



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 108438220 A

(43)申请公布日 2018.08.24

(21)申请号 201810193389.4

(22)申请日 2018.03.09

(71)申请人 南京航空航天大学

地址 210016 江苏省南京市秦淮区御道街  
29号

(72)发明人 姜文 姚卫星 黄鸣阳

(74)专利代理机构 江苏圣典律师事务所 32237

代理人 贺翔

(51)Int.Cl.

B64C 33/02(2006.01)

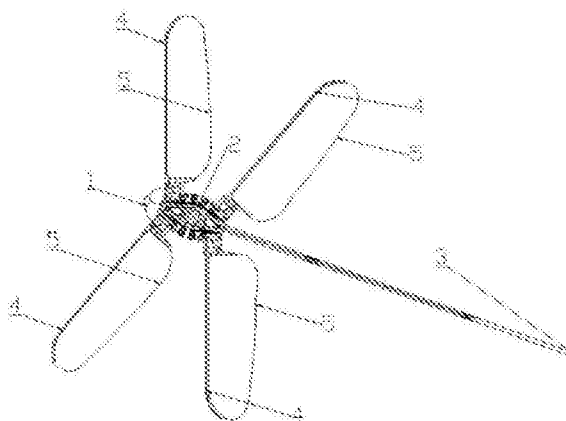
权利要求书2页 说明书5页 附图3页

(54)发明名称

一种多自由度仿蜻蜓扑翼飞行器及其控制方法

(57)摘要

本发明公开了一种多自由度仿蜻蜓扑翼飞行器及其控制方法,仿蜻蜓扑翼飞行器包含机身、机头、第一至第四翅膀、机尾、头部舵机和尾部舵机;机身包含机身骨架、第一至第四传动模块、电池模块和飞控模块,其中,第一至第四传动模块、电池模块、飞控模块均固定在机身骨架上;第一至第四传动模块均包含扑动电机、伞齿、一级减速齿轮、二级减速齿轮、输出齿轮、曲轴、转台、转柄、两根舵机拉杆、十字转盘和调节舵机。工作时,通过控制四个翅膀产生的升力合力的大小和方向,使得仿蜻蜓扑翼飞行器悬浮翻转等。本发明飞行姿态控制稳定性和可靠性更高,且结构紧凑重量轻,制造和装配时间短。



1. 一种多自由度仿蜻蜓扑翼飞行器,其特征在于,包含机身、机头、第一至第四翅膀、机尾、头部舵机和尾部舵机;

所述机身包含机身骨架、第一至第四传动模块、电池模块和飞控模块,其中,所述第一至第四传动模块、电池模块、飞控模块均固定在所述机身骨架上;

所述第一至第四传动模块均包含扑动电机、伞齿、一级减速齿轮、二级减速齿轮、输出齿轮、曲轴、转台、转柄、两根舵机拉杆、十字转盘和调节舵机;

所述扑动电机固定在所述机身骨架上,其输出轴和所述伞齿的输入端固连;

所述伞齿的输出端和所述一级减速齿轮的转轴固连;

所述一级减速齿轮和所述二级减速齿轮啮合,所述二级减速齿轮和所述输出齿轮啮合;

所述曲轴包含直线部和弯曲部,其直线部和所述输出齿轮的转轴固连;

所述转台呈圆环状,套在所述曲轴的直线部上、轴线和所述曲轴的直线部重合,其内壁通过轴承和所述机身骨架固连,使得转台能够相对所述机身骨架自由转动;

所述转台的外壁上朝外设有第一扑动转轴、第二扑动转轴,所述第一扑动转轴、第二扑动转轴的延长线均穿过所述转台的圆心且在同一条直线上;

所述转柄呈U字型,其两条直线边的顶端分别和所述第一扑动转轴、第二扑动转轴转动连接,使得所述转柄能够相对于所述转台转动;

所述转柄的两条直线边的内壁之间设有两条均和所述第一扑动转轴平行的挡片,该两条挡片将所述曲轴的弯曲部包含在内,使得所述转轴能够在所述曲轴弯曲部的带动下进行扑动;

所述调节舵机固定在机身骨架上,其输出轴和所述十字转盘的转轴固定相连;

所述两根舵机拉杆一端分别和所述十字转盘其中两个臂的顶点铰接、另一端分别和所述转台的外壁铰接;

所述调节舵机用于调节所述转台的转动角度、进而调节转柄的扑动方向;

所述第一至第四翅膀的根部分别和所述第一至第四传动模块中转柄的底边固定相连;

所述第一翅膀、第一传动模块、第二翅膀、第二传动模块和第三翅膀、第三传动模块、第四翅膀、第四传动模块关于中线对称;第一翅膀、第一传动模块、第三翅膀、第三传动模块和第二翅膀、第二传动模块、第四翅膀、第四传动模块关于中线对称;

所述头部舵机、尾部舵机均固定在所述机身骨架上,其输出轴分别通过头部牵引钢丝、尾部牵引钢丝和所述机头、机尾固定相连,分别用于调整机头、机尾的偏转方向;

所述飞控模块分别和电池模块、第一至第四传动模块的扑动电机、第一至第四传动模块的调节舵机、头部舵机、尾部舵机电气相连,用于根据外部命令控制第一至第四传动模块的扑动电机、第一至第四传动模块的调节舵机、头部舵机、尾部舵机工作。

2. 根据权利要求1所述的多自由度仿蜻蜓扑翼飞行器,其特征在于,所述第一至第四翅膀均包含翅膀骨架和翅膀薄膜,所述翅膀薄膜粘贴在翅膀骨架上。

3. 根据权利要求1所述的多自由度仿蜻蜓扑翼飞行器的控制方法,其特征在于,包含以下步骤:

需要垂直起降和悬停控制时:控制四个电机相同的转速相同,使得四个翅膀相同扑动频率,通过舵机转动转台,改变翅膀迎角,使得四个翅膀产生的升力合力方向与重力相反,

升力合力大小大于重力时垂直上升、升力合力大小小于重力时垂直降落、升力合力大小等于重力时悬停；

需要前飞时：控制四个电机相同的转速相同，使得四个翅膀相同扑动频率，通过舵机转动转台，改变翅膀迎角，使得四个翅膀产生的升力与重力平衡后合力方向向前；

需要倒飞时：控制四个电机相同的转速相同，使得四个翅膀相同扑动频率，通过舵机转动转台，改变翅膀迎角，使得四个翅膀产生的升力与重力平衡后合力方向向后；

需要滚转时：控制舵机不动，使得翅膀迎角不变，向右滚转时，增大左侧两个翅膀扑动频率，获得向右的滚转力矩；向左滚转时，增大右侧两个翅膀扑动频率，获得向左的滚转力矩；

需要俯仰时：控制舵机不动，保持翅膀迎角不变，抬头飞行时，增大前面两个翅膀扑动频率，向上拉动机尾，获得抬头力矩；低头飞行时，增大后面两个翅膀扑动频率较，向下拉动机尾，获得低头力矩；

需要偏航时：向左偏航时，增大右前和左后翅膀的扑动频率和迎角，向右转动机头部，获得左偏航力矩；向右偏航时，增大左前和右后翅膀的扑动频率和迎角，向左转动机头部，获得右偏航力矩。

## 一种多自由度仿蜻蜓扑翼飞行器及其控制方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及扑翼飞行器设计领域,尤其涉及一种多自由度仿蜻蜓扑翼飞行器及其控制方法。

### 背景技术

[0002] 蜻蜓是自然界飞行性能最优越的生物之一,他能在空中随意倒飞、侧飞、垂直飞行、甚至滑翔或悬停在空中。蜻蜓的特殊飞行本领,归功于其发达的翅肌和气囊,翅肌能快速扇动机翼和调整倾斜角度,气囊胆有空气,可调节体温,增加浮力。依靠神经系统控制机翼的倾斜角度,并与飞行速度和大气气压相适应,既产生向上的升力,又产生向前或向后的推力,实现自由飞行。翅膀每秒可振动30至50次,飞行速度可达9米/每秒。同时蜻蜓脑袋的扭动以及翅膀的差速扑动可以实现快速偏航飞行,尾巴的调节可以改变蜻蜓自身重力的分布,帮助其更好地实现悬停以及蜻蜓点水等动作。

[0003] 由于蜻蜓飞行性能的优越性,在仿生扑翼飞行器设计领域,仿生蜻蜓的设计和制作一直很受研究者的热衷。中国专利201710200396.8和201710200390.0提出了一种由单个电机加齿轮组的结构来控制四个翅膀扑动以及转动的设计,但是该设计只使用一个电机控制,翅膀的转动将会很难实现,传动机构将会比较复杂,增加了结构重量以及飞行姿态控制的难度。中国专利201010140927.7提出了一种微型仿蜻蜓扑翼飞行器的设计方案,该发明依旧还是使用尾部类似固定翼平尾和垂尾的方式来控制飞行器飞行姿态,与自然界中蜻蜓的飞行控制明显不同,仿生度不高。中国专利201710580936.X提出了一种可变幅值的仿蜻蜓扑翼飞行器,该发明改变了由尾部垂尾和平尾控制效率低的情况,采用单个舵机同时控制左右两个翅膀的扑动幅值,提高了飞行器的机动性。但是该专利只能控制左右翅膀同时改变扑动幅值,可以实现轻松的俯仰飞行控制,但是对于偏航以及悬停飞行控制很难实现。中国专利201610186265.4提出了一种仿生蜻蜓机器人,该发明采用四驱动扑翼的形式,四个扑翼可以独立旋转,飞行控制效率提高。但是四个电机以及四个舵机对于身材较小的仿生蜻蜓来说,结构的设计空间小,制作和装配难度很高,机身重量很容易超重,导致飞行器根本无法飞行。同时单纯的依靠四个翅膀的转动和扑动来控制仿生蜻蜓,在翅膀转动瞬间,尤其是不对称转动时,飞行器受力较大不易平衡,很容易失控掉落,飞行控制稳定性和可靠性不高。

### 发明内容

[0004] 本发明所要解决的技术问题是针对背景技术中所涉及到的缺陷,提供一种多自由度仿蜻蜓扑翼飞行器及其控制方法。

[0005] 本发明为解决上述技术问题采用以下技术方案:

一种多自由度仿蜻蜓扑翼飞行器,包含机身、机头、第一至第四翅膀、机尾、头部舵机和尾部舵机;

所述机身包含机身骨架、第一至第四传动模块、电池模块和飞控模块,其中,所述第一

至第四传动模块、电池模块、飞控模块均固定在所述机身骨架上；

所述第一至第四传动模块均包含扑动电机、伞齿、一级减速齿轮、二级减速齿轮、输出齿轮、曲轴、转台、转柄、两根舵机拉杆、十字转盘和调节舵机；

所述扑动电机固定在所述机身骨架上，其输出轴和所述伞齿的输入端固连；

所述伞齿的输出端和所述一级减速齿轮的转轴固连；

所述一级减速齿轮和所述二级减速齿轮啮合，所述二级减速齿轮和所述输出齿轮啮合；

所述曲轴包含直线部和弯曲部，其直线部和所述输出齿轮的转轴固连；

所述转台呈圆环状，套在所述曲轴的直线部上、轴线和所述曲轴的直线部重合，其内壁通过轴承和所述机身骨架固连，使得转台能够相对所述机身骨架自由转动；

所述转台的外壁上朝外设有第一扑动转轴、第二扑动转轴，所述第一扑动转轴、第二扑动转轴的延长线均穿过所述转台的圆心且在同一条直线上；

所述转柄呈U字型，其两条直线边的顶端分别和所述第一扑动转轴、第二扑动转轴转动连接，使得所述转柄能够相对于所述转台转动；

所述转柄的两条直线边的内壁之间设有两条均和所述第一扑动转轴平行的挡片，该两条挡片将所述曲轴的弯曲部包含在内，使得所述转轴能够在所述曲轴弯曲部的带动下进行扑动；

所述调节舵机固定在机身骨架上，其输出轴和所述十字转盘的转轴固定相连；

所述两根舵机拉杆一端分别和所述十字转盘其中两个臂的顶点铰接、另一端分别和所述转台的外壁铰接；

所述调节舵机用于调节所述转台的转动角度、进而调节转柄的扑动方向；

所述第一至第四翅膀的根部分别和所述第一至第四传动模块中转柄的底边固定相连；

所述第一翅膀、第一传动模块、第二翅膀、第二传动模块和第三翅膀、第三传动模块、第四翅膀、第四传动模块关于中线对称；第一翅膀、第一传动模块、第三翅膀、第三传动模块和第二翅膀、第二传动模块、第四翅膀、第四传动模块关于中线对称；

所述头部舵机、尾部舵机均固定在所述机身骨架上，其输出轴分别通过头部牵引钢丝、尾部牵引钢丝和所述机头、机尾固定相连，分别用于调整机头、机尾的偏转方向；

所述飞控模块分别和电池模块、第一至第四传动模块的扑动电机、第一至第四传动模块的调节舵机、头部舵机、尾部舵机电气相连，用于根据外部命令控制第一至第四传动模块的扑动电机、第一至第四传动模块的调节舵机、头部舵机、尾部舵机工作。

[0006] 作为本发明一种多自由度仿蜻蜓扑翼飞行器进一步的优化方案，所述第一至第四翅膀均包含翅膀骨架和翅膀薄膜，所述翅膀薄膜粘贴在翅膀骨架上。

[0007] 本发明还公开了一种该多自由度仿蜻蜓扑翼飞行器的控制方法，包含以下步骤：

需要垂直起降和悬停控制时：控制四个电机相同的转速相同，使得四个翅膀相同扑动频率，通过舵机转动转台，改变翅膀迎角，使得四个翅膀产生的升力合力方向与重力相反，升力合力大小大于重力时垂直上升、升力合力大小小于重力时垂直降落、升力合力大小等于重力时悬停；

需要前飞时：控制四个电机相同的转速相同，使得四个翅膀相同扑动频率，通过舵机转动转台，改变翅膀迎角，使得四个翅膀产生的升力与重力平衡后合力方向向前；

需要倒飞时:控制四个电机相同的转速相同,使得四个翅膀相同扑动频率,通过舵机转动转台,改变翅膀迎角,使得四个翅膀产生的升力与重力平衡后合力方向向后;

需要滚转时:控制舵机不动,使得翅膀迎角不变,向右滚转时,增大左侧两个翅膀扑动频率,获得向右的滚转力矩;向左滚转时,增大右侧两个翅膀扑动频率,获得向左的滚转力矩;

需要俯仰时:控制舵机不动,保持翅膀迎角不变,抬头飞行时,增大前面两个翅膀扑动频率,向上拉动机尾,获得抬头力矩;低头飞行时,增大后面两个翅膀扑动频率,向下拉动机尾,获得低头力矩;

需要偏航时:向左偏航时,增大右前和左后翅膀的扑动频率和迎角,向右转动机头部,获得左偏航力矩;向右偏航时,增大左前和右后翅膀的扑动频率和迎角,向左转动机头部,获得右偏航力矩。

[0008] 本发明采用以上技术方案与现有技术相比,具有以下技术效果:

- 1.外形仿真度高,控制方法和自然界中蜻蜓更接近;
- 2.仿生蜻蜓四个翅膀可以各自单独扑动和转动,同时其头可以左右运动,尾巴可以上下运动,整个飞行器具有十个运动自由度;
- 3.可实现悬停、前飞、倒飞、偏航飞行、俯仰飞行多姿态飞行;
- 4.多自由度协同控制,飞行姿态控制稳定性和可靠性更高;
- 5.采用3D打印机身骨架结构,结构紧凑重量轻,缩短制造和装配时间。

## 附图说明

[0009] 图1是本发明的全机俯视图;

图2是本发明的机身骨架结构图;

图3是本发明的机身结构装配图;

图4是本发明的全机右视图;

图5是本发明的转动变扑动结构细节图;

图6是本发明的头部控制结构细节图;

图7是本发明的尾巴控制结构细节图。

[0010] 图中,1-机头,2-机身骨架,3-机尾,4-翅膀骨架,5-翅膀薄膜,6-电机,7-伞齿,8-一级减速齿轮,9-二级减速齿轮,10-输出齿轮,11-曲轴,12-转台,13-转柄,14-大力矩舵机,15-舵机拉杆,16-飞控模块,17-头部舵机,18-头部牵引钢丝,19-尾部牵引钢丝,20-尾部舵机。

## 具体实施方式

[0011] 下面结合附图对本发明的技术方案做进一步的详细说明:

本发明可以以许多不同的形式实现,而不应当认为限于这里所述的实施例。相反,提供这些实施例以便使本公开透彻且完整,并且将向本领域技术人员充分表达本发明的范围。在附图中,为了清楚起见放大了组件。

[0012] 如图1所示,本发明公开了一种3D打印成型的多自由度仿蜻蜓扑翼飞行器,包括机身、机头、第一至第四翅膀、机尾、头部舵机和尾部舵机。

[0013] 如图2至图5所示,所述机身包含机身骨架、第一至第四传动模块、电池模块和飞控模块,其中,所述第一至第四传动模块、电池模块、飞控模块均固定在所述机身骨架上。

[0014] 所述第一至第四传动模块均包含扑动电机、伞齿、一级减速齿轮、二级减速齿轮、输出齿轮、曲轴、转台、转柄、两根舵机拉杆、十字转盘和调节舵机;所述扑动电机固定在所述机身骨架上,其输出轴和所述伞齿的输入端固连;所述伞齿的输出端和所述一级减速齿轮的转轴固连;所述一级减速齿轮和所述二级减速齿轮啮合,所述二级减速齿轮和所述输出齿轮啮合;所述曲轴包含直线部和弯曲部,其直线部和所述输出齿轮的转轴固连;所述转台呈圆环状,套在所述曲轴的直线部上、轴线和所述曲轴的直线部重合,其内壁通过轴承和所述机身骨架固连,使得转台能够相对所述机身骨架自由转动;所述转台的外壁上朝外设有第一扑动转轴、第二扑动转轴,所述第一扑动转轴、第二扑动转轴的延长线均穿过所述转台的圆心且在同一条直线上;所述转柄呈U字型,其两条直线边的顶端分别和所述第一扑动转轴、第二扑动转轴转动连接,使得所述转柄能够相对于所述转台转动;所述转柄的两条直线边的内壁之间设有两条均和所述第一扑动转轴平行的挡片,该两条挡片将所述曲轴的弯曲部包含在内,使得所述转轴能够在所述曲轴弯曲部的带动下进行扑动;所述调节舵机固定在机身骨架上,其输出轴和所述十字转盘的转轴固定相连;所述两根舵机拉杆一端分别和所述十字转盘其中两个臂的顶点铰接、另一端分别和所述转台的外壁铰接;所述调节舵机用于调节所述转台的转动角度、进而调节转柄的扑动方向;所述第一至第四翅膀的根部分别和所述第一至第四传动模块中转柄的底边固定相连。

[0015] 所述第一翅膀、第一传动模块、第二翅膀、第二传动模块和第三翅膀、第三传动模块、第四翅膀、第四传动模块关于中线对称;第一翅膀、第一传动模块、第三翅膀、第三传动模块和第二翅膀、第二传动模块、第四翅膀、第四传动模块关于中线对称;

所述头部舵机、尾部舵机均固定在所述机身骨架上,其输出轴分别通过头部牵引钢丝、尾部牵引钢丝和所述机头、机尾固定相连,分别用于调整机头、机尾的偏转方向。

[0016] 所述飞控模块分别和电池模块、第一至第四传动模块的扑动电机、第一至第四传动模块的调节舵机、头部舵机、尾部舵机电气相连,用于根据外部命令控制第一至第四传动模块的扑动电机、第一至第四传动模块的调节舵机、头部舵机、尾部舵机工作。

[0017] 所述第一至第四翅膀均包含翅膀骨架和翅膀薄膜,所述翅膀薄膜粘贴在翅膀骨架上。

[0018] 如图6所示,机头与机身骨架连接,并且与头部牵引钢丝两端连接。头部牵引钢丝中间与机身上的头部舵机连接,头部舵机转动后,带动头部牵引钢丝拉动机头部偏航转动。

[0019] 机身中的曲轴在转柄中转动,带动转柄扑动,从而实现蜻蜓翅膀的扑动运动。转台与机身骨架以及舵机拉杆连接,机身中的舵机拉动舵机拉杆,可以使转台转动,从而改变翅膀的迎角实现翅膀的转动运动。

[0020] 如图7所示,所述尾巴包括机尾和尾部牵引钢丝。机尾与机身骨架连接。尾部牵引钢丝一端与机尾连接,另一端与机身上的尾部舵机连接,通过尾部舵机转动,带动机尾俯仰运动。

[0021] 本发明还公开了一种该多自由度仿蜻蜓扑翼飞行器的控制方法,包含以下步骤:

需要垂直起降和悬停控制时:控制四个电机相同的转速相同,使得四个翅膀相同扑动频率,通过舵机转动转台,改变翅膀迎角,使得四个翅膀产生的升力合力方向与重力相反,

升力合力大小大于重力时垂直上升、升力合力大小小于重力时垂直降落、升力合力大小等于重力时悬停；

需要前飞时：控制四个电机相同的转速相同，使得四个翅膀相同扑动频率，通过舵机转动转台，改变翅膀迎角，使得四个翅膀产生的升力与重力平衡后合力方向向前；

需要倒飞时：控制四个电机相同的转速相同，使得四个翅膀相同扑动频率，通过舵机转动转台，改变翅膀迎角，使得四个翅膀产生的升力与重力平衡后合力方向向后；

需要滚转时：控制舵机不动，使得翅膀迎角不变，向右滚转时，增大左侧两个翅膀扑动频率，获得向右的滚转力矩；向左滚转时，增大右侧两个翅膀扑动频率，获得向左的滚转力矩；

需要俯仰时：控制舵机不动，保持翅膀迎角不变，抬头飞行时，增大前面两个翅膀扑动频率，向上拉动机尾，获得抬头力矩；低头飞行时，增大后面两个翅膀扑动频率，向下拉动机尾，获得低头力矩；

需要偏航时：向左偏航时，增大右前和左后翅膀的扑动频率和迎角，向右转动机头部，获得左偏航力矩；向右偏航时，增大左前和右后翅膀的扑动频率和迎角，向左转动机头部，获得右偏航力矩。

[0022] 本技术领域技术人员可以理解的是，除非另外定义，这里使用的所有术语（包括技术术语和科学术语）具有与本发明所属领域中的普通技术人员的一般理解相同的意义。还应该理解的是，诸如通用字典中定义的那些术语应该被理解为具有与现有技术的上下文中的意义一致的意义，并且除非像这里一样定义，不会用理想化或过于正式的含义来解释。

[0023] 以上所述的具体实施方式，对本发明的目的、技术方案和有益效果进行了进一步详细说明，所应理解的是，以上所述仅为本发明的具体实施方式而已，并不用于限制本发明，凡在本发明的精神和原则之内，所做的任何修改、等同替换、改进等，均应包含在本发明的保护范围之内。



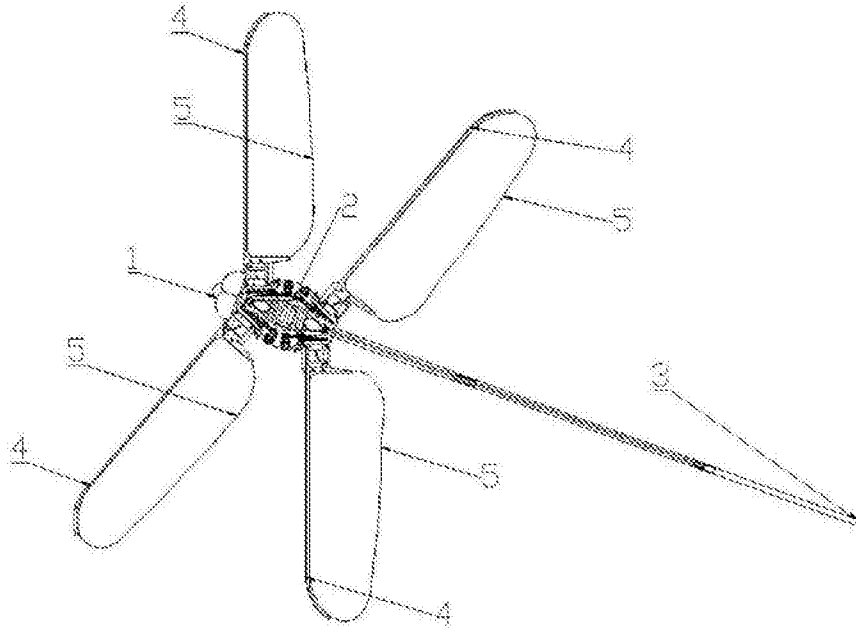


图1

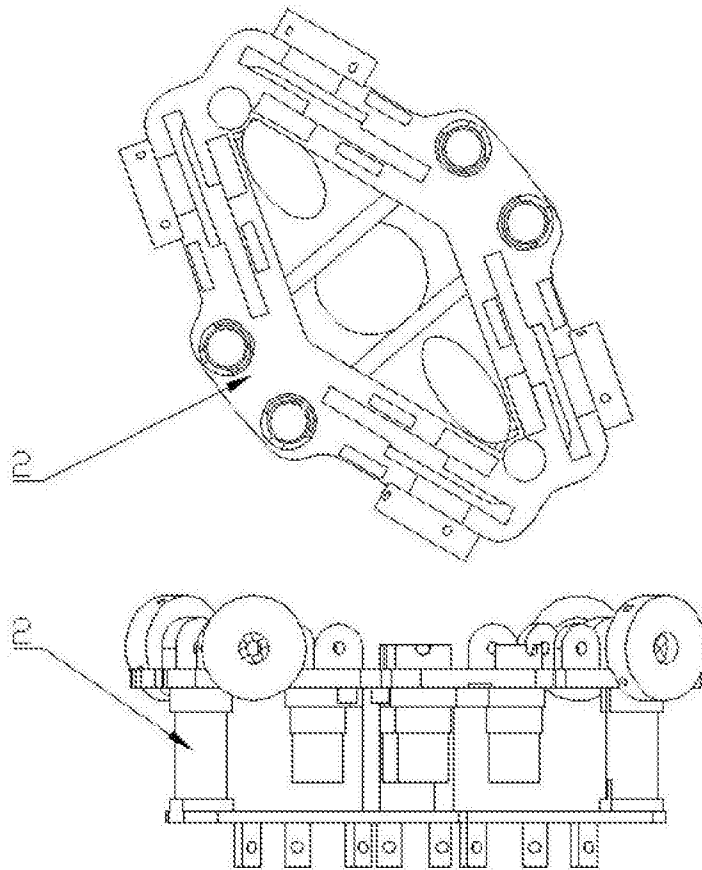


图2

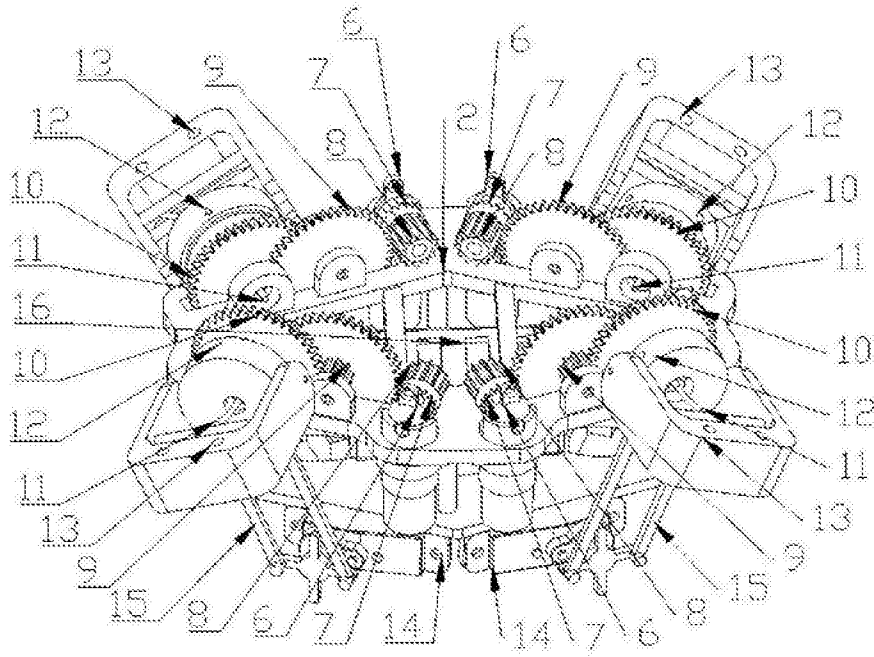


图3

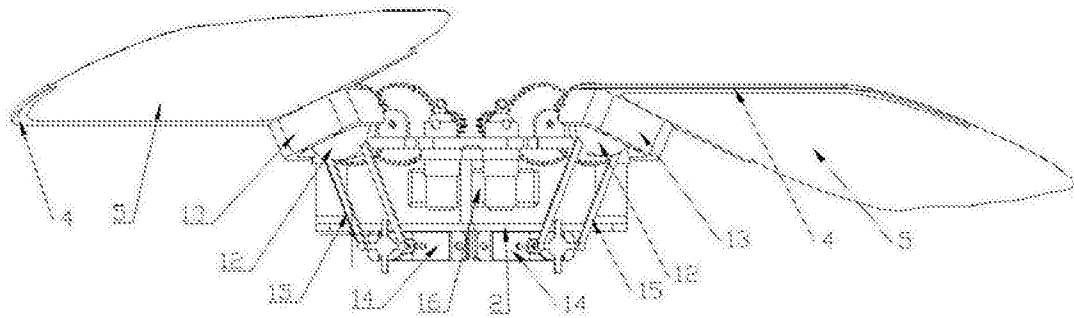


图4

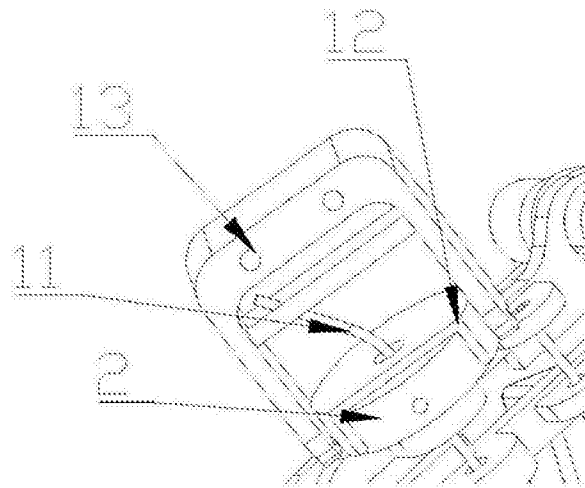


图5

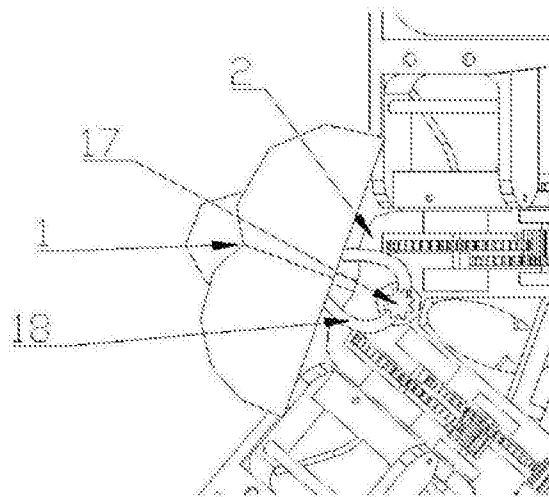


图6

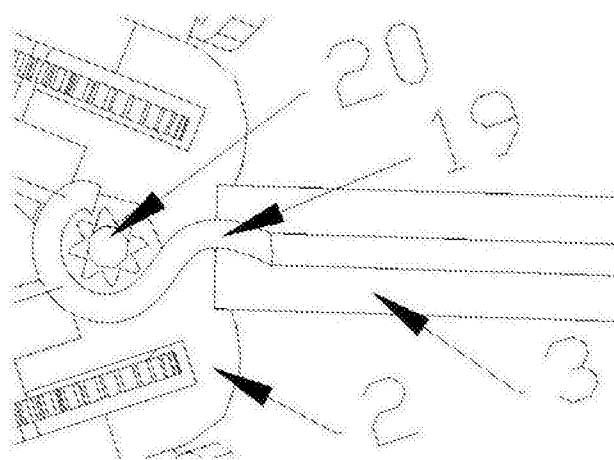


图7