

# (12) 按照专利合作条约所公布的国际申请

(19) 世界知识产权组织  
国际局

(43) 国际公布日  
2020 年 3 月 19 日 (19.03.2020)



(10) 国际公布号  
**WO 2020/051757 A1**

- (51) 国际专利分类号:  
**G01P 5/00** (2006.01)
- (21) 国际申请号: PCT/CN2018/104956
- (22) 国际申请日: 2018 年 9 月 11 日 (11.09.2018)
- (25) 申请语言: 中文
- (26) 公布语言: 中文
- (71) 申请人: 深圳市道通智能航空技术有限公司 (AUTEL ROBOTICS CO., LTD.) [CN/CN]; 中国广东省深圳市南山区西丽街道学苑大道 1001 号智园 B1 栋 9 层, Guangdong 518055 (CN)。
- (72) 发明人: 张添保 (ZHANG, Tianbao); 中国广东省深圳市南山区西丽街道学苑大道 1001 号智园 B1 栋 9 层, Guangdong 518055 (CN)。 陈刚 (CHEN, Gang); 中国广东省深圳市南山区西丽街道学苑大道 1001 号智园 B1 栋 9 层, Guangdong 518055 (CN)。
- (74) 代理人: 北京安信方达知识产权代理有限公司 (AFD CHINA INTELLECTUAL PROPERTY LAW OFFICE); 中国北京市海淀区学清路 8 号 B 座 1601A, Beijing 100192 (CN)。
- (81) 指定国 (除另有指明, 要求每一种可提供的国家保护): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, 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, JO, JP, KE, KG, KH, 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 (除另有指明, 要求每一种可提供的地区保护): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 欧亚 (AM,

(54) **Title:** WIND SPEED CALCULATION METHOD AND DEVICE, UNMANNED AERIAL VEHICLE AND UNMANNED AERIAL VEHICLE ASSEMBLY

(54) 发明名称: 风速计算方法、装置、无人机和无人机组件

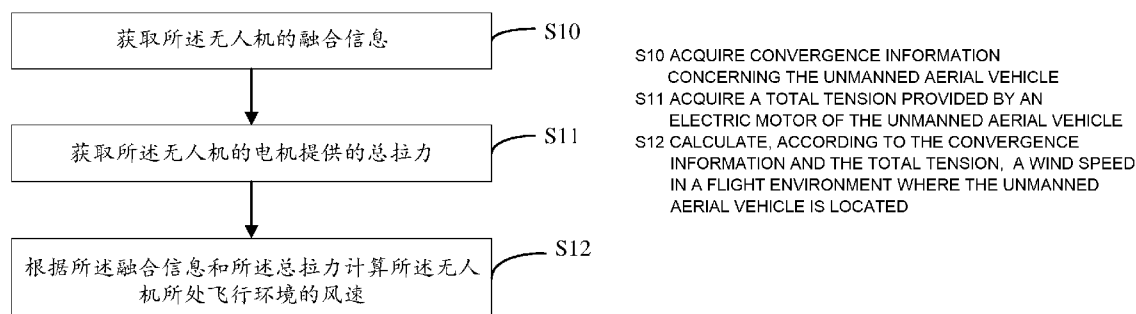


图 6

(57) **Abstract:** Provided is a wind speed calculation method, comprising acquiring convergence information concerning an unmanned aerial vehicle, acquiring a total tension provided by an electric motor of the unmanned aerial vehicle, and calculating, according to the convergence information and the total tension, a wind speed in a flight environment where the unmanned aerial vehicle is located. The present invention is able to estimate the wind speed of a flight environment where an unmanned aerial vehicle is located, with convergence information provided by the unmanned aerial vehicle only, and is able to realize wind speed calculation and warning function concerning the flight environment of the unmanned aerial vehicle without the need of a wind speed sensor and also without the need to pre-establish a database. Also provided are a wind speed calculation device and an unmanned aerial vehicle.

(57) **摘要:** 一种风速计算方法, 包括获取无人机的融合信息、获取无人机的电机提供的总拉力以及根据融合信息和总拉力计算无人机所处飞行环境的风速。仅通过无人机本身提供的融合信息即可对无人机所处飞行环境的风速进行估计, 不需要风速传感器, 也不需要事先建立数据库就能实现无人机飞行环境的风速计算及报警功能。以及一种风速计算装置和无人机。

AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 欧洲 (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)。

**根据细则4.17的声明：**

- 关于申请人有权申请并被授予专利(细则4.17(ii))
- 发明人资格(细则4.17(iv))

**本国际公布：**

- 包括国际检索报告(条约第21条(3))。

## 风速计算方法、装置、无人机和无人机组件

### 技术领域

本发明涉及无人机技术领域，特别是涉及一种风力计算方法、装置、无人  
5 机和无人机组件。

### 背景技术

无人机在飞行过程中，会受到风干扰。当风速较小时，控制系统自身的鲁  
棒性能够抵抗风干扰，保证无人机的平稳飞行。但是，当风速超过无人机能够  
10 承受的能力时，控制系统的稳定性便难以保证，此时有可能导致无人机无法返  
航，甚至出现炸机。特别是对于航拍无人机来说，在风速较大时，航拍的质量  
很可能会受到严重的影响。因此，风速测量、估计和报警等功能对无人机的平  
稳飞行和高质量航拍非常重要。此外，如果无人机能够根据其飞行环境，实时  
地进行风速测量、估计和报警，飞手或用户在操作无人机时，会更加谨慎，以  
15 便及时采取应急方案。

现有的无人机实现风速估计和报警功能主要有两种方式，一种是事先建立  
数据库，利用事先建立的数据库，基于大数据进行风速估计。另一种是采用风  
速传感器和/或风向传感器进行风速或风向估计。对于第一种方式来说，风速估  
计需要庞大的数据库作为支撑，而这样的数据库建立实属不易，且要求无人机  
20 具有较大的存储容量和内存。对于第二种方式来说，在无人机上设置风速传感  
器和/或风向传感器无疑会增加无人机的成本，且占用无人机的空间，不利于无  
人机的小型化。

### 发明内容

25 基于此，有必要针对现有技术中的上述问题，提供一种成本低廉、不需要  
额外的传感器、不需要建立庞大的数据库即可实现风速估计的风力计算方法、  
装置和无人机。

为解决上述问题，本发明提供了一种风速计算方法，用于无人机，该方法

包括：

获取所述无人机的融合信息，其中，所述融合信息包括所述无人机的位置信息、速度信息、姿态角信息和加速度信息；

获取所述无人机的电机提供的总拉力；

5 根据所述融合信息和所述总拉力计算所述无人机所处飞行环境的风速。

在本发明的一实施例中，该方法还包括利用最优估计算法对所述无人机的传感器获取的测量信息进行处理，以得到所述融合信息。

在本发明的一实施例中，所述测量信息包括：

10 通过所述无人机的 GPS (Global Positioning System) 获取的所述无人机的位置信息和速度信息。

在本发明的一实施例中，所述测量信息还包括通过所述无人机的视觉系统获取的所述无人机的位置信息和速度信息。

在本发明的一实施例中，所述测量信息还包括通过所述无人机的 IMU (Inertial measurement unit) 获取的所述无人机的加速度信息和姿态角信息。

15 在本发明的一实施例中，所述获取所述无人机的电机提供的总拉力，包括：

根据所述无人机的电机拉力控制指令，获取所述无人机的电机提供的总拉力。

在本发明的一实施例中，所述根据所述融合信息和所述总拉力计算所述无人机所处飞行环境的风速，包括：

20 根据所述融合信息和所述总拉力，利用牛顿第二定律和流体力学，计算所述无人机所处飞行环境的风速。

在本发明的一实施例中，所述根据所述融合信息和所述总拉力计算所述无人机所处飞行环境的风速，包括：

根据所述融合信息和所述总拉力，计算所述无人机受到的风力；

25 根据所述风力，计算气流速度；

根据所述气流速度，计算所述无人机所处飞行环境的风速。

在本发明的一实施例中，所述根据所述融合信息和所述总拉力，计算所述无人机受到的风力，包括：

30 利用以下表达式计算所述无人机在 $x_g$ 方向、 $y_g$ 方向和 $z_g$ 方向上受到的风力 $F_{ax}$ 、 $F_{ay}$ 和 $F_{az}$ ：

$$ma_x + mg \sin(-\theta) + F_{az} \sin(-\theta) - F_{ax} \cos(-\theta) = 0;$$

$$ma_y + mg \sin \varnothing + F_{az} \sin \varnothing - F_{ay} \cos \varnothing = 0;$$

$$ma_z \cos \theta \cos \varnothing - T \cos \theta \cos \varnothing + mg + F_{az} + ma_x \sin(-\theta) + ma_y \sin \varnothing = 0;$$

其中,  $ma_x$ 、 $ma_y$ 和 $ma_z$ 分别为所述无人机所受外力在  $x$  方向、 $y$  方向和  $z$  方向上的分量,  $a_x$ 、 $a_y$ 和 $a_z$ 为所述融合信息中的所述加速度信息,  $mg$ 为所述无人机的重力,  $T$ 为所述总拉力,  $\theta$ 为所述无人机的俯仰角,  $\varnothing$ 为所述无人机的横滚角, 所述俯仰角 $\theta$ 和所述横滚角 $\varnothing$ 为所述融合信息中的所述姿态角信息。

在本发明的一实施例中, 所述根据所述风力, 计算所述气流速度, 包括:

计算所述无人机在 $x_g$ 方向、 $y_g$ 方向和 $z_g$ 方向上的迎风面积 $S_i$ ;

利用以下表达式计算 $x_g$ 方向、 $y_g$ 方向和 $z_g$ 方向上的气流速度 $V_{ai}$ :

$$F_{ai} = 0.5 C_{di} \rho V_{ai}^2 S_i$$

$$i = x_g, y_g \text{ 或 } z_g$$

其中,  $C_{di}$ 为阻力系数,  $\rho$ 为空气密度。

在本发明的一实施例中, 所述无人机在 $x_g$ 方向上的迎风面积包括所述无人机在 $x_g$ 方向的正方向上的迎风面积和所述无人机在 $x_g$ 方向的负方向上的迎风面积,

所述在 $x_g$ 方向的正方向上的迎风面积 $S_f$ 为:

$$S_f = S_{f0} (1 + f_f(\theta, \varnothing)),$$

所述在 $x_g$ 方向的负方向上的迎风面积 $S_b$ 为:

$$S_b = S_{b0} (1 + f_b(\theta, \varnothing));$$

其中,  $f_f(\theta, \varnothing)$ 为在 $x_g$ 方向的正方向上, 与所述无人机的俯仰角 $\theta$ 和横滚角 $\varnothing$ 有关的非线性函数,  $S_{f0}$ 为当 $\theta = 0$ 且 $\varnothing = 0$ 时, 所述无人机在 $x_g$ 方向的正方向上的迎风面积;  $f_b(\theta, \varnothing)$ 为在 $x_g$ 方向的负方向上, 与所述无人机的俯仰角 $\theta$ 和横滚角 $\varnothing$ 有关的非线性函数,  $S_{b0}$ 为当 $\theta = 0$ 且 $\varnothing = 0$ 时, 所述无人机在 $x_g$ 方向的负方向上的迎风面积。

在本发明的一实施例中,

所述无人机在 $y_g$ 方向上的迎风面积 $S_{rl}$ 为:

$$S_{rl} = S_{rl0} (1 + f_{rl}(\theta, \varnothing)),$$

所述无人机在 $z_g$ 方向上的迎风面积 $S_{ud}$ 为:

$$S_{ud} = S_{ud0} (1 + f_{ud}(\theta, \varnothing));$$

其中,  $f_{rl}(\theta, \varnothing)$ 为在 $y_g$ 方向上, 与所述无人机的俯仰角 $\theta$ 和横滚角 $\varnothing$ 有关的非线性函数,  $S_{rl0}$ 为当 $\theta = 0$ 且 $\varnothing = 0$ 时, 所述无人机在 $y_g$ 方向上的迎风面积;

$f_{ud}(\theta, \phi)$ 为在 $z_g$ 方向上, 与所述无人机的俯仰角 $\theta$ 和横滚角 $\phi$ 有关的非线性函数,  
 $S_{ud0}$ 为当 $\theta = 0$ 且 $\phi = 0$ 时, 所述无人机在 $z_g$ 方向上的迎风面积。

在本发明的一实施例中, 所述根据所述气流速度, 计算所述无人机所处飞行环境的风速, 包括:

5 利用以下表达式计算所述无人机所处飞行环境的风速 $V_{wi}$ :

$$V_{wi} = V_{ai} - V_i,$$

$$i = x_g, y_g \text{ 或 } z_g$$

其中,  $V_{ai}$  为 $x_g$ 方向、 $y_g$ 方向或 $z_g$ 方向的气流速度,  $V_i$ 为所述融合信息中的速度信息。

在本发明的一实施例中, 该方法还包括:

10 根据所述无人机所处飞行环境的所述风速, 获取所述无人机所处飞行环境的风向角度。

在本发明的一实施例中, 所述根据所述无人机所处飞行环境的所述风速, 获取所述无人机所处飞行环境的所述风向角度, 包括:

利用以下表达式计算所述无人机所处飞行环境的所述风向角度 $\beta$ :

$$\beta = \arctan2(-V_{wN}, -V_{wE})$$

$$V_{wN} = V_{wx_g} \cos \varphi - V_{wy_g} \sin \varphi$$

$$V_{wE} = V_{wx_g} \sin \varphi + V_{wy_g} \cos \varphi$$

15 其中,  $V_{wN}$ 为所述风速在北方的分量,  $V_{wE}$ 为所述风速在东方的分量,  $\varphi$ 为所述无人机的偏航角, 所述无人机的偏航角 $\varphi$ 为所述融合信息中的姿态角信息,  $V_{wx_g}$ 为所述风速在 $x_g$ 方向上的分量,  $V_{wy_g}$ 为所述风速在 $y_g$ 方向上的分量。

在本发明的一实施例中, 该方法还包括:

根据所述无人机所处飞行环境的所述风速, 向控制终端发送报警信号。

20 在本发明的一实施例中, 该方法还包括:

当所述无人机所处飞行环境的所述风速超过风速阈值时, 控制所述无人机悬停、返航或选择安全地点降落。

为解决其技术问题, 本发明还提出了一种风速计算装置, 该装置包括:

25 获取模块, 用于获取所述无人机的融合信息, 其中, 所述融合信息包括所述无人机的位置信息、速度信息、姿态角信息和加速度信息; 以及

用于获取所述无人机的电机提供的总拉力；

风速计算模块，用于根据所述融合信息和所述总拉力计算所述无人机所处飞行环境的风速。

在本发明的一实施例中，所述获取模块具体用于利用最优估计算法对所述无人机的传感器获取的测量信息进行处理，以得到所述融合信息。

在本发明的一实施例中，所述测量信息包括：

通过所述无人机的 GPS (Global Positioning System) 获取的所述无人机的位置信息和速度信息。

在本发明的一实施例中，所述测量信息包括通过所述无人机的视觉系统获取的所述无人机的位置信息和速度信息。

在本发明的一实施例中，所述测量信息还包括通过所述无人机的 IMU (Inertial measurement unit) 获取的所述无人机的加速度信息和姿态角信息。

在本发明的一实施例中，该装置还包括去噪模块，所述去噪模块用于利用最优估计算法对所述融合信息进行处理，以去除所述融合信息中的噪声。

在本发明的一实施例中，所述获取模块还用于：

根据所述无人机的电机拉力控制指令，获取所述无人机的电机提供的总拉力。

在本发明的一实施例中，所述风速计算模块具体用于：

根据所述融合信息和所述总拉力，利用牛顿第二定律和流体力学，测算所述无人机所处飞行环境的风速。

在本发明的一实施例中，所述风速计算模块具体用于：

根据所述融合信息和所述总拉力，计算所述无人机受到的风力；

根据所述风力，计算气流速度；

根据所述气流速度，计算所述无人机所处飞行环境的风速。

在本发明的一实施例中，所述风速计算模块利用以下表达式计算所述无人机在  $x_g$  方向、 $y_g$  方向或  $z_g$  方向上受到的风力  $F_{ax}$ 、 $F_{ay}$  和  $F_{az}$ ：

$$ma_x + mg \sin(-\theta) + F_{az} \sin(-\theta) - F_{ax} \cos(-\theta) = 0;$$

$$ma_y + mg \sin \varnothing + F_{az} \sin \varnothing - F_{ay} \cos \varnothing = 0;$$

$$ma_z \cos \theta \cos \varnothing - T \cos \theta \cos \varnothing + mg + F_{az} + ma_x \sin(-\theta) + ma_y \sin \varnothing = 0 ;$$

其中， $ma_x$ 、 $ma_y$  和  $ma_z$  分别为所述无人机所受外力在 x 方向、y 方向和 z 方向上的分量， $a_x$ 、 $a_y$  和  $a_z$  为所述融合信息中的所述加速度信息， $mg$  为所述无

无人机的重力,  $T$ 为所述总拉力,  $\theta$ 为所述无人机的俯仰角,  $\phi$ 为所述无人机的横滚角, 所述俯仰角 $\theta$ 和所述横滚角 $\phi$ 为所述融合信息中的所述姿态角信息。

在本发明的一实施例中, 所述风速计算模块用于:

计算所述无人机在 $x_g$ 方向、 $y_g$ 方向和 $z_g$ 方向上的迎风面积 $S_i$ ;

5 利用以下表达式计算 $x_g$ 方向、 $y_g$ 方向和 $z_g$ 方向上的气流速度 $V_{ai}$ :

$$F_{ai} = 0.5 C_{di} \rho V_{ai}^2 S_i$$

$$i = x_g, y_g \text{ 或 } z_g$$

其中,  $C_{di}$ 为阻力系数,  $\rho$ 为空气密度。

在本发明的一实施例中, 所述无人机在 $x_g$ 方向上的迎风面积包括所述无人机在 $x_g$ 方向的正方向上的迎风面积和所述无人机在 $x_g$ 方向的负方向上的迎风面积,

10 所述在 $x_g$ 方向的正方向上的迎风面积 $S_f$ 为:

$$S_f = S_{f0} (1 + f_f(\theta, \phi)),$$

所述在 $x_g$ 方向的负方向上的迎风面积 $S_b$ 为:

$$S_b = S_{b0} (1 + f_b(\theta, \phi));$$

15 其中,  $f_f(\theta, \phi)$ 为在 $x_g$ 方向的正方向上, 与所述无人机的俯仰角 $\theta$ 和横滚角 $\phi$ 有关的非线性函数,  $S_{f0}$ 为当 $\theta = 0$ 且 $\phi = 0$ 时, 所述无人机在 $x_g$ 方向的正方向上的迎风面积;  $f_b(\theta, \phi)$ 为在 $x_g$ 方向的负方向上, 与所述无人机的俯仰角 $\theta$ 和横滚角 $\phi$ 有关的非线性函数,  $S_{b0}$ 为当 $\theta = 0$ 且 $\phi = 0$ 时, 所述无人机在 $x_g$ 方向的负方向上的迎风面积。

在本发明的一实施例中,

20 所述无人机在 $y_g$ 方向上的迎风面积 $S_{rl}$ 为:

$$S_{rl} = S_{rl0} (1 + f_{rl}(\theta, \phi)),$$

所述无人机在 $z_g$ 方向上的迎风面积 $S_{ud}$ 为:

$$S_{ud} = S_{ud0} (1 + f_{ud}(\theta, \phi));$$

25 其中,  $f_{rl}(\theta, \phi)$ 为在 $y_g$ 方向上, 与所述无人机的俯仰角 $\theta$ 和横滚角 $\phi$ 有关的非线性函数,  $S_{rl0}$ 为当 $\theta = 0$ 且 $\phi = 0$ 时, 所述无人机在 $y_g$ 方向上的迎风面积;  $f_{ud}(\theta, \phi)$ 为在 $z_g$ 方向上, 与所述无人机的俯仰角 $\theta$ 和横滚角 $\phi$ 有关的非线性函数,  $S_{ud0}$ 为当 $\theta = 0$ 且 $\phi = 0$ 时, 所述无人机在 $z_g$ 方向上的迎风面积。

在本发明的一实施例中, 所述风速计算模块利用以下表达式计算所述无人机所处飞行环境的风速 $V_{wi}$ :

$$V_{wi} = V_{ai} - V_i ,$$

$$i = x_g, y_g \text{ 或 } z_g$$

其中,  $V_{ai}$  为  $x_g$  方向、 $y_g$  方向或  $z_g$  方向的气流速度,  $V_i$  为所述融合信息中的速度信息。

在本发明的一实施例中, 该装置还包括风向角度获取模块, 所述风向角度获取模块用于根据所述无人机所处飞行环境的所述风速, 获取所述无人机所处飞行环境的风向角度。

在本发明的一实施例中, 所述风向角度获取模块利用以下表达式计算所述无人机所处飞行环境的所述风向角度:

$$\beta = \arctan2(-V_{wN}, -V_{wE})$$

$$V_{wN} = V_{wx_g} \cos \varphi - V_{wy_g} \sin \varphi$$

$$V_{wE} = V_{wx_g} \sin \varphi + V_{wy_g} \cos \varphi$$

其中,  $V_{wN}$  为所述风速在北方的分量,  $V_{wE}$  为所述风速在东方的分量,  $\varphi$  为所述无人机的偏航角, 所述无人机的偏航角  $\varphi$  为所述融合信息中的姿态角信息,  $V_{wx_g}$  为所述风速在  $x_g$  方向上的分量,  $V_{wy_g}$  为所述风速在  $y_g$  方向上的分量。

在本发明的一实施例中, 该装置还包括报警信息发送模块, 所述报警信息发送模块用于根据所述无人机所处飞行环境的所述风速, 向控制终端发送报警信号。

在本发明的一实施例中, 该装置还包括控制模块, 所述控制模块用于当所述无人机所处飞行环境的所述风速超过风速阈值时, 控制所述无人机悬停、返航或选择安全地点降落。

为解决其技术问题, 本发明提供了一种无人机, 包括:

- 机身;
- 机臂, 与所述机身相连;
- 动力装置, 与所述机臂相连;
- GPS (Global Positioning System), 设于所述机身内侧或者外表面;
- IMU (Inertial measurement unit), 设于所述机身; 以及
- 飞控系统, 与所述机身相连;
- 所述 GPS 和所述 IMU 与所述飞控系统通信连接;

所述飞控系统用于：

获取所述无人机的融合信息，其中，所述融合信息包括所述无人机的位置信息、速度信息、姿态角信息和加速度信息；

获取所述无人机的电机提供的总拉力；

5 根据所述融合信息和所述总拉力计算所述无人机所处飞行环境的风速。

在本发明的一实施例中，所述无人机还包括设于所述机身的视觉系统，所述飞控系统具体用于利用最优估计算法对所述无人机的传感器获取的测量信息进行处理，以得到所述融合信息。

在本发明的一实施例中，所述测量信息还包括：

10 通过所述 GPS 获取的所述无人机的位置信息和速度信息。

在本发明的一实施例中，所述测量信息还包括通过所述 IMU 获取的所述无人机的加速度信息和姿态角信息。

在本发明的一实施例中，所述飞控系统具体用于：

15 根据所述无人机的电机拉力控制指令，获取所述无人机的电机提供的总拉力。

在本发明的一实施例中，所述飞控系统具体用于：

根据所述融合信息和所述总拉力，利用牛顿第二定律和流体力学，计算所述无人机所处飞行环境的风速。

在本发明的一实施例中，所述飞控系统具体用于：

20 根据所述融合信息和所述总拉力，计算所述无人机受到的风力；

根据所述风力，计算气流速度；

根据所述气流速度，计算所述无人机所处飞行环境的风速。

在本发明的一实施例中，所述飞控系统具体用于：

25 利用以下表达式计算所述无人机在 $x_g$ 方向、 $y_g$ 方向和 $z_g$ 方向上受到的风力 $F_{ax}$ 、 $F_{ay}$ 和 $F_{az}$ ：

$$ma_x + mg \sin(-\theta) + F_{az} \sin(-\theta) - F_{ax} \cos(-\theta) = 0;$$

$$ma_y + mg \sin \varnothing + F_{az} \sin \varnothing - F_{ay} \cos \varnothing = 0;$$

$$ma_z \cos \theta \cos \varnothing - T \cos \theta \cos \varnothing + mg + F_{az} + ma_x \sin(-\theta) + ma_y \sin \varnothing = 0 ;$$

30 其中， $ma_x$ 、 $ma_y$ 和 $ma_z$ 分别为所述无人机所受外力在 x 方向、y 方向和 z 方向上的分量， $a_x$ 、 $a_y$ 和 $a_z$ 为所述融合信息中的所述加速度信息， $mg$ 为所述无人机的重力， $T$ 为所述总拉力， $\theta$ 为所述无人机的俯仰角， $\varnothing$ 为所述无人机的横滚

角, 所述俯仰角 $\theta$ 和所述横滚角 $\phi$ 为所述融合信息中的所述姿态角信息。

在本发明的一实施例中, 所述飞控系统具体用于:

计算所述无人机在 $x_g$ 方向、 $y_g$ 方向和 $z_g$ 方向上的迎风面积 $S_i$ ;

利用以下表达式计算 $x_g$ 方向、 $y_g$ 方向和 $z_g$ 方向上的气流速度 $V_{ai}$ :

$$F_{ai} = 0.5 C_{di} \rho V_{ai}^2 S_i$$

$$i = x_g, y_g \text{ 或 } z_g$$

5 其中,  $C_{di}$ 为阻力系数,  $\rho$ 为空气密度。

在本发明的一实施例中, 所述无人机在 $x_g$ 方向上的迎风面积包括所述无人机在 $x_g$ 方向的正方向上的迎风面积和所述无人机在 $x_g$ 方向的负方向上的迎风面积,

所述无人机在 $x_g$ 方向的正方向上的迎风面积 $S_f$ 为:

$$10 \quad S_f = S_{f0} (1 + f_f(\theta, \phi)),$$

所述无人机在 $x_g$ 方向的负方向上的迎风面积 $S_b$ 为:

$$S_b = S_{b0} (1 + f_b(\theta, \phi));$$

15 其中,  $f_f(\theta, \phi)$ 为在 $x_g$ 方向的正方向上, 与所述无人机的俯仰角 $\theta$ 和横滚角 $\phi$ 有关的非线性函数,  $S_{f0}$ 为当 $\theta = 0$ 且 $\phi = 0$ 时, 所述无人机在 $x_g$ 方向的正方向上的迎风面积;  $f_b(\theta, \phi)$ 为在 $x_g$ 方向的负方向上, 与所述无人机的俯仰角 $\theta$ 和横滚角 $\phi$ 有关的非线性函数,  $S_{b0}$ 为当 $\theta = 0$ 且 $\phi = 0$ 时, 所述无人机在 $x_g$ 方向的负方向上的迎风面积。

在本发明的一实施例中, 所述无人机在 $y_g$ 方向上的迎风面积 $S_{rl}$ 为:

$$S_{rl} = S_{rl0} (1 + f_{rl}(\theta, \phi)),$$

20 所述无人机在 $z_g$ 方向上的迎风面积 $S_{ud}$ 为:

$$S_{ud} = S_{ud0} (1 + f_{ud}(\theta, \phi));$$

25 其中,  $f_{rl}(\theta, \phi)$ 为在 $y_g$ 方向上, 与所述无人机的俯仰角 $\theta$ 和横滚角 $\phi$ 有关的非线性函数,  $S_{rl0}$ 为当 $\theta = 0$ 且 $\phi = 0$ 时, 所述无人机在 $y_g$ 方向上的迎风面积;  $f_{ud}(\theta, \phi)$ 为在 $z_g$ 方向上, 与所述无人机的俯仰角 $\theta$ 和横滚角 $\phi$ 有关的非线性函数,  $S_{ud0}$ 为当 $\theta = 0$ 且 $\phi = 0$ 时, 所述无人机在 $z_g$ 方向上的迎风面积。

在本发明的一实施例中, 所述飞控系统具体用于:

利用以下表达式计算所述无人机所处飞行环境的风速 $V_{wi}$ :

$$V_{wi} = V_{ai} - V_i,$$

$$i = x_g, y_g \text{ 或 } z_g$$

其中,  $V_{ai}$  为  $x_g$  方向、 $y_g$  方向或  $z_g$  方向的气流速度,  $V_i$  为所述融合信息中的速度信息。

在本发明的一实施例中, 所述飞控系统具体用于:

5 根据所述无人机所处飞行环境的所述风速, 获取所述无人机所处飞行环境的风向角度。

在本发明的一实施例中, 所述飞控系统具体用于:

利用以下表达式计算所述无人机所处飞行环境的所述风向角度  $\beta$ :

$$\beta = \arctan2(-V_{wN}, -V_{wE})$$

$$V_{wN} = V_{wx_g} \cos \varphi - V_{wy_g} \sin \varphi$$

$$V_{wE} = V_{wx_g} \sin \varphi + V_{wy_g} \cos \varphi$$

其中,  $V_{wN}$  为所述风速在北方的分量,  $V_{wE}$  为所述风速在东方的分量,  $\varphi$  为所述无人机的偏航角, 所述无人机的偏航角  $\varphi$  为所述融合信息中的姿态角信息,

10  $V_{wx_g}$  为所述风速在  $x_g$  方向上的分量,  $V_{wy_g}$  为所述风速在  $y_g$  方向上的分量。

在本发明的一实施例中, 所述飞控系统具体用于:

根据所述无人机所处飞行环境的所述风速, 向控制终端发送报警信号。

在本发明的一实施例中, 所述飞控系统还用于:

15 当所述无人机所处飞行环境的所述风速超过风速阈值时, 控制所述无人机悬停、返航或选择安全地点降落。

为解决其技术问题, 本发明还提出了一种无人机组件, 包括无人机和与无人机通信连接的控制终端, 所述无人机为上述所述的无人机,

所述控制终端包括:

20 壳体;

显示屏, 与所述壳体相连; 以及

接收装置, 与所述壳体相连;

其中, 所述接收装置用于接收所述无人机的飞控系统发送的所述无人机所处飞行环境的风速信息和报警信息, 所述显示屏用于显示所述风速信息和所述报警信息。

25 本发明仅通过无人机本身提供的融合信息即可对无人机所处飞行环境的风

速进行实时估计，不需要任何风速传感器，也不需要事先建立庞大的数据库，就能实现无人机飞行环境的风速计算及报警功能，成本低廉，不占用无人机本身的内存。此外，由于能够对无人机所处飞行环境的风速进行实时计算和报警，能够辅助用户或飞手进行环境判断，降低由于风速过大导致无人机失控甚至炸机的风险。

## 附图说明

图 1 为本发明一种无人机其中一实施例的结构示意图；

图 2 为图 1 所示的无人机的飞控系统建立  $x$  方向的力的平衡方程的示意图；

图 3 为图 1 所示的无人机的飞控系统建立  $y$  方向的力的平衡方程的示意图；

图 4 为图 1 所示的无人机的飞控系统建立  $z_g$  方向的力的平衡方程的示意图；

图 5 为图 1 所示的无人机的飞控系统发送报警信号给控制终端，并在控制终端上显示的示意图；

图 6 为本发明一种风速计算方法其中一实施例的流程图；

图 7 为图 6 所示方法中步骤 S12 的流程图；

图 8 为本发明一种风速计算方法另一实施例的流程图；

图 9 为本发明一种风速计算装置其中一实施例的结构框图。

## 具体实施方式

为了使本发明的目的、技术方案及优点更加清楚明白，以下结合附图及实施例，对本发明进行进一步详细说明。应当理解，此处所描述的具体实施例仅仅用以解释本发明，并不用于限定本发明。

本发明提出的一种风速计算方法、装置和无人机，可对无人机所处飞行环境的风速进行实时地估计，不需要任何风速传感器及数据库，实现了无人机飞行环境的风速估计和报警的低成本化。

如图 1 所示，本发明提出的一种无人机 20 包括机身 21、与机身 21 相连的机臂 22、设置在机臂 22 一端的动力装置 23、与机身 21 相连的影像设备 24、与机身 21 相连的视觉系统以及设置在机身 21 内的飞控系统、IMU 和 GPS。其中，

IMU 和 GPS 与飞控系统通信连接。

在本实施例中，机臂 22 的数量为 4，即该无人机 20 为四旋翼飞行器，在其他可能的实施例中，机臂 22 的数量也可以为 3、6、8、10 等。无人机 20 还可以是其他需要对其所处飞行环境进行风速估计或报警的可移动物体，例如行业  
5 无人机、载人飞行器、航模、无人飞艇、固定翼无人机和无人热气球等。机臂 22 可与所述机身 21 固定连接、一体成型或可相对于所述机身 21 折叠。

动力装置 23 包括设置在机臂 22 一端的电机 222 以及与电机 222 的转轴相连的螺旋桨 221。电机 222 的转轴转动以带动螺旋桨 221 旋转从而给无人机 20 提供飞行所需的拉升力。

10 在本发明的一实施例中，无人机 20 还可以包括云台，云台用于减轻甚至消除动力装置 23 传递给影像设备 24 的振动，以保证影像设备 24 能够拍摄出稳定清晰的图像或视频。

影像设备 24 可以为激光传感器、RGBD 深度相机或者摄像机等。影像设备 24 可以直接搭载在无人机 20 上，也可以通过云台搭载在无人机 20 上，云台允  
15 许影像设备 24 相对于无人机 20 绕至少一个轴转动。

视觉系统可以包括双目和/或单目摄像头以及视觉芯片。视觉芯片设于所述机身内部，与飞控系统通信连接。双目和/或单目摄像头可以设置在机身的前部、下部和后部中的任意一个或两个位置，也可以设置在任何其他合适的位置。

飞控系统（图未示出）用于稳定无人机 20 的飞行姿态并控制无人机 20 自主或半自主飞行。飞控系统可以实时采集无人机各传感器测量的飞行状态数据、接收控制终端发来的控制指令及数据，并将该控制指令和数据输出给执行机构（例如动力装置）以实现  
20 对无人机飞行姿态或执行任务的控制。在本发明的实施例中，飞控系统可以包括飞控芯片和与飞控芯片通信连接的处理器等其他必要的单元。飞控系统可以设置在无人机 20 的机身 21 内部，也可以设置在机身 25 21 的外表面或任何其他可能的位置。

惯性测量单元（IMU）（图未示出）是用于测量无人机三轴姿态角以及加速度的装置。IMU 可以包括三轴陀螺仪和三个方向的加速度计，以此来测量无人机在三维空间中的姿态角信息和加速度信息。IMU 可以设置在无人机 20 的机身

21 的内部,例如,可以设置在无人机 20 的重心位置,也可以设置在其他合适的位置。

全球定位系统 (GPS) (图未示出) 用于测量无人机在三维空间中的位置信息和速度信息。GPS 可以设置在无人机 20 的机身 21 上,也可以设置在机臂 22 上。在某些实施例中,机身 21 还可以包括起落架 25, GPS 也可以设置在起落架 25 上,以远离其他电子设备的干扰。

本发明实施例中的无人机 20 在飞行过程中,可以对其所处飞行环境的风速进行实时计算。具体来说,可以通过飞控系统获取无人机 20 的融合信息和所述无人机 20 的电机 222 提供的总拉力 (总拉升力),然后根据所述融合信息和所述总拉力计算无人机 20 所处飞行环境的风速。融合信息是无人机 20 在飞行过程中产生的反应自身飞行状况的数据,因此风速的计算并不需要风速/风向传感器,也不需要依赖事先建立的数据库。

在本发明的实施例中,融合信息包括无人机 20 的位置信息、速度信息、姿态角信息和加速度信息。在本发明的一实施例中,融合信息由飞控该系统利用最优估计算法对无人机 20 的传感器获取的测量信息进行处理得到。测量信息包括通过 GPS 和/或视觉系统获取的位置信息和速度信息,通过 IMU 获取的加速度信息和姿态角信息。融合信息是飞控系统必要的信息,融合信息的准确性直接影响飞控系统的控制品质。因此,在其他可能的实施例中,飞控系统利用最优估计算法对测量信息进行处理,以去除测量信息中的噪声和不确定性,从而使得获取的位置信息、速度信息、姿态角信息和加速度信息更加接近飞行实际。最优估计算法是本领域技术人员熟知的一种算法,例如,卡尔曼滤波 (含 KF、EKF、UKF 等)、粒子滤波、互补滤波、最小二乘估计、最小方差估计、最大似然估计、贝叶斯估计、最大验后估计等,在此不再赘述。

在本发明的实施例中,无人机 20 的电机提供的总拉力是指无人机所有电机提供的拉力之和。在本发明的实施例中,无人机 20 为四旋翼无人机,即有 4 个电机 222,则总拉力是指 4 个电机 222 提供的拉力之和。又例如,无人机有  $n$  个电机,则总拉力  $T = F_1 + F_2 + F_3 + \dots + F_n$ 。 $F_1$ 、 $F_2$ 、 $F_3$ 、... $F_n$  分别为  $n$  个电机提供的拉力。在本发明的实施例中,飞控系统可以通过其输出的电机拉力控

制指令获取无人机 20 的电机 222 提供的总拉力。具体来说，飞控系统可以通过其输出的电机拉力控制指令，并根据建立的电机拉力模型计算出电机提供的总拉力的近似值。电机拉力模型包含了电机的动力学特性，这种特性可以通过实验测得。

5 在本发明的实施例中，飞控系统首先根据融合信息和总拉力，计算无人机 20 受到的风力。

如图 2 所示，图 2 中的方框代表无人机 20 的机身 21，由于无人机 20 在各方向上受到的力满足牛顿第二定律，因此根据图 2 可以得出无人机 20 在 x 方向上的力的平衡方程：

$$ma_x + mg \sin(-\theta) + F_{az} \sin(-\theta) - F_{ax} \cos(-\theta) = 0$$

10 其中， $ma_x$  为所述无人机所受外力在 x 方向的分量， $mg$  为所述无人机的重力， $\theta$  为所述无人机的俯仰角。

根据图 3 可以得出无人机在 y 方向上的力的平衡方程：

$$ma_y + mg \sin \varnothing + F_{az} \sin \varnothing - F_{ay} \cos \varnothing = 0$$

其中， $ma_y$  为所述无人机所受外力在 y 方向上的分量， $\varnothing$  为所述无人机的横滚角。

15 根据图 4 可以得出无人机在  $z_g$  方向上的力的平衡方程：

$$ma_z \cos \theta \cos \varnothing - T \cos \theta \cos \varnothing + mg + F_{az} + ma_x \sin(-\theta) + ma_y \sin \varnothing = 0$$

其中， $T$  为无人机 20 的电机 222 提供的总拉力。

在以上三个力的平衡方程中， $a_x$ 、 $a_y$  和  $a_z$  为融合信息中的加速度信息，俯仰角  $\theta$  和横滚角  $\varnothing$  为融合信息中的姿态角信息。值得注意的是，本实施例中水平方向的力平衡方程是建立在无人机的机体坐标系下的，而垂直方向的力平衡方程是建立在地面坐标系下，也就是说，本实施例中，是将水平力投影到机体坐标系下的 x 轴和 y 轴，垂直力投影至  $z_g$  轴。这样能够简化计算。其中，x 轴的正方向为由机身 21 的机尾指向机头的方向。在其他可能的实施例中，也可以将各个力投影到任意坐标系下，计算结果相同。

25 根据以上三个力的平衡方程，可以求解得到无人机 20 所受风力在  $x_g$  方向、 $y_g$  方向和  $z_g$  方向上的分量  $F_{ax}$ 、 $F_{ay}$  和  $F_{az}$ 。

飞控系统根据上述三个力的平衡方程求解得到无人机 20 所受风力在  $x_g$  方向、 $y_g$  方向和  $z_g$  方向上的三个分量后, 可根据该三个分量, 求得  $x_g$  方向、 $y_g$  方向和  $z_g$  方向上的气流速度 (地面坐标系下, 气流沿无人机机身的流动速度, 以下简称气流速度)。

5 具体可根据风力与气流速度的关系求得:

$$F_{ai} = 0.5 C_{di} \rho V_{ai}^2 S_i$$

$$i = x_g, y_g \text{ 或 } z_g$$

其中,  $C_{di}$  为阻力系数,  $\rho$  为空气密度,  $S_i$  为无人机 20 在  $x_g$  方向、 $y_g$  方向和  $z_g$  方向上的迎风面积。阻力系数  $C_{di}$  可以通过室内飞行估算或小型风洞试验等方式测定。空气密度  $\rho$  可以根据飞行海拔高度来近似计算产生。迎风面积  $S_i$  为与姿态角有关的非线性函数。

10 在本发明的一实施例中, 当机身 21 的机头和机尾的形状或外轮廓大小不一致时, 无人机 20 在  $x_g$  方向上的迎风面积还可以包括无人机 20 在  $x_g$  方向的正方向上的迎风面积  $S_f$  和无人机 20 在  $x$  方向的负方向上的迎风面积  $S_b$ :

$$S_f = S_{f0} (1 + f_f(\theta, \phi))$$

$$S_b = S_{b0} (1 + f_b(\theta, \phi))$$

其中,  $f_f(\theta, \phi)$  为在  $x_g$  方向的正方向上, 与所述无人机的俯仰角  $\theta$  和横滚角  $\phi$  有关的非线性函数,  $S_{f0}$  为当  $\theta = 0$  且  $\phi = 0$  时, 所述无人机在  $x_g$  方向的正方向上的迎风面积;  $f_b(\theta, \phi)$  为在  $x_g$  方向的负方向上, 与所述无人机的俯仰角  $\theta$  和横滚角  $\phi$  有关的非线性函数,  $S_{b0}$  为当  $\theta = 0$  且  $\phi = 0$  时, 所述无人机在  $x_g$  方向的负方向上的迎风面积。其中, 非线性函数  $f_f(\theta, \phi)$  与  $f_b(\theta, \phi)$  可根据实验数据拟合得到, 其选取与无人机的外形有关, 不同的无人机, 选择的非线性函数可以相同, 也可以不同。对于同一种无人机, 也可以选择不同的非线性函数, 这里给出一种  
20 非线性函数的选取范例:

$$f_f(\theta, \phi) = S_{f0} (1 + a_f \sin^2 |\theta| + b_f \sin^2 |\phi|)$$

其中,  $a_f$  和  $b_f$  为通过拟合得到的非线性参数。

可以理解的是, 无人机 20 在  $x_g$  方向上的迎风面积与无人机 20 本身的形状有关, 当无人机 20 的机头和机尾形状或外轮廓大小一样时, 则无人机 20 在  $x_g$  方

向的正方向上和在 $x_g$ 方向的负方向上的迎风面积相等。由于在本发明的实施例中，无人机 20 的左右两侧即上下两侧的形状相近，因此无人机 20 在 $y_g$ 方向的正、负方向，以及在 $z_g$ 方向的正、负方向上的迎风面积相等。

在本发明的一实施例中，由于无人机 20 的左右侧和上下侧形状相同，因此，  
5 无人机 20 在 $y_g$ 方向上的迎风面积 $S_{rl}$ 为：

$$S_{rl} = S_{rl0}(1 + f_{rl}(\theta, \phi)),$$

所述无人机在 $z_g$ 方向上的迎风面积 $S_{ud}$ 为：

$$S_{ud} = S_{ud0}(1 + f_{ud}(\theta, \phi));$$

其中， $f_{rl}(\theta, \phi)$ 为在 $y_g$ 方向上，与所述无人机的俯仰角 $\theta$ 和横滚角 $\phi$ 有关的非线性函数， $S_{rl0}$ 为当 $\theta = 0$ 且 $\phi = 0$ 时，所述无人机在 $y_g$ 方向上的迎风面积；  
10  $f_{ud}(\theta, \phi)$ 为在 $z_g$ 方向上，与所述无人机的俯仰角 $\theta$ 和横滚角 $\phi$ 有关的非线性函数， $S_{ud0}$ 为当 $\theta = 0$ 且 $\phi = 0$ 时，所述无人机在 $z_g$ 方向上的迎风面积。

在求得无人机 20 在 $x_g$ 方向、 $y_g$ 方向和 $z_g$ 方向上的气流速度 $V_{ai}$ 后，飞控系统可进一步根据气流速度、飞机速度和风速之间的关系可以最终计算出风速：

$$15 \quad V_{wi} = V_{ai} - V_i, \\ i = x_g, y_g \text{ 或 } z_g$$

其中， $V_{ai}$ 为 $x_g$ 方向、 $y_g$ 方向和 $z_g$ 方向的气流速度， $V_i$ 为所述无人机 20 在 $x_g$ 方向、 $y_g$ 方向或 $z_g$ 方向上的速度。无人机 20 在各方向上的速度为融合信息中的速度信息。

由此，可计算得到 $x_g$ 方向的风速 $V_{wxg}$ 、 $y_g$ 方向的风速 $V_{wyg}$ 和 $z_g$ 方向的风速  
20  $V_{wzg}$ 。

在本发明的一实施例中，在计算出 $x_g$ 方向的气流速度 $V_{axg}$ 、 $y_g$ 方向的气流速度 $V_{ayg}$ 和 $z_g$ 方向的气流速度 $V_{azg}$ 之后，由于气流速度通常会滞后于无人机 20 的速度，因此还需要将 $x_g$ 方向的气流速度 $V_{axg}$ 、 $y_g$ 方向的气流速度 $V_{ayg}$ 和 $z_g$ 方向的气流速度 $V_{azg}$ 与无人机 20 在 $x_g$ 方向上的速度 $V_x$ 、在 $y_g$ 方向上的速度 $V_y$ 以及在 $z_g$ 方向  
25 上的速度 $V_z$ 对齐，然后再计算各方向的风速。

在本发明的一实施例中，飞控系统还可以根据无人机 20 所处飞行环境的风速，获取无人机 20 所处飞行环境的风向角度。

在求得各方向的风速后,通过坐标变换,将风速转换到“北东地坐标系(NED)”下,计算风向角度 $\beta$ :

$$\beta = \arctan2(-V_{wN}, -V_{wE})$$

$$V_{wN} = V_{wx_g} \cos \varphi - V_{wy_g} \sin \varphi$$

$$V_{wE} = V_{wx_g} \sin \varphi + V_{wy_g} \cos \varphi$$

其中,  $V_{wN}$  为所述风速在北方的分量,  $V_{wE}$  为所述风速在东方的分量,  $\varphi$  为所述无人机的偏航角, 所述无人机的偏航角  $\varphi$  为所述融合信息中的姿态角信息,

5  $V_{wx_g}$  为所述风速在  $x_g$  方向上的分量,  $V_{wy_g}$  为所述风速在  $y_g$  方向上的分量。

在本发明的一实施例中, 飞控系统还会将计算出的风速、风向角度等信息以及当风速超过风速阈值时的报警信息发送给控制终端, 并在控制终端显示。

当无人机所处飞行环境的风速超过风速阈值或无人机自身的抗风等级时, 飞控系统还可以控制无人机悬停、返航或选择安全地点降落, 以避免由于风速  
10 过大导致的无人机失控甚至炸机的风险。

本发明还提出了一种无人机组件, 包括上述所述的无人机 20 和控制终端。控制终端包括壳体、与壳体相连的显示器和设置在壳体内部的接收装置。在本发明的实施例中, 控制终端可以是遥控器也可以是移动终端, 如手机、平板电脑等。接收装置用于接收无人机 20 的飞控系统发送的风速信息、风向角度信息  
15 和报警信息, 无人机 20 发送的风速和风向角度信息可以在控制终端的显示屏上显示, 例如, 在手机或平板电脑的显示屏上显示。当风速超出风速阈值时, 飞控系统还会向控制终端发送报警信号, 该报警信号也可以在控制终端的显示屏上显示。由于不同种类的无人机的抗风等级不一样, 风速阈值也不一样, 因此风速阈值可以根据无人机的抗风等级进行设定。如图 5 所示, 显示在控制终端  
20 的报警信号可以是“风干扰过大”、“风速过大”、“阻力过大”、“当前飞行环境可能会造成无人机失稳”、“风阻过大”等等。在其他可能的实施例中, 接收到报警信号的控制终端还可以向用户或飞手进行语音提示。

本发明提供的无人机仅利用自身飞行产生的数据即可完成所处飞行环境的风速、风向的计算和报警, 无需利用任何传感器, 也无需事先建立庞大的数据

库，因此能够实现无人机风速计算和报警的简单化和低成本化，同时还可提示飞手或用户在大风天气谨慎飞行，减少炸机的概率。

如图 6 所示，本发明还提出了一种风速计算方法，该方法包括：

S10、获取无人机的融合信息。

5       在本发明的实施例中，融合信息可以通过无人机的飞控系统获取。融合信息包括无人机的位置信息、速度信息、姿态角信息和加速度信息。在本发明的一实施例中，融合信息由飞控该系统利用最优估计算法对无人机 20 的传感器获取的测量信息进行处理得到。测量信息包括通过 GPS 和/或视觉系统获取的位置信息和速度信息，通过 IMU 获取的姿态角信息和加速度信息。无人机的飞控该  
10       系统利用最优估计算法对融合信息进行处理，以去测量信息中的噪声，使测量信息更加接近无人机的实际飞行情况。最优估计算法是本领域技术人员熟知的一种算法，例如，卡尔曼滤波（含 KF、EKF、UKF 等）、粒子滤波、互补滤波、最小二乘估计、最小方差估计、最大似然估计、贝叶斯估计、最大验后估计等。

S11、获取无人机的电机提供的总拉力。

15       在本发明的实施例中，无人机 20 的电机提供的总拉力是指无人机所有电机提供的拉力之和。在本发明的实施例中，无人机 20 为四旋翼无人机，即有 4 个电机 222，则总拉力是指 4 个电机 222 提供的拉力之和。又例如，无人机有  $n$  个电机，则总拉力  $T = F_1 + F_2 + F_3 + \dots + F_n$ 。 $F_1$ 、 $F_2$ 、 $F_3$ 、... $F_n$  分别为  $n$  个电机提供的拉力。在本发明的实施例中，飞控系统可以通过其输出的电机拉力控制指令获取无人机的电机提供的总拉力。具体来说，飞控系统可以通过其输出的  
20       电机拉力控制指令，并根据建立的电机拉力模型计算出电机提供的总拉力的近似值。电机拉力模型包含了电机的动力学特性，这种特性可以通过实验测得。

S12、根据所述融合信息和所述总拉力计算所述无人机所处飞行环境的风速。

根据融合信息和总拉力计算无人机所处飞行环境的风速可以由无人机的飞  
25       控系统或者处理器来执行。如图 7 所示，在本发明的一实施例中，步骤 S12 又可以包括以下几个步骤：

S121、根据融合信息和总拉力，计算无人机受到的风力。

如图 2 所示，图 2 中的方框代表无人机的机身，由于无人机在各方向上受

到的力满足牛顿第二定律，因此根据图 2 可以得出无人机在 x 方向上的力的平衡方程：

$$ma_x + mg \sin(-\theta) + F_{az} \sin(-\theta) - F_{ax} \cos(-\theta) = 0$$

其中， $ma_x$  为所述无人机所受外力在 x 方向的分量， $mg$  为所述无人机的重力， $\theta$  为所述无人机的俯仰角。

5 根据图 3 可以得出无人机在 y 方向上的力的平衡方程：

$$ma_y + mg \sin \emptyset + F_{az} \sin \emptyset - F_{ay} \cos \emptyset = 0$$

其中， $ma_y$  为所述无人机所受外力在 y 方向上的分量， $\emptyset$  为所述无人机的横滚角。

根据图 4 可以得出无人机在  $z_g$  方向上的力的平衡方程：

$$ma_z \cos \theta \cos \emptyset - T \cos \theta \cos \emptyset + mg + F_{az} + ma_x \sin(-\theta) + ma_y \sin \emptyset = 0$$

其中，T 为无人机的电机提供的总拉力。

10 在以上三个力的平衡方程中， $a_x$ 、 $a_y$  和  $a_z$  为融合信息中的加速度信息，俯仰角  $\theta$  和横滚角  $\emptyset$  为融合信息中的姿态角信息。值得注意的是，本实施例中力的平衡方程是建立在无人机的机体坐标系下的，也就是说，本实施例中，是将水平力投影到机体坐标系下的 x 轴和 y 轴，垂直力投影至  $z_g$  轴。这样能够简化计算。其中，x 轴的正方向为由机身 21 的机尾指向机头的方向。在其他可能的实  
15 施例中，也可以将各个力投影到任意坐标系下，计算结果相同。

根据以上三个力的平衡方程，可以求解得到无人机所受风力在  $x_g$  方向、 $y_g$  方向和  $z_g$  方向上的分量  $F_{ax}$ 、 $F_{ay}$  和  $F_{az}$ 。

S122、根据所述风力，计算气流速度

20 无人机的飞控系统或处理器根据上述三个力的平衡方程求解得到无人机所受风力在  $x_g$  方向、 $y_g$  方向和  $z_g$  方向上的三个分量后，可根据该三个分量，求得  $x_g$  方向、 $y_g$  方向和  $z_g$  方向上的气流速度（地面坐标系下，气流沿无人机机身的速度投影，以下简称气流速度）。

具体可根据风力与气流速度的关系求得：

$$F_{ai} = 0.5 C_{di} \rho V_{ai}^2 S_i$$

$$i = x_g, y_g \text{ 或 } z_g$$

其中,  $C_{di}$  为阻力系数,  $\rho$  为空气密度,  $S_i$  为无人机在  $x_g$  方向、 $y_g$  方向和  $z_g$  方向上的迎风面积。阻力系数  $C_{di}$  可以通过室内飞行估算或小型风洞试验等方式测定。空气密度  $\rho$  可以根据飞行海拔高度来近似计算产生。迎风面积  $S_i$  为与姿态角有关的非线性函数。

- 5        在本发明的一实施例中, 当机身的机头和机尾的形状或外轮廓大小不一致时, 无人机在  $x_g$  方向上的迎风面积还可以包括无人机在  $x_g$  方向的正方向上的迎风面积  $S_f$  和无人机在  $x_g$  方向的负方向上的迎风面积  $S_b$ :

$$S_f = S_{f0} (1 + f_f(\theta, \phi))$$

$$S_b = S_{b0} (1 + f_b(\theta, \phi))$$

- 其中,  $f_f(\theta, \phi)$  为在  $x_g$  方向的正方向上, 与所述无人机的俯仰角  $\theta$  和横滚角  $\phi$  有关的非线性函数,  $S_{f0}$  为当  $\theta = 0$  且  $\phi = 0$  时, 所述无人机在  $x_g$  方向的正方向上的迎风面积;  $f_b(\theta, \phi)$  为在  $x_g$  方向的负方向上, 与所述无人机的俯仰角  $\theta$  和横滚角  $\phi$  有关的非线性函数,  $S_{b0}$  为当  $\theta = 0$  且  $\phi = 0$  时, 所述无人机在  $x_g$  方向的负方向上的迎风面积。其中, 非线性函数  $f_f(\theta, \phi)$  与  $f_b(\theta, \phi)$  可根据实验数据拟合得到, 其选取与无人机的外形有关, 不同的无人机, 选择的非线性函数可以相同, 也可以不同。对于同一种无人机, 也可以选择不同的非线性函数, 这里给出一种  
15    非线性函数的选取范例:

$$f_f(\theta, \phi) = S_{f0} (1 + a_f \sin^2 |\theta| + b_f \sin^2 |\phi|)$$

其中,  $a_f$  和  $b_f$  为通过拟合得到的非线性参数。

- 可以理解的是, 无人机在  $x_g$  方向上的迎风面积与无人机本身的形状有关, 当无人机的机头和机尾形状或外轮廓大小一样时, 则无人机在  $x_g$  方向的正方向上和  $x_g$  方向的负方向上的迎风面积相等。由于在本发明的实施例中, 无人机  
20    20 的左右两侧即上下两侧的形状相近, 因此无人机 20 在  $y_g$  方向的正、负方向, 以及在  $z_g$  方向的正、负方向上的迎风面积相等。

在本发明的一实施例中, 由于无人机的左右侧和上下侧形状相同, 因此, 无人机在  $y_g$  方向上的迎风面积  $S_{rl}$  为:

$$S_{rl} = S_{rl0} (1 + f_{rl}(\theta, \phi)),$$

所述无人机在 $z_g$ 方向上的迎风面积 $S_{ud}$ 为：

$$S_{ud} = S_{ud0}(1 + f_{ud}(\theta, \phi));$$

其中， $f_{rl}(\theta, \phi)$ 为在 $y_g$ 方向上，与所述无人机的俯仰角 $\theta$ 和横滚角 $\phi$ 有关的非线性函数， $S_{rl0}$ 为当 $\theta = 0$ 且 $\phi = 0$ 时，所述无人机在 $y_g$ 方向上的迎风面积；

5  $f_{ud}(\theta, \phi)$ 为在 $z_g$ 方向上，与所述无人机的俯仰角 $\theta$ 和横滚角 $\phi$ 有关的非线性函数， $S_{ud0}$ 为当 $\theta = 0$ 且 $\phi = 0$ 时，所述无人机在 $z_g$ 方向上的迎风面积。

S123、根据气流速度，计算所述无人机所处飞行环境的风速。

在求得无人机在 $x_g$ 方向、 $y_g$ 方向和 $z_g$ 方向上的气流速度 $V_{ai}$ 后，无人机的飞  
10 控系统或处理器可进一步根据气流速度、飞机速度和风速之间的关系可以最终计算出风速：

$$V_{wi} = V_{ai} - V_i,$$

$$i = x_g, y_g \text{ 或 } z_g$$

其中， $V_{ai}$ 为 $x_g$ 方向、 $y_g$ 方向或 $z_g$ 方向的气流速度， $V_i$ 为所述无人机在 $x_g$ 方向、 $y_g$ 方向或 $z_g$ 方向上的速度。无人机在各方向上的速度为融合信息中的速度  
15 信息。

由此，可计算得到 $x_g$ 方向的风速 $V_{wxg}$ 、 $y_g$ 方向的风速 $V_{wyg}$ 和 $z_g$ 方向的风速  
 $V_{wzg}$ 。

在本发明的一实施例中，在计算出 $x_g$ 方向的气流速度 $V_{axg}$ 、 $y_g$ 方向的气流速度  
20  $V_{ayg}$ 和 $z_g$ 方向的气流速度 $V_{azg}$ 之后，由于气流速度通常会滞后于无人机20的速度，因此还需要将 $x_g$ 方向的气流速度 $V_{axg}$ 、 $y_g$ 方向的气流速度 $V_{ayg}$ 和 $z_g$ 方向的气流速度 $V_{azg}$ 与无人机20在 $x_g$ 方向上的速度 $V_x$ 、在 $y_g$ 方向上的速度 $V_y$ 以及在 $z_g$ 方向上的速度 $V_z$ 对齐，然后再计算各方向的风速。

在本发明的一实施例中，飞控系统还可以根据无人机所处飞行环境的风速，获取无人机所处飞行环境的风向角度。

25 在求得各方向的风速后，通过坐标变换，将风速转换到“北东地坐标系(NED)”下，计算风向角度 $\beta$ ：

$$\beta = \arctan2(-V_{wN}, -V_{wE})$$

$$V_{wN} = V_{wx_g} \cos \varphi - V_{wy_g} \sin \varphi$$

$$V_{wE} = V_{wx_g} \sin \varphi + V_{wy_g} \cos \varphi$$

其中,  $V_{wN}$  为所述风速在北方的分量,  $V_{wE}$  为所述风速在东方的分量,  $\varphi$  为所述无人机的偏航角, 所述无人机的偏航角  $\varphi$  为所述融合信息中的姿态角信息,  $V_{wx_g}$  为所述风速在  $x_g$  方向上的分量,  $V_{wy_g}$  为所述风速在  $y_g$  方向上的分量。

如图 8 所示, 在本发明的一实施例中, 该方法还可以包括:

5 S13、根据所述无人机所处飞行环境的风速, 向控制终端发送报警信号。

在获取了无人机所处飞行环境的风速、风向角度后, 无人机的飞控系统或发射装置还会将计算出的风速、风向角度等信息发送给控制终端, 当风速超过风速阈值时, 无人机会将相应的报警信息发送给控制终端, 并在控制终端显示。由于不同种类的无人机的抗风等级不一样, 风速阈值也不一样, 因此风速阈值  
10 可以根据无人机的抗风等级进行设定。如图 5 所示, 显示在控制终端的报警信号可以是“风干扰过大”、“风速过大”、“阻力过大”、“当前飞行环境可能会造成无人机失稳”、“风阻过大”等等。在其他可能的实施例中, 接收到报警信号的控制终端还可以向用户或飞手进行语音提示。在本发明的一实施例中, 控制终端可以是遥控器也可以是移动终端, 如手机、平板电脑等。

15 在本发明的一实施例中, 该方法还可以包括:

S14、当所述无人机所处飞行环境的风速超过风速阈值时, 控制所述无人机悬停或返航。

当无人机所处飞行环境的风速超过无人机自身的抗风等级时, 无人机的飞控系统可以控制无人机悬停或返航, 或选择安全地点降落, 以避免风速过大导  
20 致的无人机失控甚至炸机的风险。

如图 9 所示, 本发明还提供了一种风速计算装置 30, 该装置 30 包括:

获取模块 31, 用于获取所述无人机的融合信息, 其中, 所述融合信息包括所述无人机的位置信息、速度信息、姿态角信息和加速度信息; 以及

25 用于获取所述无人机的电机提供的总拉力;

风速计算模块 33，用于根据所述融合信息和所述总拉力计算所述无人机所处飞行环境的风速。

在本发明的一实施例中，所述获取模块 31 具体用于利用最优估计算法对所述无人机的传感器获取的测量信息进行处理，以得到所述融合信息。

5 在本发明的一实施例中，所述测量信息包括：

通过所述无人机的 GPS (Global Positioning System) 获取的所述无人机的位置信息和速度信息。

在本发明的一实施例中，所述测量信息包括通过所述无人机的视觉系统获取的所述无人机的位置信息和速度信息。

10 在本发明的一实施例中，所述测量信息还包括通过所述无人机的 IMU (Inertial measurement unit) 获取的所述无人机的加速度信息和姿态角信息。

在本发明的一实施例中，该装置还包括去噪模块 32，所述去噪模块 32 用于利用最优估计算法对所述融合信息进行处理，以去除所述融合信息中的噪声。

在本发明的一实施例中，所述获取模块 31 还用于：

15 根据所述无人机的电机拉力控制指令，获取所述无人机的电机提供的总拉力。

在本发明的一实施例中，所述风速计算模块 33 具体用于：

根据所述融合信息和所述总拉力，利用牛顿第二定律和流体力学，测算所述无人机所处飞行环境的风速。

20 在本发明的一实施例中，所述风速计算模块 33 具体用于：

根据所述融合信息和所述总拉力，计算所述无人机受到的风力；

根据所述风力，计算气流速度；

根据所述气流速度，计算所述无人机所处飞行环境的风速。

25 在本发明的一实施例中，所述风速计算模块 33 利用以下表达式计算所述无人机在  $x_g$  方向、 $y_g$  方向和  $z_g$  方向上受到的风力  $F_{ax}$ 、 $F_{ay}$  和  $F_{az}$ ：

$$ma_x + mg \sin(-\theta) + F_{az} \sin(-\theta) - F_{ax} \cos(-\theta) = 0;$$

$$ma_y + mg \sin \varnothing + F_{az} \sin \varnothing - F_{ay} \cos \varnothing = 0;$$

$$ma_z \cos \theta \cos \varnothing - T \cos \theta \cos \varnothing + mg + F_{az} + ma_x \sin(-\theta) + ma_y \sin \varnothing = 0 ;$$

30 其中， $ma_x$ 、 $ma_y$  和  $ma_z$  分别为所述无人机所受外力在 x 方向、y 方向和 z 方向上的分量， $a_x$ 、 $a_y$  和  $a_z$  为所述融合信息中的所述加速度信息， $mg$  为所述无人机的重力， $T$  为所述总拉力， $\theta$  为所述无人机的俯仰角， $\varnothing$  为所述无人机的横滚

角, 所述俯仰角 $\theta$ 和所述横滚角 $\phi$ 为所述融合信息中的所述姿态角信息。

在本发明的一实施例中, 所述风速计算模块 33 用于:

计算所述无人机在 $x_g$ 方向、 $y_g$ 方向和 $z_g$ 方向上的迎风面积 $S_i$ ;

利用以下表达式计算 $x_g$ 方向、 $y_g$ 方向和 $z_g$ 方向上的气流速度 $V_{ai}$ :

$$F_{ai} = 0.5 C_{di} \rho V_{ai}^2 S_i$$

$$i = x_g, y_g \text{ 或 } z_g$$

5 其中,  $C_{di}$ 为阻力系数,  $\rho$ 为空气密度。

在本发明的一实施例中, 所述无人机在 $x_g$ 方向上的迎风面积包括所述无人机在 $x_g$ 方向的正方向上的迎风面积和所述无人机在 $x_g$ 方向的负方向上的迎风面积,

所述在 $x_g$ 方向的正方向上的迎风面积 $S_f$ 为:

$$10 \quad S_f = S_{f0} (1 + f_f(\theta, \phi)),$$

所述在 $x_g$ 方向的负方向上的迎风面积 $S_b$ 为:

$$S_b = S_{b0} (1 + f_b(\theta, \phi));$$

15 其中,  $f_f(\theta, \phi)$ 为在 $x_g$ 方向的正方向上, 与所述无人机的俯仰角 $\theta$ 和横滚角 $\phi$ 有关的非线性函数,  $S_{f0}$ 为当 $\theta = 0$ 且 $\phi = 0$ 时, 所述无人机在 $x_g$ 方向的正方向上的迎风面积;  $f_b(\theta, \phi)$ 为在 $x_g$ 方向的负方向上, 与所述无人机的俯仰角 $\theta$ 和横滚角 $\phi$ 有关的非线性函数,  $S_{b0}$ 为当 $\theta = 0$ 且 $\phi = 0$ 时, 所述无人机在 $x_g$ 方向的负方向上的迎风面积。

在本发明的一实施例中,

所述无人机在 $y_g$ 方向上的迎风面积 $S_{rl}$ 为:

$$20 \quad S_{rl} = S_{rl0} (1 + f_{rl}(\theta, \phi)),$$

所述无人机在 $z_g$ 方向上的迎风面积 $S_{ud}$ 为:

$$S_{ud} = S_{ud0} (1 + f_{ud}(\theta, \phi));$$

25 其中,  $f_{rl}(\theta, \phi)$ 为在 $y_g$ 方向上, 与所述无人机的俯仰角 $\theta$ 和横滚角 $\phi$ 有关的非线性函数,  $S_{rl0}$ 为当 $\theta = 0$ 且 $\phi = 0$ 时, 所述无人机在 $y_g$ 方向上的迎风面积;  $f_{ud}(\theta, \phi)$ 为在 $z_g$ 方向上, 与所述无人机的俯仰角 $\theta$ 和横滚角 $\phi$ 有关的非线性函数,  $S_{ud0}$ 为当 $\theta = 0$ 且 $\phi = 0$ 时, 所述无人机在 $z_g$ 方向上的迎风面积。

在本发明的一实施例中, 所述风速计算模块 33 利用以下表达式计算所述无人机所处飞行环境的风速 $V_{wi}$ :

$$V_{wi} = V_{ai} - V_i ,$$

$$i = x_g, y_g \text{ 或 } z_g$$

其中,  $V_{ai}$  为  $x_g$  方向、 $y_g$  方向或  $z_g$  方向的气流速度,  $V_i$  为所述融合信息中的速度信息。

在本发明的一实施例中, 该装置 30 还包括风向角度获取模块 34, 所述风向角度获取模块 34 用于根据所述无人机所处飞行环境的风速, 获取所述无人机所  
5 处飞行环境的风向角度。

在本发明的一实施例中, 所述风向角度获取模块 34 利用以下表达式计算所述无人机所处飞行环境的风向角度:

$$\beta = \arctan2(-V_{wN}, -V_{wE})$$

$$V_{wN} = V_{wx_g} \cos \varphi - V_{wy_g} \sin \varphi$$

$$V_{wE} = V_{wx_g} \sin \varphi + V_{wy_g} \cos \varphi$$

其中,  $V_{wN}$  为所述风速在北方的分量,  $V_{wE}$  为所述风速在东方的分量,  $\varphi$  为所述无人机的偏航角, 所述无人机的偏航角  $\varphi$  为所述融合信息中的姿态角信息,  
10  $V_{wx_g}$  为所述风速在  $x_g$  方向上的分量,  $V_{wy_g}$  为所述风速在  $y_g$  方向上的分量。

在本发明的一实施例中, 该装置还包括报警信息发送模块 35, 所述报警信息发送模块 35 用于根据所述无人机所处飞行环境的风速, 向控制终端发送报警信号。

在本发明的一实施例中, 该装置还包括控制模块 36, 所述控制模块 36 用于  
15 当所述无人机所处飞行环境的风速超过风速阈值时, 控制所述无人机悬停、返航或选择安全地点降落。

在本发明的一实施例中, 获取模块 31 可以是无人机的飞控系统或处理器, 去噪模块 32 可以是滤波器, 去噪模块 32 可以与获取模块 31 集成在一起。风速计算模块 33、风向角度获取模块 34 可以是无人机的飞控系统或处理器, 报警信  
20 息发送模块 35 可以是无人机的飞控系统、处理器或发射装置, 控制模块 36 可以是无人机的飞控系统。

该装置 30 中各个模块的功能详见本发明对一种风速计算方法或一种无人机的描述, 在此不再赘述。

本领域普通技术人员可以理解实现上述实施例方法中的全部或部分流程,

是可以通过计算机程序来指令相关的硬件来完成，所述的程序可存储于一非易失性计算机可读取存储介质中，该程序在执行时，可包括如上述各方法的实施例的流程。其中，所述的存储介质可为磁碟、光盘、只读存储记忆体（Read-Only Memory, ROM）等。

5       以上所述实施例的各技术特征可以进行任意的组合，为使描述简洁，未对上述实施例中的各个技术特征所有可能的组合都进行描述，然而，只要这些技术特征的组合不存在矛盾，都应当认为是本说明书记载的范围。

10       以上所述实施例仅表达了本发明的几种实施方式，其描述较为具体和详细，但并不能因此而理解为对发明专利范围的限制。应当指出的是，对于本领域的普通技术人员来说，在不脱离本发明构思的前提下，还可以做出若干变形和改进，这些都属于本发明的保护范围。因此，本发明专利的保护范围应以所附权利要求为准。

## 权利要求书

1、一种风速计算方法，用于无人机，其特征在于，该方法包括：

获取所述无人机的融合信息，其中，所述融合信息包括所述无人机的位置信息、速度信息、姿态角信息和加速度信息；

5 获取所述无人机的电机提供的总拉力；

根据所述融合信息和所述总拉力计算所述无人机所处飞行环境的风速。

2、根据权利要求1所述的方法，其特征在于，该方法还包括：

利用最优估计算法对所述无人机的传感器获取的测量信息进行处理，以得到所述融合信息。

10 3、根据权利要求2所述的方法，其特征在于，所述测量信息包括：

通过所述无人机的GPS (Global Positioning System) 获取的所述无人机的位置信息和速度信息。

4、根据权利要求2或3所述的方法，其特征在于，所述测量信息还包括：

通过所述无人机的视觉系统获取的所述无人机的位置信息和速度信息。

15 5、根据权利要求2-4中任一项所述的方法，其特征在于，所述测量信息还包括通过所述无人机的IMU (Inertial measurement unit) 获取的所述无人机的加速度信息和姿态角信息。

6、根据权利要求1-5中任一项所述的方法，其特征在于，所述获取所述无人机的电机提供的总拉力，包括：

20 根据所述无人机的电机拉力控制指令，获取所述无人机的电机提供的总拉力。

7、根据权利要求1-6中任一项所述的方法，其特征在于，所述根据所述融合信息和所述总拉力计算所述无人机所处飞行环境的风速，包括：

25 根据所述融合信息和所述总拉力，利用牛顿第二定律和流体力学，计算所述无人机所处飞行环境的风速。

8、根据权利要求1-6中任一项所述的方法，其特征在于，所述根据所述融合信息和所述总拉力计算所述无人机所处飞行环境的风速，包括：

根据所述融合信息和所述总拉力，计算所述无人机受到的风力；

根据所述风力，计算气流速度；

30 根据所述气流速度，计算所述无人机所处飞行环境的风速。

9、根据权利要求8所述的方法，其特征在于，所述根据所述融合信息和所

述总拉力，计算所述无人机受到的风力，包括：

利用以下表达式计算所述无人机在 $x_g$ 方向、 $y_g$ 方向和 $z_g$ 上受到的风力 $F_{ax}$ 、 $F_{ay}$ 和 $F_{az}$ ：

$$ma_x + mg \sin(-\theta) + F_{az} \sin(-\theta) - F_{ax} \cos(-\theta) = 0$$

$$ma_y + mg \sin \varnothing + F_{az} \sin \varnothing - F_{ay} \cos \varnothing = 0;$$

$$5 \quad ma_z \cos \theta \cos \varnothing - T \cos \theta \cos \varnothing + mg + F_{az} + ma_x \sin(-\theta) + ma_y \sin \varnothing = 0 ;$$

其中， $ma_x$ 、 $ma_y$ 和 $ma_z$ 分别为所述无人机所受外力在 $x$ 方向、 $y$ 方向和 $z$ 方向上的分量， $a_x$ 、 $a_y$ 和 $a_z$ 为所述融合信息中的所述加速度信息， $mg$ 为所述无人机的重力， $T$ 为所述总拉力， $\theta$ 为所述无人机的俯仰角， $\varnothing$ 为所述无人机的横滚角，所述俯仰角 $\theta$ 和所述横滚角 $\varnothing$ 为所述融合信息中的所述姿态角信息。

10 10、根据权利要求 8 或 9 所述的方法，其特征在于，所述根据所述风力，计算所述气流速度，包括：

计算所述无人机在 $x_g$ 方向、 $y_g$ 方向和 $z_g$ 方向上的迎风面积 $S_i$ ；；

利用以下表达式计算 $x_g$ 方向、 $y_g$ 方向和 $z_g$ 方向上的气流速度 $V_{ai}$ ：

$$F_{ai} = 0.5 C_{di} \rho V_{ai}^2 S_i$$

$$i = x_g, y_g \text{ 或 } z_g$$

其中， $C_{di}$ 为阻力系数， $\rho$ 为空气密度。

15 11、根据权利要求 10 所述的方法，其特征在于，所述无人机在 $x_g$ 方向上的迎风面积包括所述无人机在 $x_g$ 方向的正方向上的迎风面积和所述无人机在 $x_g$ 方向的负方向上的迎风面积，

所述在 $x_g$ 方向的正方向上的迎风面积 $S_f$ 为：

$$S_f = S_{f0} (1 + f_f(\theta, \varnothing)),$$

20 所述在 $x_g$ 方向的负方向上的迎风面积 $S_b$ 为：

$$S_b = S_{b0} (1 + f_b(\theta, \varnothing));$$

其中， $f_f(\theta, \varnothing)$ 为在 $x_g$ 方向的正方向上，与所述无人机的俯仰角 $\theta$ 和横滚角 $\varnothing$ 有关的非线性函数， $S_{f0}$ 为当 $\theta = 0$ 且 $\varnothing = 0$ 时，所述无人机在 $x_g$ 方向的正方向上的迎风面积； $f_b(\theta, \varnothing)$ 为在 $x_g$ 方向的负方向上，与所述无人机的俯仰角 $\theta$ 和横滚角 $\varnothing$ 有关的非线性函数， $S_{b0}$ 为当 $\theta = 0$ 且 $\varnothing = 0$ 时，所述无人机在 $x_g$ 方向的负方向上的迎风面积。

12、根据权利要求 10 或 11 所述的方法，其特征在于：

所述无人机在 $y_g$ 方向上的迎风面积 $S_{rl}$ 为：

$$S_{rl} = S_{rl0}(1 + f_{rl}(\theta, \phi)),$$

所述无人机在 $z_g$ 方向上的迎风面积 $S_{ud}$ 为:

$$S_{ud} = S_{ud0}(1 + f_{ud}(\theta, \phi));$$

其中,  $f_{rl}(\theta, \phi)$ 为在 $y_g$ 方向上, 与所述无人机的俯仰角 $\theta$ 和横滚角 $\phi$ 有关的非线性函数,  $S_{rl0}$ 为当 $\theta = 0$ 且 $\phi = 0$ 时, 所述无人机在 $y_g$ 方向上的迎风面积;  
5  $f_{ud}(\theta, \phi)$ 为在 $z_g$ 方向上, 与所述无人机的俯仰角 $\theta$ 和横滚角 $\phi$ 有关的非线性函数,  $S_{ud0}$ 为当 $\theta = 0$ 且 $\phi = 0$ 时, 所述无人机在 $z_g$ 方向上的迎风面积。

13、根据权利要求 8-12 中任一项所述的方法, 其特征在于, 所述根据所述气流速度, 计算所述无人机所处飞行环境的风速, 包括:

10 利用以下表达式计算所述无人机所处飞行环境的风速 $V_{wi}$ :

$$V_{wi} = V_{ai} - V_i,$$

$$i = x_g, y_g \text{ 或 } z_g$$

其中,  $V_{ai}$  为 $x_g$ 方向、 $y_g$ 方向或 $z_g$ 方向的气流速度,  $V_i$ 为所述融合信息中的速度信息。

14、根据权利要求 1-13 中任一项所述的方法, 其特征在于, 该方法还包括:

15 根据所述无人机所处飞行环境的所述风速, 获取所述无人机所处飞行环境的风向角度。

15、根据权利要求 14 所述的方法, 其特征在于, 所述根据所述无人机所处飞行环境的所述风速, 获取所述无人机所处飞行环境的所述风向角度, 包括:

$$\beta = \arctan2(-V_{wN}, -V_{wE})$$

$$V_{wN} = V_{wx_g} \cos \varphi - V_{wy_g} \sin \varphi$$

$$V_{wE} = V_{wx_g} \sin \varphi + V_{wy_g} \cos \varphi$$

20 其中,  $V_{wN}$ 为所述风速在北方的分量,  $V_{wE}$ 为所述风速在东方的分量,  $\varphi$ 为所述无人机的偏航角, 所述无人机的偏航角 $\varphi$ 为所述融合信息中的姿态角信息,  $V_{wx_g}$ 为所述风速在 $x_g$ 方向上的分量,  $V_{wy_g}$ 为所述风速在 $y_g$ 方向上的分量。

16、根据权利要求 1-15 中任一项所述的方法, 其特征在于, 该方法还包括: 根据所述无人机所处飞行环境的所述风速, 向控制终端发送报警信号。

25 17、根据权利要求 1-16 中任一项所述的方法, 其特征在于, 该方法还包括: 当所述无人机所处飞行环境的所述风速超过风速阈值时, 控制所述无人机

悬停、返航或选择安全地点降落。

18、一种风速计算装置，其特征在于，该装置包括：

获取模块，用于获取所述无人机的融合信息，其中，所述融合信息包括所述无人机的位置信息、速度信息、姿态角信息和加速度信息；以及

用于获取所述无人机的电机提供的总拉力；

风速计算模块，用于根据所述融合信息和所述总拉力计算所述无人机所处飞行环境的风速。

19、根据权利要求 18 所述的装置，其特征在于，所述获取模块具体用于利用最优估计算法对所述无人机的传感器获取的测量信息进行处理，以得到所述融合信息。

20、根据权利要求 19 所述的装置，其特征在于，所述测量信息包括：

通过所述无人机的 GPS (Global Positioning System) 获取的所述无人机的位置信息和速度信息。

21、根据权利要求 19 或 20 所述的装置，其特征在于，所述测量信息包括通过所述无人机的视觉系统获取的所述无人机的位置信息和速度信息。

22、根据权利要求 19-21 所述的装置，其特征在于，所述测量信息还包括通过所述无人机的 IMU (Inertial measurement unit) 获取的所述无人机的加速度信息和姿态角信息。

23、根据权利要求 18-22 中任一项所述的装置，其特征在于，所述获取模块还用于：

根据所述无人机的电机拉力控制指令，获取所述无人机的电机提供的总拉力。

24、根据权利要求 18-23 中任一项所述的装置，其特征在于，所述风速计算模块具体用于：

根据所述融合信息和所述总拉力，利用牛顿第二定律和流体力学，测算所述无人机所处飞行环境的风速。

25、根据权利要求 18-23 中任一项所述的装置，其特征在于，所述风速计算模块具体用于：

根据所述融合信息和所述总拉力，计算所述无人机受到的风力；

根据所述风力，计算气流速度；

根据所述气流速度，计算所述无人机所处飞行环境的风速。

26、根据权利要求 25 所述的装置，其特征在于，所述风速计算模块利用以下表达式计算所述无人机在 $x_g$ 方向、 $y_g$ 方向和 $z_g$ 方向上受到的风力 $F_{ax}$ 、 $F_{ay}$ 和 $F_{az}$ ：

$$ma_x + mg \sin(-\theta) + F_{az} \sin(-\theta) - F_{ax} \cos(-\theta) = 0;$$

$$5 \quad ma_y + mg \sin \varnothing + F_{az} \sin \varnothing - F_{ay} \cos \varnothing = 0;$$

$$ma_z \cos \theta \cos \varnothing - T \cos \theta \cos \varnothing + mg + F_{az} + ma_x \sin(-\theta) + ma_y \sin \varnothing = 0 ;$$

其中， $ma_x$ 、 $ma_y$ 和 $ma_z$ 分别为所述无人机所受外力在 x 方向、y 方向和 z 方向上的分量， $a_x$ 、 $a_y$ 和 $a_z$ 为所述融合信息中的所述加速度信息， $mg$ 为所述无人机的重力， $T$ 为所述总拉力， $\theta$ 为所述无人机的俯仰角， $\varnothing$ 为所述无人机的横滚角，所述俯仰角 $\theta$ 和所述横滚角 $\varnothing$ 为所述融合信息中的所述姿态角信息。

27、根据权利要求 25 或 26 所述的装置，其特征在于，所述风速计算模块用于：

计算所述无人机在 $x_g$ 方向、 $y_g$ 方向和 $z_g$ 方向上的迎风面积 $S_i$ ；

利用以下表达式计算 $x_g$ 方向、 $y_g$ 方向和 $z_g$ 方向上的气流速度 $V_{ai}$ ：

$$F_{ai} = 0.5 C_{di} \rho V_{ai}^2 S_i$$

$$i = x_g, y_g \text{ 或 } z_g$$

15 其中， $C_{di}$ 为阻力系数， $\rho$ 为空气密度。

28、根据权利要求 27 所述的装置，其特征在于，所述无人机在 $x_g$ 方向上的迎风面积包括所述无人机在 $x_g$ 方向的正方向上的迎风面积和所述无人机在 $x_g$ 方向的负方向上的迎风面积，

所述在 $x_g$ 方向的正方向上的迎风面积 $S_f$ 为：

$$20 \quad S_f = S_{f0} (1 + f_f(\theta, \varnothing)),$$

所述在 $x_g$ 方向的负方向上的迎风面积 $S_b$ 为：

$$S_b = S_{b0} (1 + f_b(\theta, \varnothing));$$

其中， $f_f(\theta, \varnothing)$ 为在 $x_g$ 方向的正方向上，与所述无人机的俯仰角 $\theta$ 和横滚角 $\varnothing$ 有关的非线性函数， $S_{f0}$ 为当 $\theta = 0$ 且 $\varnothing = 0$ 时，所述无人机在 $x_g$ 方向的正方向上的迎风面积； $f_b(\theta, \varnothing)$ 为在 $x_g$ 方向的负方向上，与所述无人机的俯仰角 $\theta$ 和横滚角 $\varnothing$ 有关的非线性函数， $S_{b0}$ 为当 $\theta = 0$ 且 $\varnothing = 0$ 时，所述无人机在 $x_g$ 方向的负方向上的迎风面积。

29、根据权利要求 27 或 28 所述的装置，其特征在于：

所述无人机在 $y_g$ 方向上的迎风面积 $S_{rl}$ 为：

$$S_{rl} = S_{rl0}(1 + f_{rl}(\theta, \phi)),$$

所述无人机在 $z_g$ 方向上的迎风面积 $S_{ud}$ 为:

$$S_{ud} = S_{ud0}(1 + f_{ud}(\theta, \phi));$$

其中,  $f_{rl}(\theta, \phi)$ 为在 $y_g$ 方向上, 与所述无人机的俯仰角 $\theta$ 和横滚角 $\phi$ 有关的非线性函数,  $S_{rl0}$ 为当 $\theta = 0$ 且 $\phi = 0$ 时, 所述无人机在 $y_g$ 方向上的迎风面积;  
 $f_{ud}(\theta, \phi)$ 为在 $z_g$ 方向上, 与所述无人机的俯仰角 $\theta$ 和横滚角 $\phi$ 有关的非线性函数,  
 $S_{ud0}$ 为当 $\theta = 0$ 且 $\phi = 0$ 时, 所述无人机在 $z_g$ 方向上的迎风面积。

30、根据权利要求 25-29 中任一项所述的装置, 其特征在于, 所述风速计算模块利用以下表达式计算所述无人机所处飞行环境的风速 $V_{wi}$ :

$$V_{wi} = V_{ai} - V_i,$$

$$i = x_g, y_g \text{ 或 } z_g$$

其中,  $V_{ai}$  为 $x_g$ 方向、 $y_g$ 方向或 $z_g$ 方向的气流速度,  $V_i$ 为所述融合信息中的速度信息。

31、根据权利要求 18-30 中任一项所述的装置, 其特征在于, 该装置还包括风向角度获取模块, 所述风向角度获取模块用于根据所述无人机所处飞行环境的所述风速, 获取所述无人机所处飞行环境的风向角度。

32、根据权利要求 31 所述的装置, 其特征在于, 所述风向角度获取模块利用以下表达式计算所述无人机所处飞行环境的所述风向角度:

$$\beta = \arctan2(-V_{wN}, -V_{wE})$$

$$V_{wN} = V_{wx_g} \cos \varphi - V_{wy_g} \sin \varphi$$

$$V_{wE} = V_{wx_g} \sin \varphi + V_{wy_g} \cos \varphi$$

其中,  $V_{wN}$ 为所述风速在北方的分量,  $V_{wE}$ 为所述风速在东方的分量,  $\varphi$ 为所述无人机的偏航角, 所述无人机的偏航角 $\varphi$ 为所述融合信息中的姿态角信息,

$V_{wx_g}$ 为所述风速在 $x_g$ 方向上的分量,  $V_{wy_g}$ 为所述风速在 $y_g$ 方向上的分量。

33、根据权利要求 18-32 中任一项所述的装置, 其特征在于, 该装置还包括报警信息发送模块, 所述报警信息发送模块用于根据所述无人机所处飞行环境的所述风速, 向控制终端发送报警信号。

34、根据权利要求 18-33 中任一项所述的装置, 其特征在于, 该装置还包括控制模块, 所述控制模块用于当所述无人机所处飞行环境的所述风速超过风

速阈值时，控制所述无人机悬停、返航或选择安全地点降落。

35、一种无人机，其特征在于，包括：

机身；

5 机臂，与所述机身相连；

动力装置，与所述机臂相连；

GPS（Global Positioning System），设于所述机身内侧或者外表面；

IMU（Inertial measurement unit），设于所述机身；以及

飞控系统，与所述机身相连；

10 所述 GPS 和所述 IMU 与所述飞控系统通信连接；

所述飞控系统用于：

获取所述无人机的融合信息，其中，所述融合信息包括所述无人机的位置信息、速度信息、姿态角信息和加速度信息；

获取所述无人机的电机提供的总拉力；

15 根据所述融合信息和所述总拉力计算所述无人机所处飞行环境的风速。

36、根据权利要求 35 所述的无人机，其特征在于，所述无人机还包括设于所述机身的视觉系统，所述飞控系统具体用于利用最优估计算法对所述无人机的传感器获取的测量信息进行处理，以得到所述融合信息。

37、根据权利要求 36 所述的无人机，其特征在于，所述测量信息包括：

20 通过所述 GPS 获取的所述无人机的位置信息和速度信息。

38、根据权利要求 36 或 37 所述的无人机，其特征在于，所述测量信息包括通过所述无人机的视觉系统获取的所述无人机的位置信息和速度信息。

39、根据权利要求 36-38 中任一项所述的无人机，其特征在于，所述测量信息包括通过所述 IMU 获取的所述无人机的加速度信息和姿态角信息。

25 40、根据权利要求 35-39 中任一项所述的无人机，其特征在于，所述飞控系统具体用于：

根据所述无人机的电机拉力控制指令，获取所述无人机的电机提供的总拉力。

30 41、根据权利要求 35-40 中任一项所述的无人机，其特征在于，所述飞控系统具体用于：

根据所述融合信息和所述总拉力，利用牛顿第二定律和流体力学，计算所

述无人机所处飞行环境的风速。

42、根据权利要求 35-40 中任一项所述的无人机，其特征在于，所述飞控系统具体用于：

根据所述融合信息和所述总拉力，计算所述无人机受到的风力；

5 根据所述风力，计算气流速度；

根据所述气流速度，计算所述无人机所处飞行环境的风速。

43、根据权利要求 42 所述的无人机，其特征在于，所述飞控系统具体用于：

利用以下表达式计算所述无人机在 $x_g$ 方向、 $y_g$ 方向和 $z_g$ 方向上受到的风力 $F_{ax}$ 、 $F_{ay}$ 和 $F_{az}$ ：

$$10 \quad ma_x + mg \sin(-\theta) + F_{az} \sin(-\theta) - F_{ax} \cos(-\theta) = 0;$$

$$ma_y + mg \sin \varnothing + F_{az} \sin \varnothing - F_{ay} \cos \varnothing = 0;$$

$$ma_z \cos \theta \cos \varnothing - T \cos \theta \cos \varnothing + mg + F_{az} + ma_x \sin(-\theta) + ma_y \sin \varnothing = 0;$$

其中， $ma_x$ 、 $ma_y$ 和 $ma_z$ 分别为所述无人机所受外力在 x 方向、y 方向和 z 方向上的分量， $a_x$ 、 $a_y$ 和 $a_z$ 为所述融合信息中的所述加速度信息， $mg$ 为所述无人机的重力， $T$ 为所述总拉力， $\theta$ 为所述无人机的俯仰角， $\varnothing$ 为所述无人机的横滚角，所述俯仰角 $\theta$ 和所述横滚角 $\varnothing$ 为所述融合信息中的所述姿态角信息。

44、根据权利要求 42 或 43 所述的无人机，其特征在于，所述飞控系统具体用于：

计算所述无人机在 $x_g$ 方向、 $y_g$ 方向和 $z_g$ 方向上的迎风面积 $S_i$ ；

20 利用以下表达式计算 $x_g$ 方向、 $y_g$ 方向和 $z_g$ 方向上的气流速度 $V_{ai}$ ：

$$F_{ai} = 0.5 C_{di} \rho V_{ai}^2 S_i$$

$$i = x_g, y_g \text{ 或 } z_g$$

其中， $C_{di}$ 为阻力系数， $\rho$ 为空气密度。

45、根据权利要求 44 所述的无人机，其特征在于，所述无人机在 $x_g$ 方向上的迎风面积包括所述无人机在 $x_g$ 方向的正方向上的迎风面积和所述无人机在 $x_g$ 方向的负方向上的迎风面积，

25 所述无人机在 $x_g$ 方向的正方向上的迎风面积 $S_f$ 为：

$$S_f = S_{f0} (1 + f_f(\theta, \varnothing)),$$

所述无人机在 $x_g$ 方向的负方向上的迎风面积 $S_b$ 为：

$$S_b = S_{b0} (1 + f_b(\theta, \varnothing));$$

其中， $f_f(\theta, \varnothing)$ 为在 $x_g$ 方向的正方向上，与所述无人机的俯仰角 $\theta$ 和横滚角 $\varnothing$

有关的非线性函数,  $S_{f0}$  为当  $\theta = 0$  且  $\phi = 0$  时, 所述无人机在  $x_g$  方向的正方向上的迎风面积;  $f_b(\theta, \phi)$  为在  $x_g$  方向的负方向上, 与所述无人机的俯仰角  $\theta$  和横滚角  $\phi$  有关的非线性函数,  $S_{b0}$  为当  $\theta = 0$  且  $\phi = 0$  时, 所述无人机在  $x_g$  方向的负方向上的迎风面积。

5 46、根据权利要求 44 或 45 所述的无人机, 其特征在于:

所述无人机在  $y_g$  方向上的迎风面积  $S_{rl}$  为:

$$S_{rl} = S_{rl0}(1 + f_{rl}(\theta, \phi)),$$

所述无人机在  $z_g$  方向上的迎风面积  $S_{ud}$  为:

$$S_{ud} = S_{ud0}(1 + f_{ud}(\theta, \phi));$$

10 其中,  $f_{rl}(\theta, \phi)$  为在  $y_g$  方向上, 与所述无人机的俯仰角  $\theta$  和横滚角  $\phi$  有关的非线性函数,  $S_{rl0}$  为当  $\theta = 0$  且  $\phi = 0$  时, 所述无人机在  $y_g$  方向上的迎风面积;  $f_{ud}(\theta, \phi)$  为在  $z_g$  方向上, 与所述无人机的俯仰角  $\theta$  和横滚角  $\phi$  有关的非线性函数,  $S_{ud0}$  为当  $\theta = 0$  且  $\phi = 0$  时, 所述无人机在  $z_g$  方向上的迎风面积。

15 47、根据权利要求 42-46 中任一项所述的无人机, 其特征在于, 所述飞控系统具体用于:

利用以下表达式计算所述无人机所处飞行环境的风速  $V_{wi}$ :

$$V_{wi} = V_{ai} - V_i,$$

$$i = x_g, y_g \text{ 或 } z_g$$

其中,  $V_{ai}$  为  $x_g$  方向、 $y_g$  方向或  $z_g$  方向的气流速度,  $V_i$  为所述融合信息中的速度信息。

20 48、根据权利要求 35-47 中任一项所述的无人机, 其特征在于, 所述飞控系统具体用于:

根据所述无人机所处飞行环境的所述风速, 获取所述无人机所处飞行环境的风向角度。

49、根据权利要求 48 所述的无人机, 其特征在于, 所述飞控系统具体用于:

25 利用以下表达式计算所述无人机所处飞行环境的所述风向角度  $\beta$ :

$$\beta = \arctan2(-V_{wN}, -V_{wE})$$

$$V_{wN} = V_{wx_g} \cos \varphi - V_{wy_g} \sin \varphi$$

$$V_{wE} = V_{wx_g} \sin \varphi + V_{wy_g} \cos \varphi$$

其中,  $V_{wN}$  为所述风速在北方的分量,  $V_{wE}$  为所述风速在东方的分量,  $\varphi$  为所

述无人机的偏航角，所述无人机的偏航角 $\varphi$ 为所述融合信息中的姿态角信息， $V_{wx_g}$ 为所述风速在 $x_g$ 方向上的分量， $V_{wy_g}$ 为所述风速在 $y_g$ 方向上的分量。

50、根据权利要求 35-49 中任一项所述的无人机，其特征在于，所述飞控系统具体用于：

5 根据所述无人机所处飞行环境的所述风速，向控制终端发送报警信号。

51、根据权利要求 35-50 中任一项所述的无人机，其特征在于，所述飞控系统还用于：

当所述无人机所处飞行环境的所述风速超过风速阈值时，控制所述无人机悬停、返航或选择安全地点降落。

10

52、一种无人机组件，包括无人机和与无人机通信连接的控制终端，其特征在于，所述无人机为权利要求 35-51 中任一项所述的无人机，

所述控制终端包括：

壳体；

15 显示屏，与所述壳体相连；以及

接收装置，与所述壳体相连；

其中，所述接收装置用于接收所述无人机的飞控系统发送的所述无人机所处飞行环境的风速信息和报警信息，所述显示屏用于显示所述风速信息和所述报警信息。

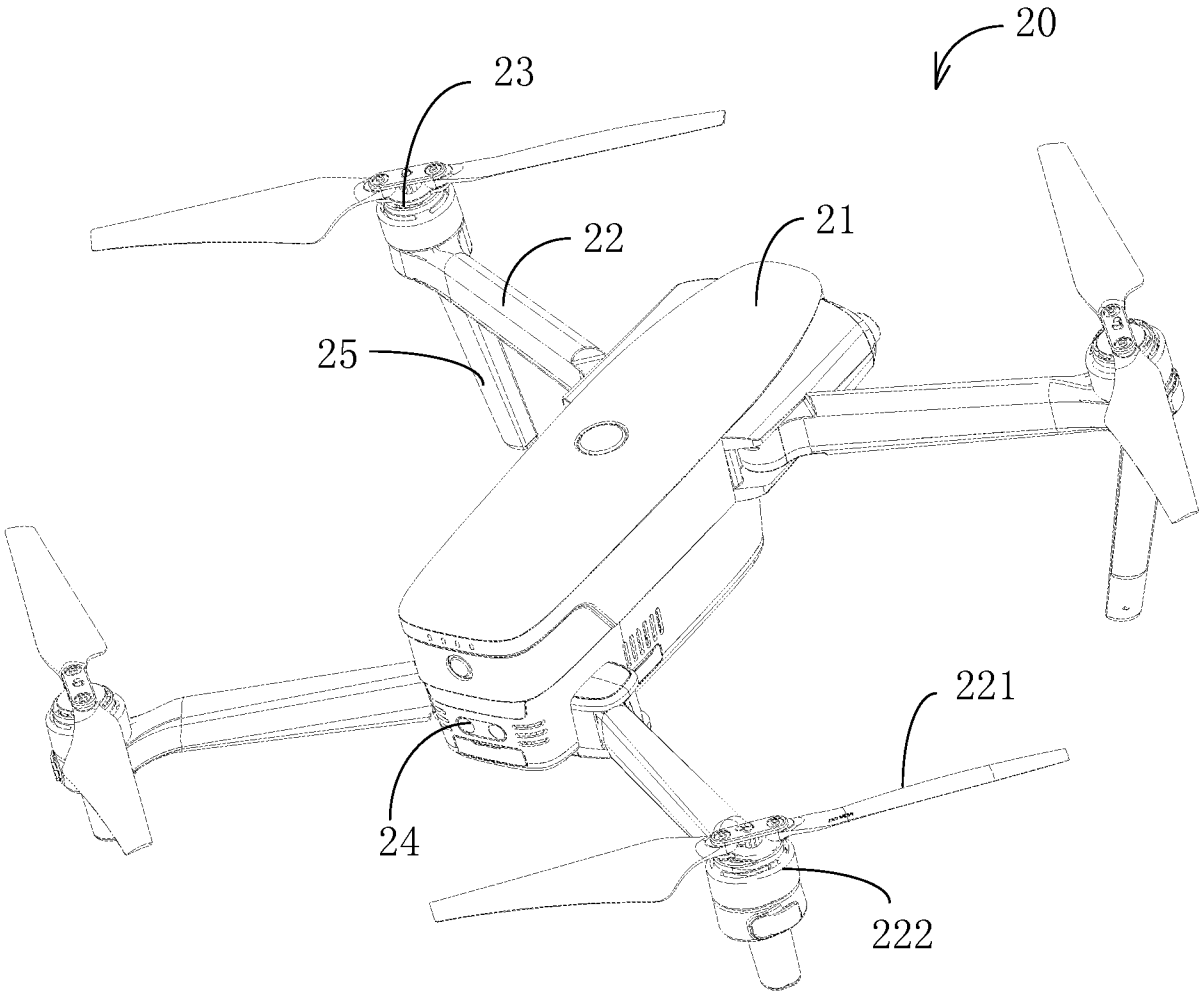


图 1

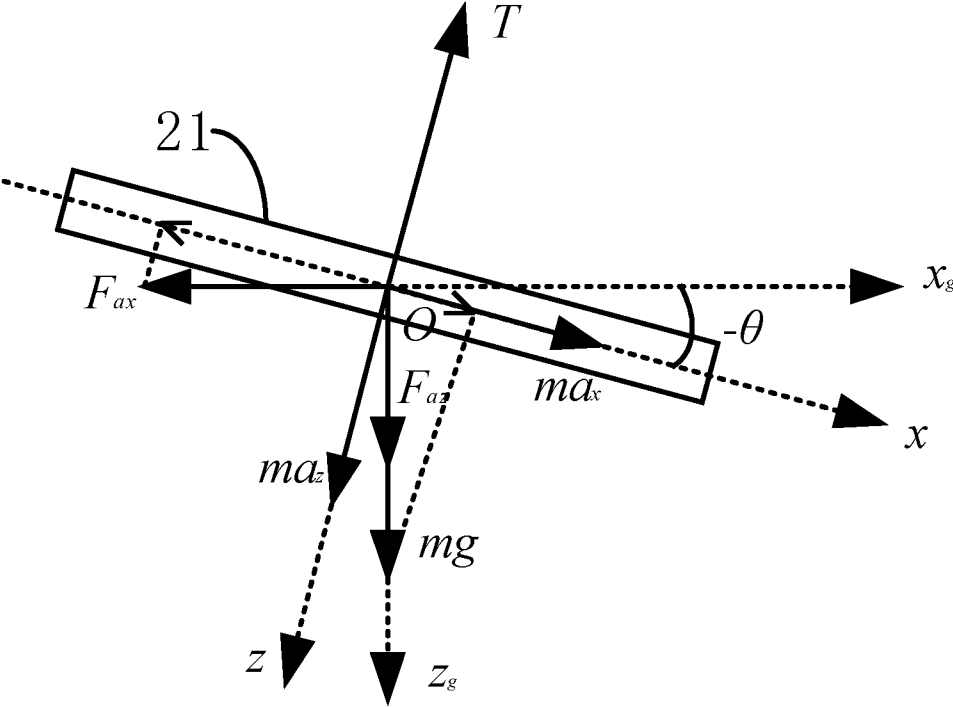


图 2

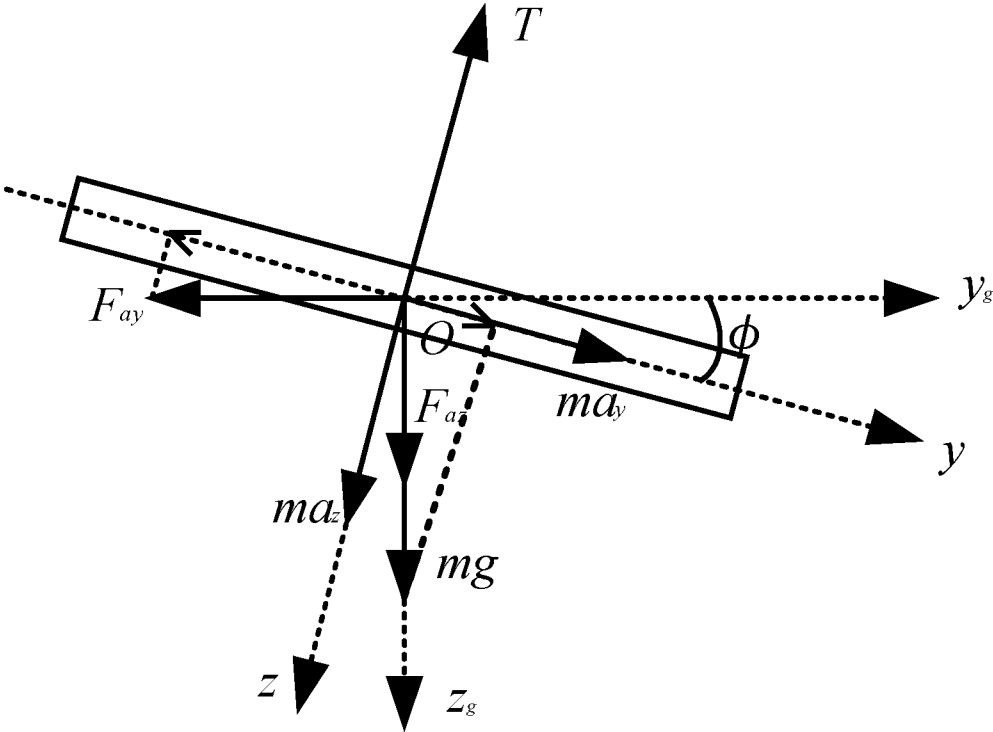


图 3

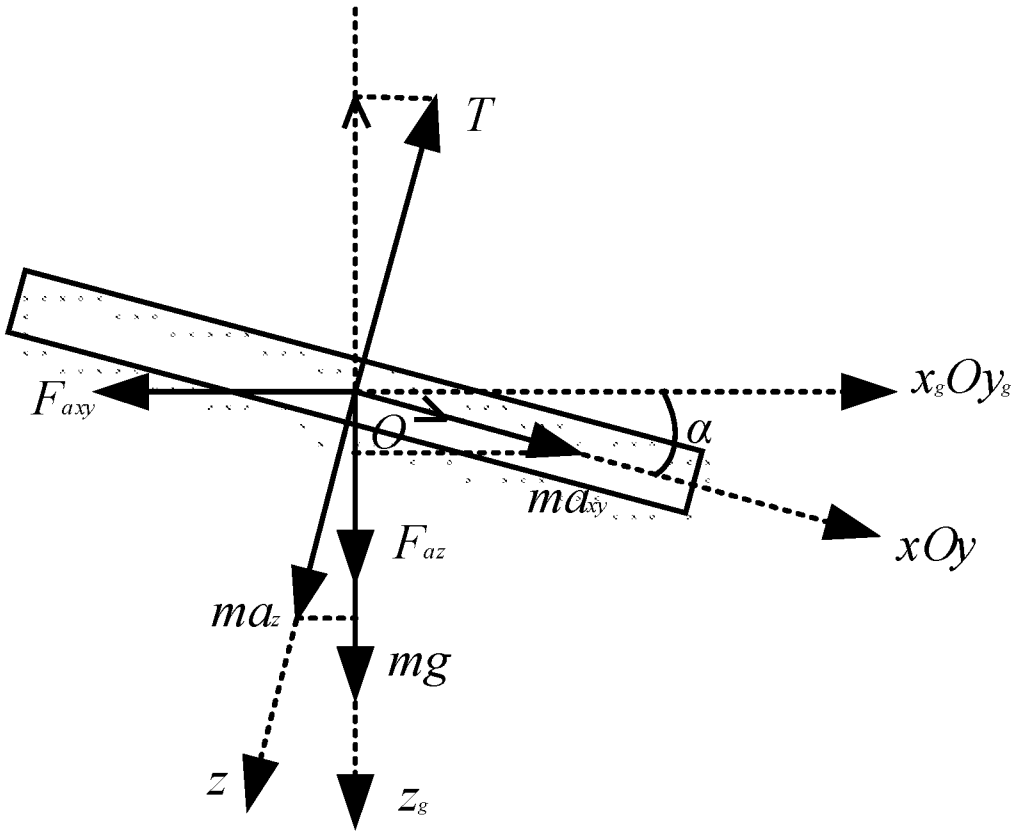


图 4

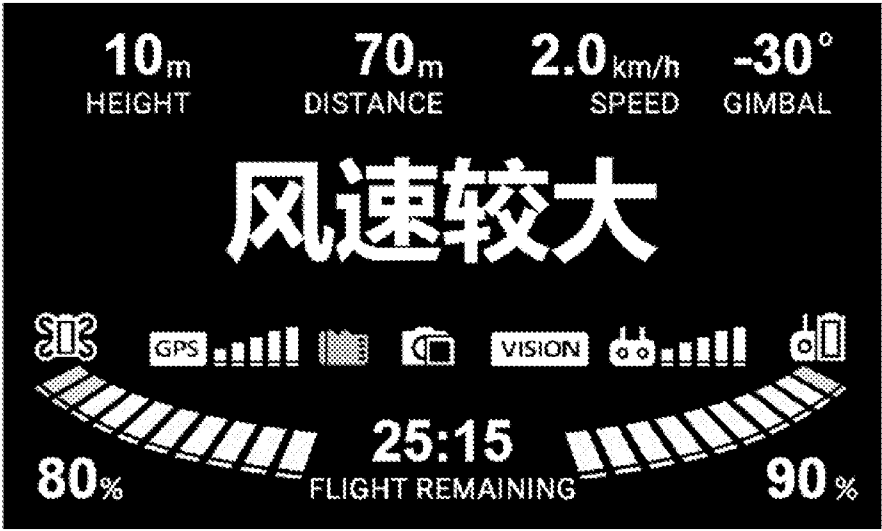


图 5

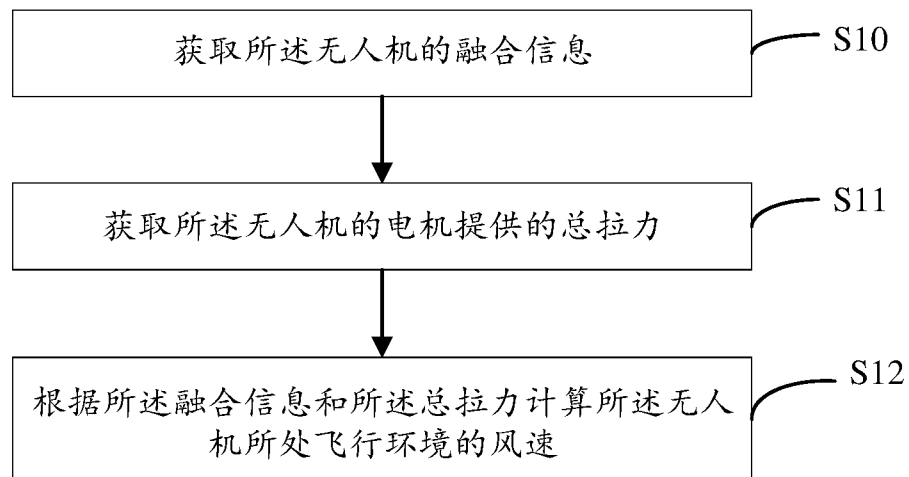


图 6

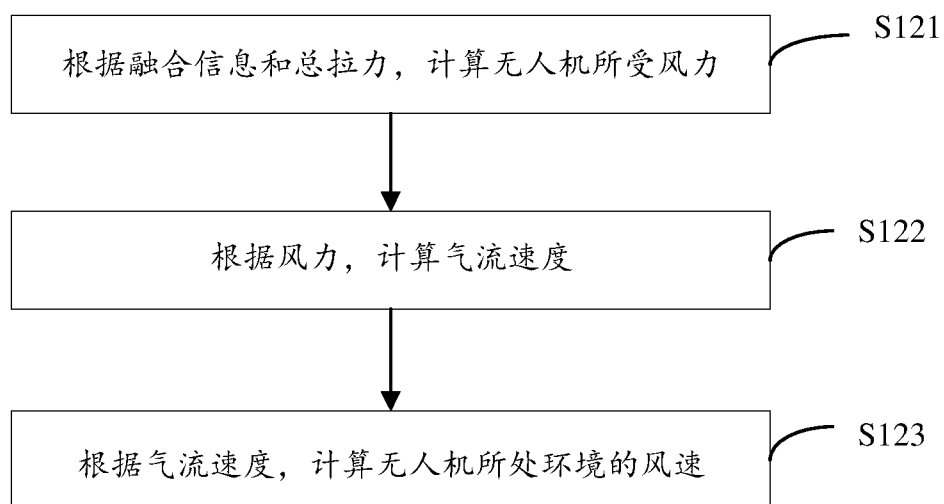


图 7

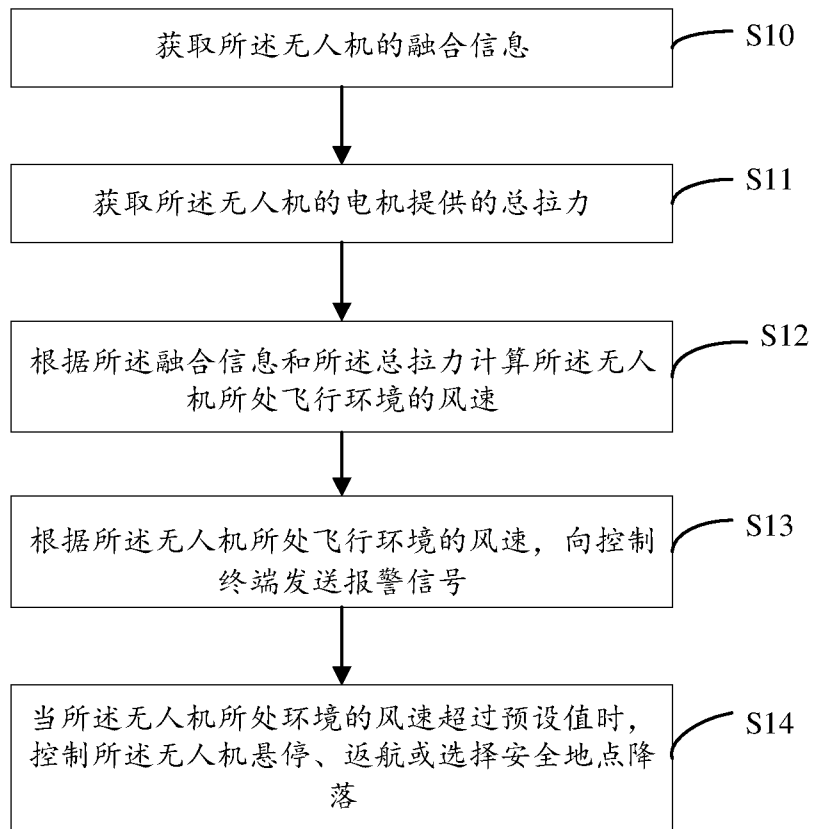


图 8

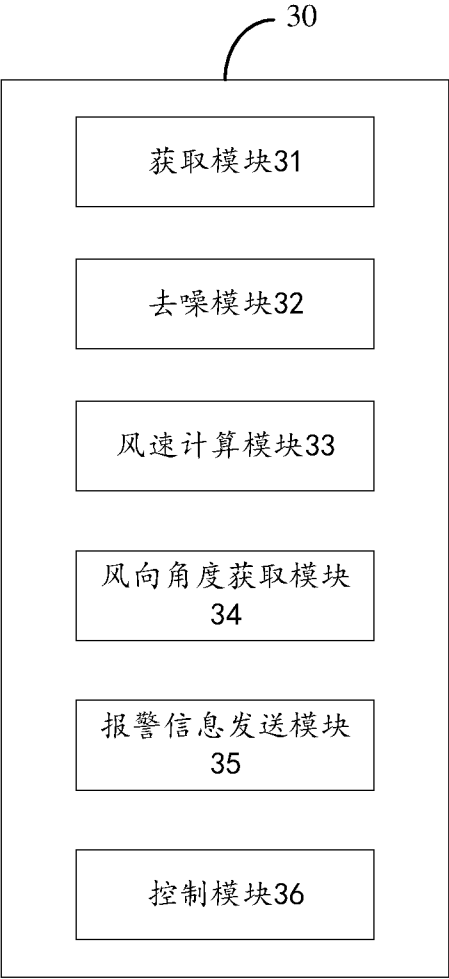


图 9

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2018/104956

**A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**

G01P 5/00(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)

G01P,G01W,G05D

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

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

VEN: unmanned, aircraft, aerial vehicle, wind, force, power, speed, velocity, propell, propulsion, CNABS: 无人机, 飞行器, 风速, 测风, 风, 速度, 拉力, 力, 推力, 推进力, 电机, 动力, 风力, 阻力

**C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT**

| Category* | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages                                                                          | Relevant to claim No. |
|-----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|
| A         | CN 105954819 A (NANJING UNIVERSITY OF INFORMATION SCIENCE & TECHNOLOGY) 21 September 2016 (2016-09-21)<br>description, paragraphs 5-26, and figures 1 and 2 | 1-52                  |
| A         | CN 107076775 A (SZ DJI TECHNOLOGY CO., LTD.) 18 August 2017 (2017-08-18)<br>entire document                                                                 | 1-52                  |
| A         | CN 108152529 A (CHENGDU AIRCRAFT INDUSTRIAL (GROUP) CO., LTD.) 12 June 2018 (2018-06-12)<br>entire document                                                 | 1-52                  |
| A         | CN 104459193 A (CHINA ACADEMY OF AEROSPACE AERODYNAMICS) 25 March 2015 (2015-03-25)<br>entire document                                                      | 1-52                  |
| A         | JP 6371895 B1 (WORLDLINK & COMPANY ET AL.) 08 August 2018 (2018-08-08)<br>entire document                                                                   | 1-52                  |
| A         | US 2014046510 A1 (RANDOLPH, M. S. ET AL.) 13 February 2014 (2014-02-13)<br>entire document                                                                  | 1-52                  |
| A         | US 4058010 A (APPROACH FISH) 15 November 1977 (1977-11-15)<br>entire document                                                                               | 1-52                  |



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

“&amp;” document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

10 June 2019

Date of mailing of the international search report

17 June 2019

Name and mailing address of the ISA/CN

**National Intellectual Property Administration, PRC (ISA/CN)**  
**No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao Haidian District, Beijing 100088**  
**China**

Facsimile No. (86-10)62019451

Authorized officer

Telephone No.

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**  
**Information on patent family members**

International application No.

**PCT/CN2018/104956**

| Patent document<br>cited in search report |            |    | Publication date<br>(day/month/year) | Patent family member(s) |              |    | Publication date<br>(day/month/year) |
|-------------------------------------------|------------|----|--------------------------------------|-------------------------|--------------|----|--------------------------------------|
| CN                                        | 105954819  | A  | 21 September 2016                    | CN                      | 105954819    | B  | 11 May 2018                          |
| CN                                        | 107076775  | A  | 18 August 2017                       | WO                      | 2018094682   | A1 | 31 May 2018                          |
|                                           |            |    |                                      | CN                      | 107076775    | B  | 30 April 2019                        |
| CN                                        | 108152529  | A  | 12 June 2018                         | None                    |              |    |                                      |
| CN                                        | 104459193  | A  | 25 March 2015                        | None                    |              |    |                                      |
| JP                                        | 6371895    | B1 | 08 August 2018                       | None                    |              |    |                                      |
| US                                        | 2014046510 | A1 | 13 February 2014                     | EP                      | 2883064      | A1 | 17 June 2015                         |
|                                           |            |    |                                      | JP                      | 2015526726   | A  | 10 September 2015                    |
|                                           |            |    |                                      | CA                      | 2881537      | A1 | 20 February 2014                     |
|                                           |            |    |                                      | WO                      | 2014028519   | A1 | 20 February 2014                     |
|                                           |            |    |                                      | KR                      | 20150043392  | A  | 22 April 2015                        |
|                                           |            |    |                                      | BR                      | 112015003179 | A2 | 08 August 2017                       |
|                                           |            |    |                                      | AU                      | 2013302738   | A1 | 05 March 2015                        |
| US                                        | 4058010    | A  | 15 November 1977                     | FR                      | 2347689      | A1 | 04 November 1977                     |
|                                           |            |    |                                      | JP                      | S52129577    | A  | 31 October 1977                      |
|                                           |            |    |                                      | GB                      | 1584721      | A  | 18 February 1981                     |
|                                           |            |    |                                      | CH                      | 619784       | A5 | 15 October 1980                      |
|                                           |            |    |                                      | CA                      | 1080510      | A  | 01 July 1980                         |
|                                           |            |    |                                      | AU                      | 2404677      | A  | 12 October 1978                      |
|                                           |            |    |                                      | US                      | 4152933      | A  | 08 May 1979                          |
|                                           |            |    |                                      | DE                      | 2714809      | A1 | 27 October 1977                      |
|                                           |            |    |                                      | GB                      | 1584722      | A  | 18 February 1981                     |

## 国际检索报告

国际申请号

PCT/CN2018/104956

## A. 主题的分类

G01P 5/00 (2006.01) i

按照国际专利分类 (IPC) 或者同时按照国家分类和 IPC 两种分类

## B. 检索领域

检索的最低限度文献 (标明分类系统和分类号)

G01P, G01W, G05D

包含在检索领域中的除最低限度文献以外的检索文献

在国际检索时查阅的电子数据库 (数据库的名称, 和使用的检索词 (如使用))

VEN: unmanned, aircraft, aerial vehicle, wind, force, power, speed, velocity, propell, propulsion, CNABS: 无人机, 飞行器, 风速, 测风, 风, 速度, 拉力, 力, 推力, 推进力, 电机, 动力, 风力, 阻力

## C. 相关文件

| 类 型* | 引用文件, 必要时, 指明相关段落                                                                          | 相关的权利要求 |
|------|--------------------------------------------------------------------------------------------|---------|
| A    | CN 105954819 A (南京信息工程大学) 2016年 9月 21日 (2016 - 09 - 21)<br>说明书第5-26段及附图1-2                 | 1-52    |
| A    | CN 107076775 A (深圳市大疆创新科技有限公司) 2017年 8月 18日 (2017 - 08 - 18)<br>全文                         | 1-52    |
| A    | CN 108152529 A (成都飞机工业集团有限责任公司) 2018年 6月 12日 (2018 - 06 - 12)<br>全文                        | 1-52    |
| A    | CN 104459193 A (中国航空气动力技术研究院) 2015年 3月 25日 (2015 - 03 - 25)<br>全文                          | 1-52    |
| A    | JP 6371895 B1 (株式会社W o r l d L i n k & C o m p a n y 等) 2018年 8月 8日 (2018 - 08 - 08)<br>全文 | 1-52    |
| A    | US 2014046510 A1 (RANDOLPH MICHAEL S等) 2014年 2月 13日 (2014 - 02 - 13)<br>全文                 | 1-52    |
| A    | US 4058010 A (APPROACH FISH) 1977年 11月 15日 (1977 - 11 - 15)<br>全文                          | 1-52    |

☐ 其余文件在C栏的续页中列出。☒ 见同族专利附件。

\* 引用文件的具体类型:

“A” 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件

“E” 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利

“L” 可能对优先权要求构成怀疑的文件, 或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件 (如具体说明的)

“O” 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件

“P” 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件

“T” 在申请日或优先权日之后公布, 与申请不相抵触, 但为了理解发明之理论或原理的在后文件

“X” 特别相关的文件, 单独考虑该文件, 认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性

“Y” 特别相关的文件, 当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时, 要求保护的发明不具有创造性

“&amp;” 同族专利的文件

国际检索实际完成的日期

2019年 6月 10日

国际检索报告邮寄日期

2019年 6月 17日

ISA/CN的名称和邮寄地址

中国国家知识产权局 (ISA/CN)

中国北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088

传真号 (86-10)62019451

受权官员

杨建坤

电话号码 62085816

国际检索报告  
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2018/104956

| 检索报告引用的专利文件 |            |    | 公布日<br>(年/月/日) | 同族专利 |              |    | 公布日<br>(年/月/日) |
|-------------|------------|----|----------------|------|--------------|----|----------------|
| CN          | 105954819  | A  | 2016年 9月 21日   | CN   | 105954819    | B  | 2018年 5月 11日   |
| CN          | 107076775  | A  | 2017年 8月 18日   | WO   | 2018094682   | A1 | 2018年 5月 31日   |
|             |            |    |                | CN   | 107076775    | B  | 2019年 4月 30日   |
| CN          | 108152529  | A  | 2018年 6月 12日   | 无    |              |    |                |
| CN          | 104459193  | A  | 2015年 3月 25日   | 无    |              |    |                |
| JP          | 6371895    | B1 | 2018年 8月 8日    | 无    |              |    |                |
| US          | 2014046510 | A1 | 2014年 2月 13日   | EP   | 2883064      | A1 | 2015年 6月 17日   |
|             |            |    |                | JP   | 2015526726   | A  | 2015年 9月 10日   |
|             |            |    |                | CA   | 2881537      | A1 | 2014年 2月 20日   |
|             |            |    |                | WO   | 2014028519   | A1 | 2014年 2月 20日   |
|             |            |    |                | KR   | 20150043392  | A  | 2015年 4月 22日   |
|             |            |    |                | BR   | 112015003179 | A2 | 2017年 8月 8日    |
|             |            |    |                | AU   | 2013302738   | A1 | 2015年 3月 5日    |
| US          | 4058010    | A  | 1977年 11月 15日  | FR   | 2347689      | A1 | 1977年 11月 4日   |
|             |            |    |                | JP   | S52129577    | A  | 1977年 10月 31日  |
|             |            |    |                | GB   | 1584721      | A  | 1981年 2月 18日   |
|             |            |    |                | CH   | 619784       | A5 | 1980年 10月 15日  |
|             |            |    |                | CA   | 1080510      | A  | 1980年 7月 1日    |
|             |            |    |                | AU   | 2404677      | A  | 1978年 10月 12日  |
|             |            |    |                | US   | 4152933      | A  | 1979年 5月 8日    |
|             |            |    |                | DE   | 2714809      | A1 | 1977年 10月 27日  |
|             |            |    |                | GB   | 1584722      | A  | 1981年 2月 18日   |