、飛行体30の飛行軌道 k の方向ベクトル $d_k = [a_k, b_k, c_k]$ は既知であるため、 P_k 上の任意の点を $P = [x, y, z]$ とすると平面の方程式は $d_k \cdot (P - Q_k) = 0$ より、以下の(1)式により表すことができる。

【数1】

$$a_k(x - x_k) + b_k(y - y_k) + c_k(z - z_k) = 0 \dots\dots\dots (1)$$

【0050】

また、この P_k 上の任意の点を $P = [x, y, z]$ が $U = [X, Y, Z]$ である場合には、この(1)式において $x = X$ を代入し、 $y = Y$ を代入し、 $z = Z$ を代入すると以下の(2)式により表すことができる。

【数2】

$$a_k(X - x_k) + b_k(Y - y_k) + c_k(Z - z_k) = 0 \dots\dots\dots (2)$$

【0051】

但し、この(2)式は、変数 X, Y, Z が3つあることから、少なくともこのような平面の方程式が合計3以上存在しないと、これら変数 X, Y, Z の解は求められないことと

10

20

30

40

50

なる。

【 0 0 5 2 】

図 3 は、このような飛行軌道 k の方向ベクトル $d_k = [a_k, b_k, c_k]$ に対して垂直な平面 P_k を平面 P_1, P_2, P_k に亘り 3 個描いたものである。これらの平面 P_1, P_2, P_k は、それぞれに垂直な飛行軌道 1 の方向ベクトル d_1 、飛行軌道 2 の方向ベクトル d_2 、飛行軌道 k の方向ベクトル d_k が互いに異なる方向に向けて延長されている。推定誤差がない場合には、異なる 3 個の平面 P_1, P_2, P_k は一点で交わり、その点が U の推定値となる。実際にこの U の 3 次元座標 $U = [X, Y, Z]$ は、上述した方法に基づき、それぞれの平面 P_1, P_2, P_k について式 (2) の平面の方程式を作り、その連立方程式を解くことにより、求めることができる。

10

【 0 0 5 3 】

次に本発明を適用した位置推定システム 10 における実際の位置推定動作について説明をする。

【 0 0 5 4 】

この位置推定システム 10 を動作させる前において、位置推定の対象物に信号発信機 20 を予め取り付けしておく。この信号発信機 20 における信号生成部 21 は、常時、又は断続的に周波数 f_0 の信号を生成する。この生成された信号は、アンテナ 22 を介して無線信号として常時、又は断続的に発信されることとなる。

【 0 0 5 5 】

また、この位置推定システム 10 のユーザは、操作部 36 を操作することにより、或いは図示しない基地局又はコントローラを介して、飛行計画や飛行制御コマンドを入力する。これにより飛行体 30 の飛行軌道をユーザ側にて制御することができる。飛行制御コマンド等を受けた機体制御部 31 は、これに基づいて飛行体 30 を飛行軌道 k に向けて飛行させる。

20

【 0 0 5 6 】

飛行体 30 を飛行軌道 k に向けて飛行させる過程で、情報検出部 34 は、少なくとも飛行体 30 の飛行軌道上における位置の 3 次元的な位置情報並びに当該位置における飛行軌道の 3 次元的な方向ベクトルを取得し続け、これを位置推定部 35 へと出力する。また飛行体 30 を飛行軌道 k に向けて飛行させる過程で、信号発信機 20 のアンテナ 22 から発信された無線信号は、飛行体 30 におけるアンテナ 29 を介して無線信号受信部 32 により受信され、更に観測部 33 に送られる。観測部 33 には、上述したように受信電圧、伝播遅延時間、周波数等を始めとした何れかのデータをこの無線信号から観測する。

30

【 0 0 5 7 】

これらの動作は、飛行体 30 を飛行軌道 k に向けて飛行させる過程で繰り返し行われていくこととなる。その結果、飛行軌道 k 上の各位置につき、3 次元的な位置情報並びに当該位置における飛行軌道の 3 次元的な方向ベクトルを順次取得することができる。また飛行軌道 k 上の各位置につき受信電圧等を始めとした無線信号に関するデータを観測部 33 において順次観測することにより、図 6 に示すような横軸を位置とした相対的な変化傾向を取得することができる。

【 0 0 5 8 】

位置推定部 35 には、観測部 33 により観測された無線信号に関するデータの相対的な変化傾向が順次入力される。これと共に、位置推定部 35 には、飛行軌道 k 上の各位置につき、3 次元的な位置情報並びに当該位置における飛行軌道 k の 3 次元的な方向ベクトルが情報検出部 34 から入力される。位置推定部 35 は、この無線信号に関するデータの相対的な変化傾向に基づいて条件満足位置 Q_k を特定する作業を行う。また条件満足位置 Q_k が特定できた場合には、情報検出部 34 から入力された 3 次元的な位置情報のうち、条件満足位置 Q_k の座標 $Q_k = [x_k, y_k, z_k]$ を取得するとともに、情報検出部 34 から入力された 3 飛行軌道 k の 3 次元的な方向ベクトル $d_k = [a_k, b_k, c_k]$ を取得する。位置推定部 35 は、この取得した条件満足位置 Q_k の座標 $Q_k = [x_k, y_k, z_k]$ と、3 次元的な方向ベクトル $d_k = [a_k, b_k, c_k]$ を式 (2) に代入することで平面の方程式を

40

50

得ることができる。

【 0 0 5 9 】

次に、位置推定システム 1 0 のユーザは、操作部 3 6 を操作することにより、或いは図示しない基地局又はコントローラを介して、上述した飛行軌道 k とは異なる他の飛行軌道となるように設定を行い、飛行体 3 0 を飛行させ、上述と同様の動作を実行していく。これを 3 回以上に亘り実行することにより、互いに異なる飛行軌道 k 上で飛行させた飛行体 3 0 を介して、観測部 3 3 から 3 回以上に亘り相対的な無線信号に関するデータの変化傾向を取得することができ、条件満足位置を 3 箇所以上に亘り求めることが可能となる。また、各条件満足位置における 3 次元的位置情報並びに方向ベクトルが代入された 3 つ以上の平面の方程式を得ることができ、これを解くことにより対象物の位置 U を推定することが可能となる。

10

【 0 0 6 0 】

このようにして、本発明を適用した位置推定システム 1 0 によれば、観測部 3 3 により観測された無線信号に関するデータの相対的な変化傾向を追うだけで、飛行方向から 9 0 ° をなす方向に信号発信機 2 0 の位置 U が存在する飛行軌道 k 上の条件満足位置を特定することが可能となる。そして、この条件満足位置における 3 次元的位置情報並びに方向ベクトルを平面の方程式に代入することを、互いに異なる飛行軌道間において 3 回以上に亘り繰り返して行うことにより、対象物の位置を推定することができる。

【 0 0 6 1 】

実際のプロセスにおいては、無線信号に関するデータを正確に測定するステップを経ることなく、単に当該データの相対的な変化傾向を追うだけで対象物の位置を推定することができる。このため、従来技術のように、移動体の移動速度と、無線信号のドップラーシフト量を正確に測定するステップを経ることなく対象物の位置を推定することができ、その推定精度を格段に向上させることが可能となる。

20

【 0 0 6 2 】

位置推定部 3 5 は、対象物の位置 U を推定した後、これを情報記憶部 3 8 に記憶するようにしてもよいし、図示しない表示画面上にこれを表示するようにしてもよい。或いは位置推定部 3 5 は、推定した対象物の位置 U を推定情報送信部 3 9 を介して外部の図示しない基地局やコントローラ等に無線通信又は有線通信を介して送信するようにしてもよい。

【 0 0 6 3 】

なお、上述した実施の形態においては、飛行軌道 k の 3 次元的方向ベクトル $d_k = [a_k, b_k, c_k]$ は、情報検出部 3 4 により検出してこれを位置推定部 3 5 に送信する場合を例にとり説明をしたが、これに限定されるものではない。操作部 3 6 等からユーザにより入力された飛行計画や飛行制御コマンドに基づいてこのような方向ベクトル d_k が特定できる場合には、これを位置推定部 3 5 に提供することで得るようにしてもよい。

30

【 0 0 6 4 】

また上述した実施の形態においては、推定誤差が無い場合を例に挙げて説明をしたが、推定誤差がある場合には以下の推定を行うようにしてもよい。

【 0 0 6 5 】

一般にこのような推定誤差がある場合、平面は一点で交わらない。U の真の位置 $U = [X, Y, Z]$ から平面 P_k までの距離は、以下の (3) 式により与えられる。

40

【 数 3 】

$$r_k = \frac{|a_k(X - x_k) + b_k(Y - y_k) + c_k(Z - z_k)|}{\sqrt{a_k^2 + b_k^2 + c_k^2}}$$

..... (3)

【 0 0 6 6 】

このため、この距離を誤差と考え、U を最小二乗推定法で推定するならば、以下の (4

50

) 式により求めることができる。

【数 4】

$$U = [X, Y, Z] = \arg \min \sum_{k=1}^N r_k^2$$

..... (4)

【0067】

また本発明は、飛行体 30 の移動速度を情報検出部 34 により測定し、或いは対象物の移動速度を図示しない計測手段により計測して、これを情報記憶部 38 に記憶しておき、飛行体 30 の移動速度、対象物の移動速度の何れか 1 以上に基づいて、飛行軌道 k の数を決定するようにしてもよい。

10

【0068】

また、観測部 33、位置推定部 35 の何れか 1 以上をこの飛行体 30 内部に設けるのではなく、外部の図示しない基地局やコントローラ内に実装するようにしてもよい。かかる場合には、無線信号受信部 32 により無線信号を受信した場合には、これを推定情報送信部 39 を介して図示しない基地局やコントローラ内に送信し、これらの中に実装された観測部 33、位置推定部 35 を介して位置推定を行うこととなる。

【0069】

なお、本発明によれば、飛行体 30 を飛行軌道 k は、直線状とされていることが前提となるが、飛行軌道 k から他の飛行軌道 k+1 に切り替える際において、飛行体 30 をその都度離着陸させるようにしてもよいが、飛行体 30 の飛行軌道を途中で変更することにより切り替えるようにしてもよい。

20

【0070】

かかる場合において、条件満足位置を図 6 (b) に示すように受信電力の位置で追う場合において、受信電力を計測した結果、飛行体 30 が進むにつれてこれが下がり続ける場合には、飛行体 30 は条件満足位置から徐々に離間していることを意味している。かかる場合には、飛行体 30 がその飛行軌道上を飛行し続けたとしても受信電力が最大なる条件満足位置に到達し得ないため、その飛行軌道上での飛行体 30 の飛行は中止する。

30

【0071】

一方、受信電力を計測した結果、飛行体 30 が進むにつれてこれが上がり続ける場合には、飛行体 30 は条件満足位置に徐々に近づいていることを意味している。かかる場合において、飛行体 30 は、その飛行軌道上を継続して飛行することとなる。その飛行の間において飛行体 30 は受信電力を検出し続けた結果、今までは飛行体 30 が進むにつれて挙がり続けていた受信電力が下がり始めたとき、ちょうど図 6 (b) に示すようなピーク位置が現れたことを意味する。このようなピーク位置が上述した条件満足位置に該当するが、その条件満足位置を特定できた段階で飛行体 30 は他の飛行軌道に変更し、同様の観測を行うことが可能となる。上述した例はあくまで無線信号に関するデータとして受信電力を観測する場合を例に挙げて説明をしたが、他の例の場合も同様であり、伝搬遅延量が最小になる位置が現れるまで飛行体 30 による飛行を継続するようにしてもよいし、観測された周波数が周波数 f_0 に最も近くなる位置が特定できるまで飛行を継続するようにしてもよい。

40

【0072】

即ち、本発明によれば、リアルタイムに無線信号に関するデータを取得し続け、条件満足位置が現れるか否かを飛行体 30 を飛行させつつ判定し、条件満足位置が確認できるまでその飛行軌道上を直線状に飛行させるようにしてもよい。そして、飛行体 30 は、観測部 33 により、条件満足位置を確認することができた後に、別の飛行軌道に変更し、そのまま飛行し続けるようにしてもよい。つまり、条件満足位置の特定の有無を、飛行軌道変更の判定に使用するようにしてもよい。

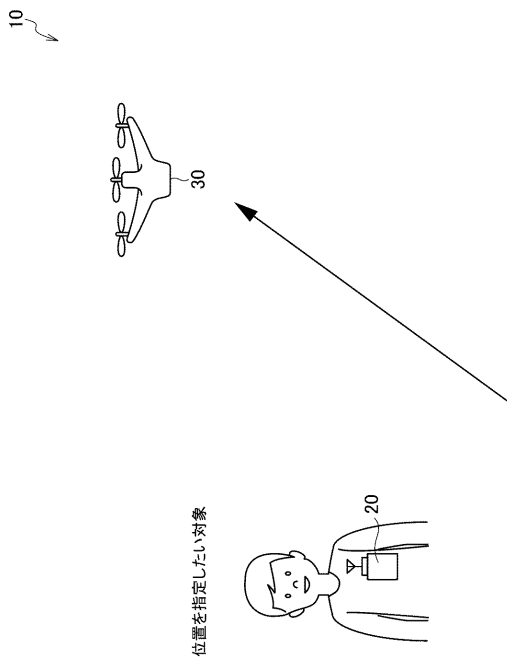
50

【符号の説明】

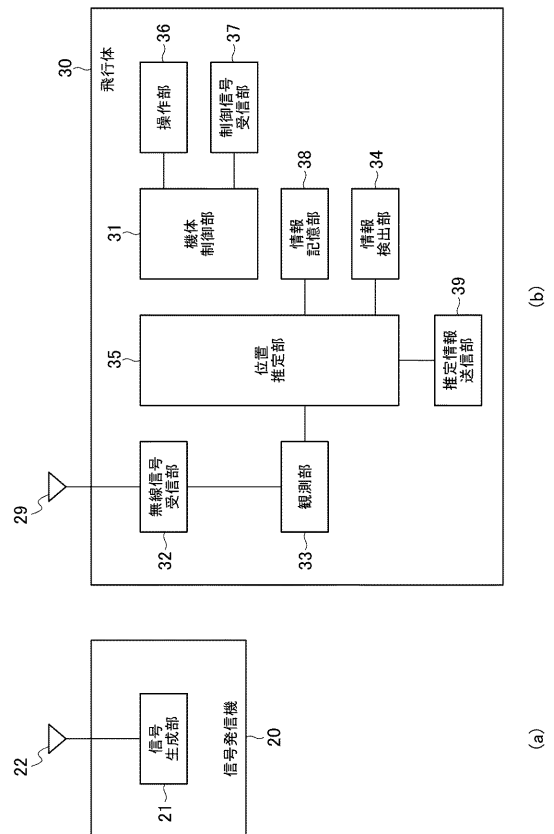
【0073】

- 10 位置推定システム
- 20 信号発信機
- 21 信号生成部
- 22、29 アンテナ
- 30 飛行体
- 31 機体制御部
- 32 無線信号受信部
- 33 観測部
- 34 情報検出部
- 35 位置推定部
- 36 操作部
- 37 制御信号受信部
- 38 情報記憶部
- 39 推定情報送信部

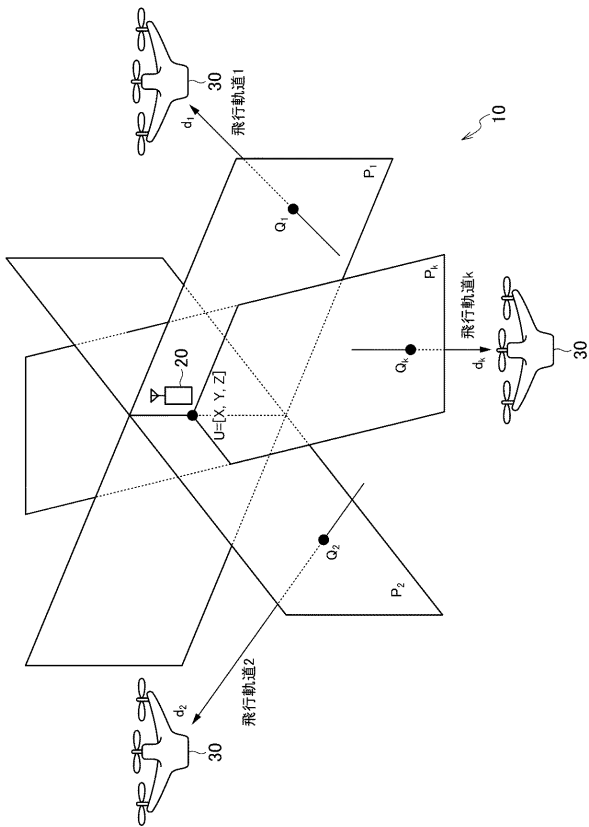
【図1】



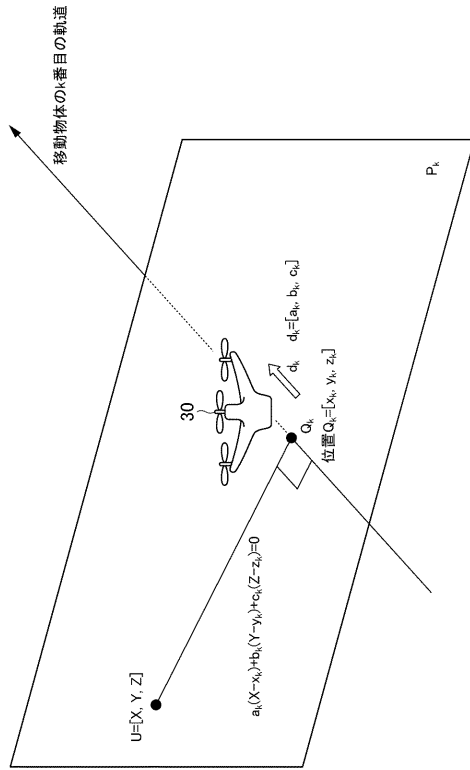
【図2】



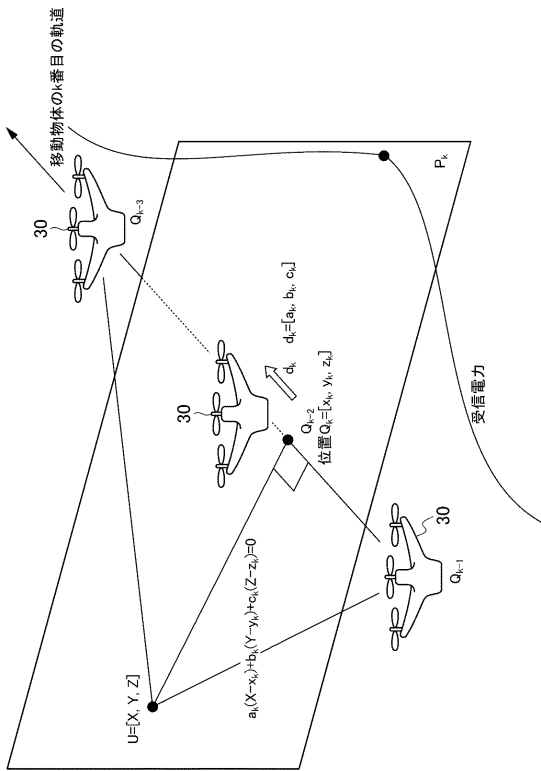
【図3】



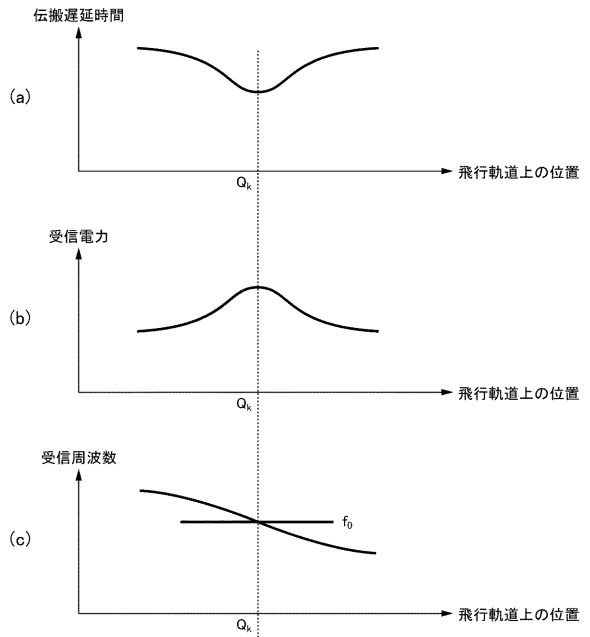
【図4】



【図5】



【図6】



フロントページの続き

(72)発明者 小野 文枝

東京都小金井市貫井北町4 - 2 - 1 国立研究開発法人情報通信研究機構内

Fターム(参考) 5J062 AA01 BB05 BB08 CC14 CC17 CC18