



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 111498095 A

(43)申请公布日 2020.08.07

(21)申请号 202010001065.3

B64C 27/605(2006.01)

(22)申请日 2020.01.02

B64C 13/00(2006.01)

(30)优先权数据

62/787,602 2019.01.02 US

16/416,508 2019.05.20 US

(71)申请人 贝尔德事隆公司

地址 美国德克萨斯州

(72)发明人 卢克·道菲德·吉莱特 金成均

罗伯特·厄尔·沃沙姆二世

(74)专利代理机构 北京集佳知识产权代理有限公司

11227

代理人 陈炜 李德山

(51)Int.Cl.

B64C 27/08(2006.01)

B64C 27/54(2006.01)

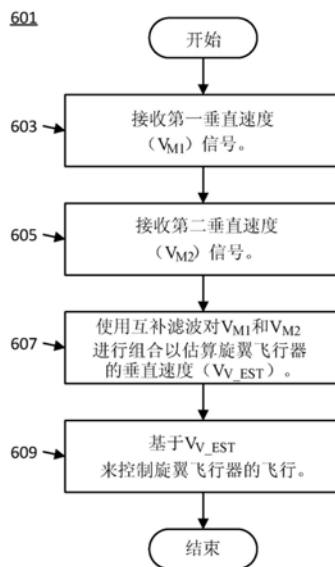
权利要求书3页 说明书12页 附图9页

(54)发明名称

用于控制旋翼飞行器的系统及方法

(57)摘要

在实施方式中,旋翼飞行器包括:飞行控制计算机,其被配置成:从旋翼飞行器的第一飞行器传感器接收第一传感器信号;从旋翼飞行器的第二飞行器传感器接收第二传感器信号,第二飞行器传感器与第一飞行器传感器不同;使用互补滤波器对第一传感器信号和第二传感器信号进行组合以确定旋翼飞行器的估算垂直速度;根据旋翼飞行器的估算垂直速度而调节旋翼飞行器的飞行控制设备,从而改变旋翼飞行器的飞行特性;以及响应于检测到旋翼飞行器着地而重置互补滤波器。



1. 一种方法,包括:

从旋翼飞行器的第一飞行器传感器接收第一传感器信号,所述第一传感器信号包括所述旋翼飞行器的原始空速值;

从所述旋翼飞行器的第二飞行器传感器接收第二传感器信号,所述第二飞行器传感器与所述第一飞行器传感器不同;

测量所述旋翼飞行器的第一速度,所述第一速度为所述旋翼飞行器的地面速度或所述旋翼飞行器的原始空速;

确定所述旋翼飞行器的空速值,所述确定包括:

响应于所述旋翼飞行器的所述第一速度小于或等于预定值,使用所述第一传感器信号中的原始空速值作为所确定的空速值;以及

响应于所述旋翼飞行器的所述第一速度大于所述预定值,估算所述确定的空速值,所述估算包括:

使用互补滤波器对所述第一传感器信号和所述第二传感器信号进行组合以确定估算的空速值;以及

使用所述估算的空速值作为所述确定的空速值;以及

根据所述确定的空速值调节所述旋翼飞行器的飞行控制设备。

2. 根据权利要求1所述的方法,其中,对所述第一传感器信号和所述第二传感器信号进行组合包括:

相对于时间对所述第二传感器信号进行积分以获得第一滤波信号;以及

将所述第一滤波信号和所述第一传感器信号相加以获得第二滤波信号,所述第二滤波信号包括所述旋翼飞行器的所述估算的空速值。

3. 根据权利要求1所述的方法,其中,所述第一飞行器传感器是皮托管。

4. 根据权利要求1所述的方法,其中,所述第二飞行器传感器是加速度计。

5. 根据权利要求1所述的方法,其中,当所述旋翼飞行器正在加速时,所述预定值是第一阈值,并且当所述旋翼飞行器正在减速时,所述预定值是第二阈值,所述第二阈值小于所述第一阈值。

6. 根据权利要求5所述的方法,其中,所述第一阈值为40节,以及所述第二阈值为25节。

7. 一种旋翼飞行器,包括:

皮托管;

加速度计;

多个飞行控制设备;以及

飞行控制计算机,其耦接至所述皮托管、所述加速度计以及所述飞行控制设备,所述飞行控制计算机被配置成进行如下操作:

从所述皮托管接收所述旋翼飞行器的原始空速值;

从所述加速度计接收所述旋翼飞行器的原始前进加速度值;

测量所述旋翼飞行器的第一速度,所述第一速度为所述旋翼飞行器的地面速度或所述旋翼飞行器的原始空速;

通过如下操作确定所述旋翼飞行器的空速值:

响应于所述旋翼飞行器的所述第一速度小于或等于预定值,使用所述原始空速值作为

所确定的空速值;以及

响应于所述旋翼飞行器的所述第一速度大于所述预定值,通过将所述原始空速值和所述原始前进加速度值进行组合来估算所述确定的空速值;以及

根据所述确定的空速值调节所述旋翼飞行器的飞行控制设备。

8. 根据权利要求7所述的旋翼飞行器,其中,所述飞行控制计算机被配置成通过如下操作来估算所述确定的空速值:

使用互补滤波器对所述原始空速值和所述原始前进加速度值进行组合以确定估算的空速值;以及

使用所述估算的空速值作为所述确定的空速值。

9. 根据权利要求8所述的旋翼飞行器,其中,所述飞行控制计算机被配置成通过如下操作来对所述原始空速值和所述原始前进加速度值进行组合:

相对于时间对所述原始前进加速度值进行积分以获得积分的前进加速度值;以及

将所述积分的前进加速度值和所述原始空速值相加以获得所述估算的空速值。

10. 根据权利要求7所述的旋翼飞行器,其中,当所述旋翼飞行器的所述第一速度小于或等于所述预定值时,所述预定值是第一阈值,以及当所述旋翼飞行器的所述第一速度大于所述预定值时,所述预定值是第二阈值,所述第二阈值小于所述第一阈值。

11. 一种方法,包括:

从旋翼飞行器的第一飞行器传感器接收第一传感器信号;

从所述旋翼飞行器的第二飞行器传感器接收第二传感器信号,所述第二飞行器传感器与所述第一飞行器传感器不同;

使用互补滤波器对所述第一传感器信号和所述第二传感器信号进行组合以确定所述旋翼飞行器的估算速度;

根据所述旋翼飞行器的所述估算速度调节所述旋翼飞行器的飞行控制设备;

测量所述旋翼飞行器的第一速度,所述第一速度为所述旋翼飞行器的地面速度或所述旋翼飞行器的原始空速;以及

响应于所述旋翼飞行器的所述第一速度小于预定阈值而重置所述互补滤波器。

12. 根据权利要求11所述的方法,其中,所述旋翼飞行器的所述估算速度是所述旋翼飞行器的估算的垂直速度。

13. 根据权利要求11所述的方法,其中,所述旋翼飞行器的所述估算速度是所述旋翼飞行器的估算的空速。

14. 根据权利要求11所述的方法,其中,使用所述互补滤波器对所述第一传感器信号和所述第二传感器信号进行组合包括:

使用第一滤波器对所述第一传感器信号进行滤波以获得第一滤波信号;

使用第二滤波器对所述第二传感器信号进行滤波以获得第二滤波信号,所述第二滤波器和所述第一滤波器彼此互补;以及

将所述第一滤波信号和所述第二滤波信号相加以确定所述旋翼飞行器的所述估算速度。

15. 根据权利要求11所述的方法,其中,使用所述互补滤波器对所述第一传感器信号和所述第二传感器信号进行组合包括:

从所述第二传感器信号减去所述第一传感器信号以获得噪声差值信号；  
对所述噪声差值信号进行滤波以获得滤波差值信号；以及  
将所述第一传感器信号和所述滤波差值信号相加以确定所述旋翼飞行器的所述估算速度。

16. 根据权利要求11所述的方法，其中，所述第一飞行器传感器是加速度计。

17. 根据权利要求16所述的方法，其中，接收所述第一传感器信号包括：

从所述加速度计接收加速度信号；以及

对所述加速度信号进行积分以获得所述第一传感器信号。

18. 根据权利要求11所述的方法，其中，所述第二飞行器传感器是皮托管。

19. 根据权利要求18所述的方法，其中，接收所述第二传感器信号包括：

从所述皮托管接收速度信号；以及

使用所述速度信号作为所述第二传感器信号。

20. 根据权利要求11所述的方法，其中，调节所述旋翼飞行器的飞行控制设备包括：

根据所述估算速度将所述旋翼飞行器的飞行员飞行控制与所述飞行控制设备解耦。

21. 根据权利要求11所述的方法，其中，所述第一速度为所述旋翼飞行器的地面速度。

22. 根据权利要求11所述的方法，其中，所述第一速度为所述旋翼飞行器的原始空速。

## 用于控制旋翼飞行器的系统及方法

[0001] 优先权声明和交叉引用

[0002] 本申请为于2018年6月1日提交的题为“System and Method for Controlling Rotorcraft (用于控制旋翼飞行器的系统及方法)”的美国专利申请第15/996,132号的部分继续申请,其整体通过引用并入本文中。

[0003] 本申请还请求了于2019年1月2日提交的题为“System and Method for Controlling a Rotorcraft (用于控制旋翼飞行器的系统及方法)”的美国临时专利申请第62/787,602号的权益和优先权,其整体通过引用并入本文中。

### 背景技术

[0004] 旋翼飞行器可以包括一个或更多个旋翼系统,该旋翼系统包含一个或更多个主旋翼系统。主旋翼系统产生支承飞行中的旋翼飞行器的重量的气动升力以及在向前飞行时移动旋翼飞行器的推力。旋翼飞行器旋翼系统的另一示例是尾旋翼系统。尾旋翼系统可以在与主旋翼系统的旋转方向相同的方向上产生推力,以抵消由主旋翼系统产生的扭矩影响。为了旋翼飞行器平稳且有效的飞行,飞行员对发动机动力、主旋翼总推力、主旋翼循环推力和尾旋翼推力进行平衡,并且控制系统可以辅助飞行员稳定旋翼飞行器并且减少飞行员工作负担。

### 发明内容

[0005] 在实施方式中,一种方法包括:从旋翼飞行器的第一飞行器传感器接收第一传感器信号,第一传感器信号包括旋翼飞行器的原始空速值;从旋翼飞行器的第二飞行器传感器接收第二传感器信号,第二飞行器传感器与第一飞行器传感器不同;测量旋翼飞行器的第一速度,第一速度为旋翼飞行器的地面速度或旋翼飞行器的原始空速;确定旋翼飞行器的空速值,所述确定包括:响应于旋翼飞行器的第一速度小于或等于预定值,使用第一传感器信号中的原始空速值作为确定的空速值,以及响应于旋翼飞行器的第一速度大于预定值,估算确定的空速值,所述估算包括:使用互补滤波器对第一传感器信号和第二传感器信号进行组合以确定估算的空速值,以及使用估算的空速值作为确定的空速值;以及根据确定的空速值调节旋翼飞行器的飞行控制设备。

[0006] 在方法的一些实施方式中,将第一传感器信号和第二传感器信号进行组合包括:相对于时间对第二传感器信号进行积分以获得第一滤波信号;以及将第一滤波信号和第一传感器信号相加以获得第二滤波信号,第二滤波信号包括旋翼飞行器的估算的空速值。在该方法的一些实施方式中,第一飞行器传感器是皮托管。在该方法的一些实施方式中,第二飞行器传感器是加速度计。在该方法的一些实施方式中,当旋翼飞行器在加速时,预定值是第一阈值,以及当旋翼飞行器在减速时,预定值是第二阈值,第二阈值小于第一阈值。在该方法的一些实施方式中,第一阈值为40节,以及第二阈值为25节。

[0007] 在实施方式中,一种旋翼飞行器包括:皮托管;加速度计;多个飞行控制设备;以及耦接至皮托管、加速度计和飞行控制设备的飞行控制计算机,飞行控制计算机被配置成:从

皮托管接收旋翼飞行器的原始空速值；从加速度计接收旋翼飞行器的原始前进加速度值；测量旋翼飞行器的第一速度，第一速度为旋翼飞行器的地面速度或旋翼飞行器的原始空速；通过如下操作确定旋翼飞行器的空速值：响应于旋翼飞行器的第一速度小于或等于预定值，使用原始空速值作为确定的空速值；以及响应于旋翼飞行器的第一速度大于预定值，通过将原始空速值与原始前进加速度值进行组合来估算确定的空速值；以及根据确定的空速值调节旋翼飞行器的飞行控制设备。

[0008] 在旋翼飞行器的一些实施方式中，飞行控制计算机被配置成通过如下操作来估算确定的空速值：使用互补滤波器对原始空速值和原始前进加速度值进行组合以确定估算的空速值；以及使用估算的空速值作为确定的空速值。在旋翼飞行器的一些实施方式中，飞行控制计算机被配置成通过如下操作来将原始空速值和原始前进加速度值进行组合：相对于时间对原始前进加速度值进行积分以获得积分的前进加速度值；以及将积分的前进加速度值和原始空速值相加以获得估算的空速值。在旋翼飞行器的一些实施方式中，当旋翼飞行器的第一速度小于或等于预定值时，预定值是第一阈值，以及当旋翼飞行器的第一速度大于预定值时，预定值是第二阈值，第二阈值小于第一阈值。

[0009] 在实施方式中，一种方法包括：从旋翼飞行器的第一飞行器传感器接收第一传感器信号；从旋翼飞行器的第二飞行器传感器接收第二传感器信号，第二飞行器传感器与第一飞行器传感器不同；使用互补滤波器对第一传感器信号和第二传感器信号进行组合以确定旋翼飞行器的估算速度；根据旋翼飞行器的估算速度调节旋翼飞行器的飞行控制设备；测量旋翼飞行器的第一速度，第一速度为旋翼飞行器的地面速度或旋翼飞行器的原始空速；以及响应于旋翼飞行器的第一速度小于预定阈值而重置互补滤波器。

[0010] 在该方法的一些实施方式中，旋翼飞行器的估算速度是旋翼飞行器的估算的垂直速度。在该方法的一些实施方式中，旋翼飞行器的估算速度是旋翼飞行器的估算的空速。在该方法的一些实施方式中，使用互补滤波器对第一传感器信号和第二传感器信号进行组合包括：用第一滤波器对第一传感器信号进行滤波以获得第一滤波信号；用第二滤波器对第二传感器信号进行滤波以获得第二滤波信号，第二滤波器和第一滤波器彼此互补；以及将第一滤波信号和第二滤波信号相加以确定旋翼飞行器的估算速度。在该方法的一些实施方式中，使用互补滤波器对第一传感器信号和第二传感器信号进行组合包括：从第二传感器信号减去第一传感器信号以获得噪声差值信号；对噪声差值信号进行滤波以获得滤波差值信号；以及将第一传感器信号和滤波差值信号相加以确定旋翼飞行器的估算速度。在该方法的一些实施方式中，第一飞行器传感器是加速度计。在该方法的一些实施方式中，接收第一传感器信号包括：从加速度计接收加速度信号；以及对加速度信号进行积分以获得第一传感器信号。在该方法的一些实施方式中，第二飞行器传感器是皮托管。在该方法的一些实施方式中，接收第二传感器信号包括：从皮托管接收速度信号；以及使用速度信号作为第二传感器信号。在该方法的一些实施方式中，调节旋翼飞行器的飞行控制设备包括：根据估算的速度将旋翼飞行器的飞行员飞行控制与飞行控制设备解耦。在该方法的一些实施方式中，第一速度为旋翼飞行器的地面速度。在该方法的一些实施方式中，第一速度为旋翼飞行器的原始空速。

## 附图说明

[0011] 为了更完整地理解本发明及其优点,现在参照结合附图给出的下列描述,在附图中:

[0012] 图1示出了根据一些实施方式的旋翼飞行器;

[0013] 图2A是根据一些实施方式的电传飞行控制系统的框图;

[0014] 图2B示出了根据一些实施方式的驾驶舱的内部;

[0015] 图3是根据一些实施方式的三回路飞行控制系统的框图;

[0016] 图4是根据一些实施方式的用于垂直速度估算的第一系统的框图;

[0017] 图5是根据一些实施方式的用于垂直速度估算的第二系统的框图;

[0018] 图6是根据一些实施方式的用于垂直速度估算的方法的框图;

[0019] 图7是根据一些实施方式的滤波器的框图;

[0020] 图8是根据一些实施方式的用于空速估算的方法的框图;以及

[0021] 图9是根据一些实施方式的滤波器的框图。

## 具体实施方式

[0022] 下面描述本公开内容的系统和方法的说明性实施方式。为清楚起见,在本说明书中可能没有描述实际实现的所有特征。当然,应当理解的是,在任何这样的实际实施方式的开发中,可以做出许多特定于实现方式的决策以实现开发者的特定目标,例如,遵守系统相关和商业相关的约束,这将随实现方式的不同而不同。此外,应该理解的是,这样的开发努力可能是复杂且耗时的,但是对于受益于本公开内容的本领域的普通技术人员而言仍然是日常任务。

[0023] 在本文中,在描绘附图中的设备时,可以参考各个部件之间的空间关系以及部件的各个方面的空间取向。然而,如本领域技术人员在完整阅读本公开内容之后将会认识到的,本文所描述的设备、构件、装置等可以以任何期望的取向来放置。因此,由于本文中描述的设备可以以任何期望的方向定向,因此使用诸如“在.....上方”、“在.....下方”、“上部”、“下部”的术语或其他类似术语来描述各个部件之间的空间关系或描述这样的部件的各方面的空间取向应当分别被理解成描述这些部件之间的相对关系或这样的部件的各方面的空间取向。

[0024] 旋翼飞行器的使用增加,特别是对于商业应用和工业应用,导致了更大更复杂的旋翼飞行器的发展。然而,随着旋翼飞行器变得越来越大且越来越复杂,飞行旋翼飞行器与固定翼飞行器之间的差异也变得越来越明显。由于旋翼飞行器使用一个或更多个主旋翼来同时提供升力、控制姿态、控制高度并且提供横向移动或位置移动,因此不同的飞行参数和控制装置彼此紧密地耦合,因为主旋翼的空气动力特性影响每个控制装置和移动轴。例如,旋翼飞行器在巡航速度或高速下的飞行特性可能与在悬停时或相对较低速度下的飞行特性显著不同。另外,对于主旋翼上的不同轴的不同飞行控制输入(例如,周期距(cyclic)输入或总距(collective)输入)影响旋翼飞行器的其他飞行控制装置或飞行特性。例如,使旋翼飞行器的机头向前俯仰来增加前进速度将通常导致旋翼飞行器高度降低。在这种情况下,可以增加总距来保持水平飞行,但是总距的增加需要主旋翼处的动力增加,这又需要来自尾旋翼的额外的反扭矩力。这与固定翼系统形成对比,在固定翼系统中,控制输入较少彼

此密切相关,并且不同速度状态下的飞行特性彼此更密切相关。

[0025] 近来,在旋翼飞行器中引入了电传(fly-by-wire,FBW)系统,以在稳定地驾驶旋翼飞行器方面辅助飞行员并且减轻飞行员的工作负担。FBW系统可以在不同飞行状态下针对周期距控制输入、踏板控制输入或总距控制输入提供不同的控制特性或响应,并且可以通过将物理飞行特性解耦使得飞行员无需对发给旋翼飞行器的一些飞行命令进行补偿来提供稳定性辅助或增强。FBW系统可以实现成一个或多个飞行控制计算机(FCC),其在设置在飞行员控制装置与飞行控制系统之间,向飞行控制装置提供校正,帮助更有效地操作旋翼飞行器或使旋翼飞行器进入稳定飞行模式,同时仍允许飞行员重写(override)FBW控制输入。例如,旋翼飞行器中的FBW系统可以自动地调节发动机输出的动力以匹配总距控制输入,在周期距控制输入期间应用总距或动力校正,提供一个或多个飞行控制程序的自动化、提供默认或建议的控制定位等。

[0026] 用于旋翼飞行器的FBW系统必须针对FBW系统控制的飞行参数提供稳定的飞行特性,同时允许飞行员重写或调节由FBW系统建议的任何建议飞行参数。另外,在为旋翼飞行器飞行提供增强的控制和自动化功能时,FBW系统必须保持对于飞行员而言直观且易于使用的飞行控制系统。因此,FBW系统调节飞行员的飞行控制装置,使得控制装置处于与相关飞行参数相关联的位置。例如,FBW系统可以调节总距杆以提供建议的或FBW系统控制的飞行参数,并且这些参数反映总距或动力设置。因此,当飞行员松开总距杆并且FBW系统提供总距控制命令时,总距杆直观地位于与实际动力或总距设置有关地位置,使得当飞行员抓住总距杆以重新控制时,该控制杆位于飞行员针对主旋翼的实际总距设置而所预计的该杆所位于的位置处。类似地,例如,FBW系统使用周期距杆来针对飞行路径的湍流、漂移或其他干扰进行调节,并且可以在FBW系统补偿周期距控制时移动周期距杆。因此,当飞行员抓住周期距杆以从FBW系统取得对飞行的控制时,周期距杆处于反映实际的周期距设置的位置。

[0027] 图1示出了根据一些实施方式的旋翼飞行器101。旋翼飞行器101具有主旋翼系统103,主旋翼系统103包括多个主旋翼桨叶105。每个主旋翼桨叶105的俯仰可以由斜盘107控制,以选择性地控制旋翼飞行器101的姿态、高度和移动。可以使用斜盘107来总体地和/或周期地改变主旋翼桨叶105的俯仰。旋翼飞行器101还具有反扭矩系统,该反扭矩系统可以包括尾旋翼109、无尾旋翼(NOTAR)或双主旋翼系统。在具有尾旋翼109的旋翼飞行器中,每个尾旋翼桨叶111的俯仰被总体地改变,以改变反扭矩系统的推力,从而提供旋翼飞行器101的方向控制。尾旋翼桨叶111的俯仰由一个或多个尾旋翼致动器改变。在一些实施方式中,FBW系统向尾旋翼致动器或主旋翼致动器发送电信号以控制旋翼飞行器的飞行。

[0028] 由发动机115向主旋翼系统103和反扭矩系统提供动力。可以存在一个或多个发动机115,所述一个或多个发动机115可以根据来自FBW系统的信号来控制。发动机115的输出被提供至驱动轴117,该驱动轴117分别通过主旋翼传动装置119和尾旋翼传动装置机械地且可操作地耦接至主旋翼系统103和反扭矩系统。

[0029] 旋翼飞行器101还包括机身125和尾部123。尾部123可以具有用于控制或稳定旋翼飞行器101的飞行的其他飞行控制设备,例如,水平或垂直稳定器、舵、升降舵或其他控制装置或稳定表面。机身125包括驾驶舱127,驾驶舱127包括显示器、控制装置和仪表。应该理解的是,虽然旋翼飞行器101被描绘为具有某些示出的特征,但是旋翼飞行器101还可以具有各种特定于实现方式的配置。例如,在一些实施方式中,如所示出的,驾驶舱127被配置成容



纳飞行员或者飞行员和副飞行员。然而,还设想,旋翼飞行器101可以被远程操作,在这种情况下,驾驶舱127可以被配置为全功能驾驶舱,以容纳飞行员(并且可能还有副飞行员)以提供更大的使用灵活性,或者可以被配置成具有带有有限功能的驾驶舱(例如,仅容纳一个人的驾驶舱,这个人将作为进行操作、也许与远程副飞行员一起操作的飞行员,或者这个人将作为副飞行员或后备飞行员,而主驾驶功能被远程执行)。在又一些其他设想的实施方式中,旋翼飞行器101可以被配置为无人交通工具,在这种情况下,驾驶舱127可以完全消失,以节省空间和成本。

[0030] 图2A是根据一些实施方式的用于旋翼飞行器101的电传飞行控制系统201的框图。图2B示出了根据一些实施方式的驾驶舱127的内部,并且结合图2A进行描述。飞行员可以操纵一个或更多个飞行员飞行控制,以便控制旋翼飞行器的飞行。飞行员飞行控制可以包括手动控制,例如,周期距控制组件217中的周期距杆231、总距控制组件219中的总距杆233以及踏板控制组件221中的踏板239。由飞行员向飞行员飞行控制提供的输入可以通过飞行控制系统201机械地和/或电子地(例如,经由FBW飞行控制系统)传送至飞行控制设备。飞行控制设备可以表示可操作以改变旋翼飞行器101的飞行特性的装置。作为示例,旋翼飞行器上的飞行控制设备可以包括可操作以改变主旋翼桨叶105和尾旋翼桨叶111的位置或迎角或者改变发动机115的功率输出的机械和/或电气系统。飞行控制设备包括诸如斜盘107、尾旋翼致动器113的系统以及可操作以控制发动机115的系统。飞行控制系统201可以独立于机组人员来调节飞行控制设备,以使旋翼飞行器稳定、减少机组人员的工作负担等。飞行控制系统201包括总体地调节飞行控制设备的发动机控制计算机(ECCU)203、飞行控制计算机(FCC)205以及飞行器传感器207。

[0031] 飞行控制系统201具有一个或更多个FCC 205。在一些实施方式中,提供多个FCC 205以用于冗余。FCC 205内的一个或更多个模块可以部分地或全部地被实现为用于执行本文中描述的任何功能的软件和/或硬件。在飞行控制系统201是FBW飞行控制系统的实施方式中,FCC 205可以分析飞行员输入并且向ECCU 203、尾旋翼致动器113和/或用于斜盘107的致动器发送相应的命令。此外,FCC 205被配置成通过与飞行员飞行控制中的每个相关联的传感器来接收来自飞行员控制装置的输入命令。通过测量飞行员控制装置的位置来接收输入命令。FCC 205还对飞行员控制装置的触觉提示命令进行控制,或者在例如仪表板241上显示仪表中的信息。

[0032] ECCU 203控制发动机115。例如,ECCU 203可以改变发动机115的输出功率以控制主旋翼桨叶或尾旋翼桨叶的旋转速度。ECCU 203可以根据来自FCC 205的命令来控制发动机115的输出功率,或者可以基于反馈(例如,测量的主旋翼桨叶的每分钟转数(RPM))来控制发动机115的输出功率。

[0033] 飞行器传感器207与FCC 205进行通信。飞行器传感器207可以包括用于测量各种旋翼飞行器系统、飞行参数、环境状况等的传感器。例如,飞行器传感器207可以包括用于测量空速、高度、姿态、位置、取向、温度、空速、垂直速度等的传感器。其他飞行器传感器207可以包括依赖于源自旋翼飞行器外部的数据或信号的传感器,例如,全球定位系统(GPS)传感器、VHF全向范围传感器、仪表着陆系统(ILS)等。

[0034] 周期距控制组件217被连接至周期距配平组件229,该周期距配平组件229具有:一个或更多个周期距位置传感器211、一个或更多个周期距制动传感器235以及一个或更多个

周期距致动器或周期距配平电机209。周期距位置传感器211测量周期距杆231的位置。在一些实施方式中,周期距杆231是沿两个轴移动并且允许飞行员控制俯仰和滚转的单个控制杆,俯仰是旋翼飞行器的机头的垂直角度,滚转是旋翼飞行器的左右摆动(side-to-side)角度。在一些实施方式中,周期距控制组件217具有分开测量滚转和俯仰的单独的周期距位置传感器211。用于检测滚转和俯仰的周期距位置传感器211分别生成滚转信号和俯仰信号(有时分别被称为周期距经度信号和周期距纬度信号),所述滚转信号和俯仰信号被发送至FCC 205,FCC 205控制斜盘107、发动机115、尾旋翼109或相关的飞行控制设备。

[0035] 周期距配平电机209被连接至FCC 205,并且从FCC 205接收信号以移动周期距杆231。在一些实施方式中,FCC 205根据以下中的一个或多个来确定对周期距杆231的推荐的周期距杆位置:总距杆位置、踏板位置、旋翼飞行器的速度、高度和姿态、发动机每分钟转数(RPM)、发动机温度、主旋翼RPM、发动机扭矩或者其他旋翼飞行器系统状况或飞行状况。推荐的周期距杆位置是由FCC 205确定以给出期望的周期距动作的位置。在一些实施方式中,FCC 205向周期距配平电机209发送指示推荐的周期距杆位置的推荐的周期距杆位置信号。在FCC 205可以命令周期距配平电机209移动周期距杆231至特定位置(这进而将相应地驱动与斜盘107相关联的致动器)的同时,周期距位置传感器211检测由周期距配平电机209设置或由飞行员输入的周期距杆231的实际位置,从而允许飞行员重写(override)推荐的周期距杆位置。周期距配平电机209被连接至周期距杆231,使得飞行员可以在配平电机驱动周期距杆231的同时移动周期距杆231,以重写推荐的周期距杆位置。因此,在一些实施方式中,FCC 205从周期距位置传感器211接收指示实际周期距杆位置的信号,并且不依赖于推荐的周期距杆位置来命令斜盘107。

[0036] 类似于周期距控制组件217,总距控制组件219被连接至总距配平组件225,该总距配平组件225具有一个或多个总距位置传感器215、一个或多个总距制动传感器237以及一个或多个总距致动器或总距配平电机213。总距位置传感器215测量总距控制组件219中的总距杆233的位置。在一些实施方式中,总距杆233是沿单轴移动或者具有杠杆式动作的单个控制杆。总距位置传感器215检测总距杆233的位置,并且将总距位置信号发送至FCC 205,FCC 205根据总距位置信号来控制发动机115、斜盘致动器或相关的飞行控制设备,以控制旋翼飞行器的垂直移动。在一些实施方式中,FCC 205可以向ECCU 203发送动力命令信号并且向主旋翼或斜盘致动器发送总距命令信号,使得主桨叶的迎角总体升高或降低,并且发动机功率被设置成提供所需的动力以保持主旋翼RPM基本上恒定。

[0037] 总距配平电机213被连接至FCC 205,并且从FCC 205接收信号以移动总距杆233。类似于对推荐的周期距杆位置的确定,在一些实施方式中,FCC 205根据以下中的一个或多个来确定对总距杆233的推荐的总距杆位置:周期距杆位置、踏板位置、旋翼飞行器的速度、高度和姿态、发动机RPM、发动机温度、主旋翼RPM、发动机扭矩或者其他旋翼飞行器系统状况或飞行状况。FCC 205生成推荐的总距杆位置,并且将相应的推荐的总距杆信号发送至总距配平电机213,以将总距杆233移动至特定位置。总距位置传感器215检测由总距配平电机213设置或由飞行员输入的总距杆233的实际位置,从而允许飞行员重写推荐的总距杆位置。

[0038] 踏板控制组件221具有测量踏板控制组件221中的踏板或其他输入元件的位置的一个或多个踏板传感器227。在一些实施方式中,踏板控制组件221无配平电机或致动器,

并且可以具有在飞行员释放踏板时使踏板居中的机械返回元件。在其他实施方式中,踏板控制组件221具有根据来自FCC 205的信号将踏板驱动至建议的踏板位置的一个或多个配平电机。踏板传感器227检测踏板239的位置并将踏板位置信号发送至FCC 205,该FCC 205控制尾旋翼109以使旋翼飞行器偏航或围绕垂直轴旋转。

[0039] 周期距配平电机209和总距配平电机213可以分别将周期距杆231和总距杆233驱动至建议的位置。虽然周期距配平电机209和总距配平电机213可以分别将周期距杆231和总距杆233驱动至建议的位置,但是该移动能力也可以被用于向飞行员提供触觉提示。当飞行员正移动杆来指示特定状况时,周期距配平电机209和总距配平电机213可以在特定方向上推动相应的杆。由于FBW系统将杆与一个或多个飞行控制设备机械地断开,因此飞行员可能不会感觉到在与飞行控制组件机械地连接的杆中所固有的急停、振动或其他触觉提示。在一些实施方式中,FCC 205可以使周期距配平电机209和总距配平电机213推动抵抗飞行员命令,使得飞行员感觉到阻力,或者可以命令一个或多个摩擦装置来提供当飞行员移动杆时感觉到的摩擦。因此,FCC 205通过对杆提供压力和/或摩擦来控制对杆的感觉。

[0040] 另外,周期距控制组件217、总距控制组件219和/或踏板控制组件221可以各自具有确定飞行员是否正在操纵特定控制设备的一个或多个制动传感器。例如,周期距控制组件217可以具有确定飞行员正握持周期距杆231的周期距制动传感器235,而总距控制组件219具有确定飞行员是否正握持总距杆233的总距制动传感器237。周期距制动传感器235和总距制动传感器237检测由飞行员输入引起的相应的控制杆的运动和/或位置,而不检测由来自FCC 205的命令、旋翼飞行器振动等引起的运动和/或位置,并且向FCC 205提供指示这样的情况反馈的信号。当FCC 205检测到飞行员具有对特定控制装置的控制或者正在操纵特定控制装置时,FCC 205可以确定该杆脱离制动(out-of-detent) (OOD)。类似地,当来自制动传感器的信号向FCC 205指示飞行员已松开特定杆时,FCC205可以确定该杆处于制动(in-detent) (ID)。FCC 205可以基于特定杆或飞行员控制装置的制动状态来向一个或多个飞行系统提供不同的默认控制或自动命令。

[0041] 图3是根据一些实施方式的飞行控制系统201的框图。飞行控制系统201的一些操作方面以高度示意性的方式示出。具体地,飞行控制系统201被示意性地示出为被实现为运行某些控制律的一系列相互关联的反馈回路。尽管飞行控制系统201被示为三回路飞行控制系统,但是应当理解的是,飞行控制系统201可以以不同的方式(例如,利用不同数量的控制回路)来实现。

[0042] 在一些实施方式中,飞行控制系统201的元件可以至少部分地由FCC 205来实现。然而,飞行控制系统201的部件(301、303、305、307)中的所有部件、一些部件或无部件可以位于旋翼飞行器101外部或远离旋翼飞行器101,并且通过网络连接309与机载设备通信。

[0043] 飞行控制系统201具有:飞行员输入311、外回路313、中回路315、内回路317、解耦器319以及飞行器装备321(例如,对应于诸如斜盘107、尾旋翼传动装置121等的飞行控制设备;对应于驱动飞行控制设备的致动器(未示出);对应于诸如飞行器传感器207、周期距位置传感器211、总距位置传感器215、周期距制动传感器235、总距制动传感器237等的传感器等)。

[0044] 在示出的示例中,三回路设计将内稳定化回路和速率反馈回路与外引导和跟踪回路分开。控制律结构主要将整体稳定化任务和减少飞行员工作负担的相关任务分配给内回

路317。接下来,中回路315(有时也被称为速率回路)提供速率增强。外回路313关注引导和跟踪任务。由于内回路317和中回路315提供了大部分的稳定性,因此在外回路层上需要较少的控制工作。如代表性地示出的,由于对于飞行稳定性来说外回路313的任务不是必需的,因此可以提供开关323以接通和断开外回路飞行增强。

[0045] 在一些实施方式中,内回路317和中回路315包括应用于滚转/俯仰/偏航3轴速率陀螺仪和加速度反馈传感器的一组增益和滤波器。内回路和速率回路二者均可以与各种外回路保持模式独立地保持激活。外回路313可以包括级联的回路层,所述级联的回路层包括姿态回路、速度回路、位置回路、垂直速度回路、高度回路和航向回路。根据一些实施方式,在所示的回路中运行的控制律允许解耦以其他方式耦合的飞行特性,这又可以提供更稳定的飞行特性且减少的飞行员工作负担。此外,外回路313可以允许某些高级别任务或飞行模式的自动化或半自动化操作,从而进一步减轻飞行员工作负担并且使得飞行员能够关注包括观察周围地形的其他事项。

[0046] 飞行控制系统201可以被实现为由FCC 205执行的程序设计。该程序设计包括实现飞行控制系统201的各方面的指令。FCC 205可以包括存储程序设计的存储器325,例如,非暂态计算机可读存储介质。一个或多个处理器327被连接至存储器325,并且可操作为执行该程序设计。

[0047] 飞行控制系统201在控制飞行时依赖于准确地确定旋翼飞行器101的位置、速率(或速度)和加速度。特别地,飞行控制系统201的所有三个回路都使用旋翼飞行器101的垂直速度( $V_{V\_SPD}$ )。使用不准确的 $V_{V\_SPD}$ 值可能降低由飞行控制系统201实现的控制律的性能,并且可能导致旋翼飞行器101的部分或全部故障。根据一些实施方式, $V_{V\_SPD}$ 通过利用包含 $V_{V\_SPD}$ 的值的多个信号执行互补滤波来估算。通过利用多个信号进行互补滤波来估算旋翼飞行器101的 $V_{V\_SPD}$ 可以提高由飞行控制系统201使用的 $V_{V\_SPD}$ 值的准确度。

[0048] 图4是根据一些实施方式的用于 $V_{V\_SPD}$ 估算的第一系统401的框图。第一系统401具有两个输入:第一测量垂直速度( $V_{M1}$ )信号和第二测量垂直速度( $V_{M2}$ )信号。这些信号可以从多种不同的源接收,并且将如下面论述的,这些信号可以通过测量旋翼飞行器101的其他特性来间接地确定。这些信号是包含 $V_{V\_SPD}$ 的值的噪声信号。 $V_{M1}$ 和 $V_{M2}$ 中的噪声可以位于不同的区域中。特别地, $V_{M1}$ 在短期内包括准确的 $V_{V\_SPD}$ 值,但在长期内具有噪声(例如,具有低频噪声)。相反, $V_{M2}$ 在长期内包括准确的 $V_{V\_SPD}$ 值,但在短期内具有噪声(例如,具有高频噪声)。第一系统401包括高通滤波器403、低通滤波器405和加法器405,高通滤波器403、低通滤波器405和加法器405中的每个均可以被实现为模拟电路或通过FCC 205中的数字信号处理(例如,利用数字信号处理器(DSP))实现。

[0049] 高通滤波器403被用于滤除来自 $V_{M1}$ 的低频噪声,并且低通滤波器405被用于滤除来自 $V_{M2}$ 的高频噪声。应指出的是,高通滤波器403和低通滤波器405是互补滤波器。例如,如果高通滤波器403的传递函数是 $F(s)$ ,则低通滤波器405的传递函数是 $F(s)$ 的互补函数,例如, $1-F(s)$ 。换句话说,高通滤波器403和低通滤波器405相加为值为1的全通滤波器。加法器405将来自高通滤波器403和低通滤波器405的滤波信号相加,从而产生估算的垂直速度( $V_{V\_EST}$ )信号。尽管 $V_{V\_EST}$ 信号包含 $V_{V\_SPD}$ 的估算,但其可能包含比噪声信号 $V_{M1}$ 和 $V_{M2}$ 所单独包含的更准确的 $V_{V\_SPD}$ 值。

[0050] 图5是根据一些实施方式的用于 $V_{V\_SPD}$ 估算的第二系统501的框图。与第一系统401

类似,第二系统501具有两个输入( $V_{M1}$ 和 $V_{M2}$ )以及一个输出( $V_{V\_EST}$ )。第二系统501等同于第一系统401,除了第二系统501仅具有对 $V_{M1}$ 信号和 $V_{M2}$ 信号中的噪声进行操作的单个滤波器503之外。加法器505确定输入 $V_{M1}$ 信号与 $V_{M2}$ 信号之间的差值(例如,从 $V_{M2}$ 减去 $V_{M1}$ ),并且滤波器503对该差值进行操作。然后,加法器507将滤波差值与初始的 $V_{M1}$ 信号相加,从而产生 $V_{V\_EST}$ 作为其输出。

[0051] 应当理解的是,第一系统401和第二系统501示出了互补滤波器的一些示例。其他配置(例如,下面在图7中示出的配置)也可以被用于实现互补滤波。

[0052] 图6是根据一些实施方式的用于垂直速度估算的方法601的框图。方法601可以被实现为飞行控制系统201的一部分。特别地,FCC 205可以在控制旋翼飞行器101的飞行时执行方法601。

[0053] 在处理603中,接收 $V_{M1}$ 信号。应当理解的是, $V_{M1}$ 信号可以通过多种方式或源来接收。在一些实施方式中, $V_{M1}$ 信号被直接转换。例如, $V_{M1}$ 信号可以是来自飞行器传感器207的传感器信号,该飞行器传感器207(例如,利用变差计(variometer)或其他垂直速度指示器(VSI))来直接测量垂直速度并产生原始的垂直速度值。在其他实施方式中,另一传感器信号被转换,并且从经转换的传感器信号得到 $V_{M1}$ 信号。例如,可以通过测量旋翼飞行器101的垂直惯性加速度(例如, $a(t)$ )来间接地接收 $V_{M1}$ 信号。垂直惯性加速度可以利用飞行器传感器207中的第一飞行器传感器(例如,利用加速度计)来测量。然后,通过将垂直惯性加速度相对于时间进行积分来获得 $V_{M1}$ 信号,如等式1中所示。通过对垂直惯性加速度进行积分来确定旋翼飞行器101的 $V_{V\_SPD}$ 在短期内比在长期内更准确。

$$[0054] \quad V_{M1} = \int a(t) dt \quad (1)$$

[0055] 在处理605中,接收 $V_{M2}$ 信号。应当理解的是, $V_{M2}$ 信号可以通过多种方式或源来接收。在一些实施方式中, $V_{M2}$ 信号被直接转换。例如, $V_{M2}$ 信号可以是来自飞行器传感器207的传感器信号,该飞行器传感器207例如利用可变速度计或其他VSI来直接测量垂直速度并产生原始的垂直速度值。在其他实施方式中,另一传感器信号被转换,并且从经转换的传感器信号得到 $V_{M2}$ 信号。可以使用不同的飞行器传感器207来接收 $V_{M1}$ 信号和 $V_{M2}$ 信号。例如,可以通过测量旋翼飞行器101的垂直位置(例如, $s(t)$ )来间接地接收 $V_{M2}$ 信号。垂直位置可以利用飞行器传感器207中的第二飞行器传感器(例如,利用空气压力传感器(例如,气压计)、GPS传感器、基于超声波或激光的高度测量传感器)等来测量。然后,通过将垂直位置相对于时间进行微分来获得 $V_{M2}$ 信号,如等式2中所示。通过对垂直位置进行微分来确定旋翼飞行器101的 $V_{V\_SPD}$ 在长期内比在短期内更准确。

$$[0056] \quad V_{M2} = \frac{d}{dt} s(t) \quad (2)$$

[0057] 在处理607中,利用互补滤波将 $V_{M1}$ 信号和 $V_{M2}$ 信号进行组合以确定指示旋翼飞行器101的 $V_{V\_EST}$ 的 $V_{V\_EST}$ 信号。互补滤波可以利用诸如第一系统401、第二系统501等的系统来执行。如上所述,这样的滤波可以在硬件或软件中执行。

[0058] 在处理609中,基于旋翼飞行器101的 $V_{V\_EST}$ 来控制旋翼飞行器101的飞行。 $V_{V\_EST}$ 值可以由飞行控制系统201中的一个或多个回路(例如,外回路313、中回路315和/或内回路317)所使用的变量。可以调节旋翼飞行器101的飞行控制设备,以改变旋翼飞行器101的飞行特性。例如,可以基于 $V_{V\_EST}$ 来致动斜盘107以保持特定的速度或方向,以使悬停或着陆

等的方式自动化。类似地,可以基于 $V_{V\_EST}$ 来调节尾旋翼致动器113。在一些实施方式中, $V_{V\_EST}$ 的值可以被用于影响飞行控制系统201的其他功能。例如,解耦器319可以在对飞行员飞行控制进行解耦时使用 $V_{V\_EST}$ ,或者中回路315可以在使旋翼飞行器101稳定时使用 $V_{V\_EST}$ 。

[0059] 图7是根据一些实施方式的可以被用于实现第一系统401或第二系统501的滤波器701的框图。滤波器701是利用三个积分器703、705和707实现的互补滤波器。此外,滤波器701指示其中从经转换的传感器信号得到 $V_{M1}$ 信号和 $V_{M2}$ 信号的实施方式。特别地,从来自高度计的信号(例如, $s(t)$ )得到 $V_{M1}$ 信号,并且从来自加速度计的信号(例如, $a(t)$ )得到 $V_{M2}$ 信号。滤波器701产生两个输出信号: $V_{V\_EST}$ 和 $s(t)_{EST}$ 。 $s(t)_{EST}$ 信号是高度计信号的估算,其也通过互补滤波被滤波。

[0060] 重置积分器703、705和707可以确保滤波器701准确地产生 $V_{V\_EST}$ 信号。积分器703、705和707可以以多种方式重置,并且可以被重置为不同的值。根据一些实施方式,可以在以下情况下重置积分器703、705和707:(1) FCC 205初始启动;(2) FCC 205被重置;(3) 如飞行器传感器207的轮承重(weight-on-wheel)传感器确定的,旋翼飞行器101在地面上;(4) 滤波器701的输入信号发生故障;(5) 积分器703、705和707中的任何一个已经达到其上限或下限,所述上限或下限可以是预定值;以及/或者(6) 旋翼飞行器101的地面速度或原始空速小于预定阈值。

[0061] 在一些实施方式中,响应于检测到旋翼飞行器着地来重置滤波器701。检测旋翼飞行器着地可以包括:从旋翼飞行器101的轮承重传感器接收第一重量信号;根据第一重量信号确定旋翼飞行器101的第一轮正承载比预定量的重量大的重量;以及响应于第一轮承载比预定量的重量大的重量来确定旋翼飞行器101着地。

[0062] 在重置时,积分器703被重置为零值,积分器705被重置为如由旋翼飞行器101的空气数据系统估算的当前垂直速度值,并且积分器707被重置为如由旋翼飞行器101的空气数据系统估算的当前高度。旋翼飞行器101的空气数据系统直接通过对来自飞行器传感器207的空气传感器的信号进行转换来确定垂直速度和高度。

[0063] 尽管在估算旋翼飞行器101的垂直速度( $V_{V\_SPD}$ )的背景下描述了实施方式,但是应当理解的是,可以使用实施方式的技术来估算沿其他方向的速度。例如,旋翼飞行器101的空速还可以通过利用多个噪声信号进行互补滤波来估算。飞行控制系统201的全部三个回路也使用旋翼飞行器101的空速。使用不准确的空速值可能降低由飞行控制系统201实现的控制律的性能,并且可能导致旋翼飞行器101的部分或全部故障。根据一些实施方式,可以通过利用包含用于空速值的多个信号(例如,具有高频噪声的信号和具有低频噪声的信号)执行互补滤波来估算旋翼飞行器101的空速。通过利用多个信号进行互补滤波来估算旋翼飞行器101的空速可以提高由飞行控制系统201使用的空速值的准确度。

[0064] 尽管通过将多个不同的信号进行组合来估算旋翼飞行器101的各种速度通常可以产生更准确的速度值,但是在某些情况下估算的速度值可能是不准确的。当对互补滤波器的输入相差量很大时,旋翼飞行器101的估算的空速可能是不准确的。在一些实施方式中,仅可以在估算的空速可能是准确的情况下执行通过互补滤波来估算空速。例如,当旋翼飞行器101在大风中处于盘旋操作时,用于估算空速的向互补滤波器的输入可能会相差很大。在这样的情况下,旋翼飞行器101的飞行员可能试图通过快速改变旋翼飞行器101的航向(例如,通过致动踏板239)来抵消大风。执行这样的快速操纵可能会导致皮托管(pitot-

type) 传感器在没有纵向加速度的相应的变化的情况下错误地指示纵向空速的快速变化。在这样的操纵期间,通过互补滤波器估算的旋翼飞行器101的纵向空速可能是不准确的。对于横向空速,也可能发生类似现象。当旋翼飞行器101的估算空速不准确时,直接利用例如皮托管、空速指示器(ASI)等测量旋翼飞行器101的空速可以提供更准确的空速值。在低地面速度或低原始空速下会发生许多会导致不准确的空速估算的情况。在一些实施方式中,仅当旋翼飞行器101的地面速度大于预定阈值时,才可以执行通过互补滤波的空速估算。同样,在一些实施方式中,仅当旋翼飞行器101的原始空速大于预定阈值时,才可以执行通过互补滤波的空速估算。

[0065] 图8是根据一些实施方式的用于控制旋翼飞行器的方法801的框图。方法801可以被实现为飞行控制系统201的一部分。特别地,FCC 205可以在控制旋翼飞行器101的飞行时执行方法801。

[0066] 在处理803中,测量旋翼飞行器101的地面速度。地面速度可以通过GPS、VHF全方位距离传感器等来测量。在处理805中,将旋翼飞行器101的地面速度与预定阈值进行比较。在一些实施方式中,预定阈值在25节(knot)至40节的范围内。应当理解的是,可以改变预定阈值以优化给定旋翼飞行器应用中的响应。

[0067] 当旋翼飞行器101的地面速度大于预定阈值时,在处理807中,通过使用互补滤波器对多个不同的信号进行组合来估算旋翼飞行器的空速。在一些实施方式中,互补滤波器组合来自例如ASI的原始空速信号和来自例如加速度计的导出的空速信号。如上所述,信号中的一个可以具有高频噪声,而信号中的另一个信号可以具有低频噪声。在处理809中,基于旋翼飞行器101的估算空速( $V_{A\_EST}$ )来控制旋翼飞行器101的飞行。飞行控制系统201中的一个或更多个回路(例如,外回路313、中回路315和/或内回路317)依赖于旋翼飞行器101的确定的空速值。可以基于所确定的空速值来调节旋翼飞行器101的飞行控制设备,以改变旋翼飞行器101的飞行特性。 $V_{A\_EST}$ 值由控制回路用于确定的空速。

[0068] 当旋翼飞行器101的地面速度小于预定阈值时,在处理811中,通过从例如皮托管、ASI等接收原始空速值来直接测量旋翼飞行器的空速。当直接测量旋翼飞行器101的空速时,不执行利用多个信号的互补滤波。在处理813中,基于旋翼飞行器的原始空速值( $V_{A\_RAW}$ )来控制旋翼飞行器101的飞行。飞行控制系统201中的一个或更多个回路(例如,外回路313、中回路315和/或内回路317)依赖于旋翼飞行器101的确定的空速值。可以基于确定的空速值来调节旋翼飞行器101的飞行控制设备以改变旋翼飞行器101的飞行特性。 $V_{A\_RAW}$ 值由控制回路用于确定的空速。

[0069] 在一些实施方式中,地面速度的预定阈值包括迟滞(hysteresis)。例如,当旋翼飞行器101正在加速时,预定阈值可以是40节(或更通常地,第一阈值),使得原始空速值( $V_{A\_RAW}$ )被用于控制直到地面速度超过40节,此时估算的空速( $V_{A\_EST}$ )被用于控制。同样地,当旋翼飞行器101正在减速时,预定阈值可以是25节(或更通常地,较小的第二阈值),使得估算的空速( $V_{A\_EST}$ )被用于控制,直到地面速度小于25节,此时当前的原始空速值( $V_{A\_RAW}$ )再次被用于控制。应当理解的是,可以改变阈值以优化给定旋翼飞行器应用中的响应。

[0070] 方法801描述了一种当旋翼飞行器101的地面速度大于预定阈值时通过互补滤波来执行空速估算的方法。当旋翼飞行器101的原始空速大于预定阈值时,类似于方法801的方法也可以被用于通过互补滤波来执行空速估算。在这样的实施方式中,对于处理803至

813,可以使用原始空速来代替地面速度。可以通过皮托管静压(pitot-static)系统或其他测量传感器来测量原始空速。

[0071] 图9是根据一些实施方式的可以被用于实现第一系统401或第二系统501的滤波器901的框图。滤波器901是被用于估算旋翼飞行器101的空速的互补滤波器,并且产生估算的空速( $V_{A\_EST}$ )信号。利用三个积分器903、905和907来实现滤波器901。此外,滤波器901指示如下实施方式:其中一个输入信号从经转换的传感器信号得到,而另一信号包含直接从另一传感器转换的原始空速值。例如,第一输入信号可以从来自加速度计的信号(例如, $a(t)$ )得到,并且第二输入信号可以是由旋翼飞行器101的空气数据系统(例如,利用变差计或其他ASI)直接测量的原始空速值(例如, $v(t)$ )。第一输入信号包括用于旋翼飞行器101的前进加速度的原始值,并且第二输入信号包括用于旋翼飞行器101的前进空速的原始值。应当理解的是,滤波器901可以被用于估算横向空速或纵向空速。

[0072] 积分器903、905和907的重置由重置器909控制。在重置时,积分器903和905被重置为零值。积分器907可以被重置为如由重置器909确定的若干可能值中的一个。如上所述,仅当旋翼飞行器101的地面速度或原始空速大于预定阈值时,才可以执行通过互补滤波来估算旋翼飞行器101的空速。当旋翼飞行器101的地面速度或原始空速小于预定阈值时,滤波器901被旁路。重置器909通过将积分器907连续重置为当前原始空速值(例如, $v(t)$ )来旁路滤波器901。当旋翼飞行器101的地面速度或原始空速大于预定阈值时,允许滤波器901正常操作。在正常操作下,积分器907被重置为用于估算的空速( $V_{A\_EST}$ )的延迟值,并且积分器903、905和907可以在与积分器703、705和707(参见图7)类似的条件下被重置。

[0073] 在一些实施方式中,重置器909包括对从估算的空速值( $V_{A\_EST}$ )的使用至原始空速值( $V_{A\_RAW}$ )的使用的变换进行滤波或速率限制的机构。这样的机构可以有助于避免所显示的空速的阶跃变化并且可以允许更好地控制旋翼飞行器101。例如,重置器909可以包括恒定周期无瞬态切换(CPTFS)限制器。在一些实施方式中,当滤波器901从初始化状态(例如,当使用原始空速值时)变换至激活状态(例如,当使用估算的空速值时)时,执行速率限制变换,而当滤波器901从激活状态变换至初始化状态时,不执行速率限制转换。

[0074] 尽管在估算旋翼飞行器101的空速的上背景下描述了图8和图9的实施方式,但是应当理解的是,可以使用实施方式的技术来估算沿其他方向的速度。特别地,垂直速度也可以使用类似技术来估算。

[0075] 实施方式可以实现各种优点。通过将多个不同的信号进行组合来估算旋翼飞行器101的垂直速度和/或空速可以得到比直接测量原始速度值更准确的值。特别地,通过利用互补滤波系统将多个噪声信号进行组合,可以准确地估算垂直速度和/或空速,并且可以更好地控制旋翼飞行器101的飞行。

[0076] 尽管已经参考说明性实施方式描述了本发明,但是该描述不旨在以限制性含义进行解释。在参考该描述时,说明性实施方式的各种修改和组合以及本发明的其他实施方式对于本领域的技术人员而言将是明显的。因此,所附权利要求旨在涵盖任何这样的修改或实施方式。



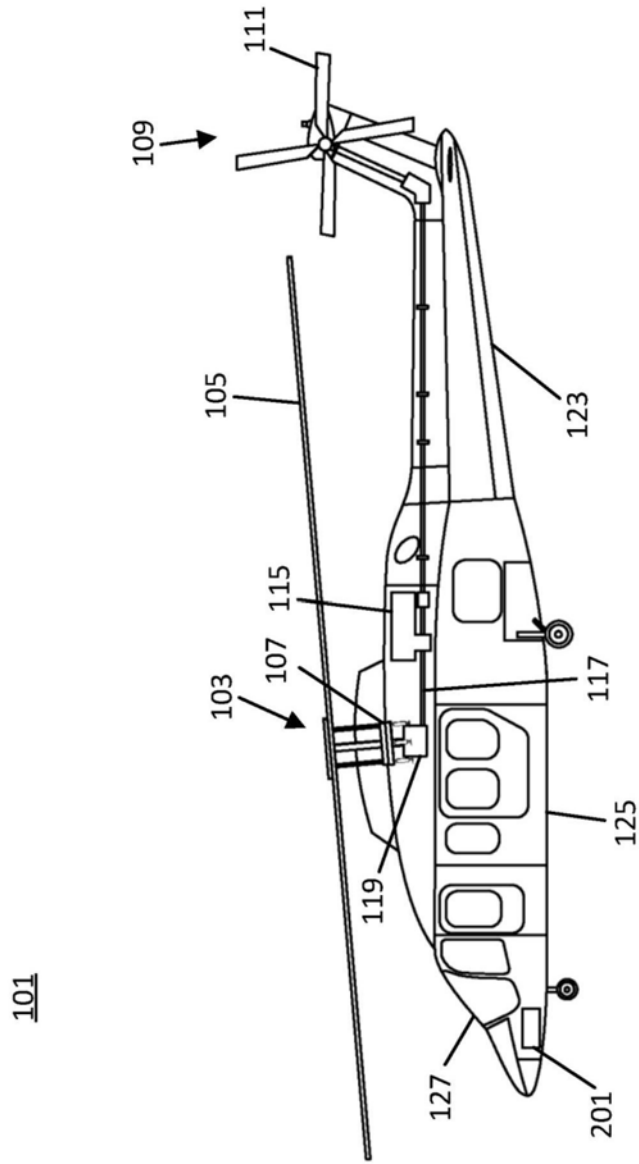


图1



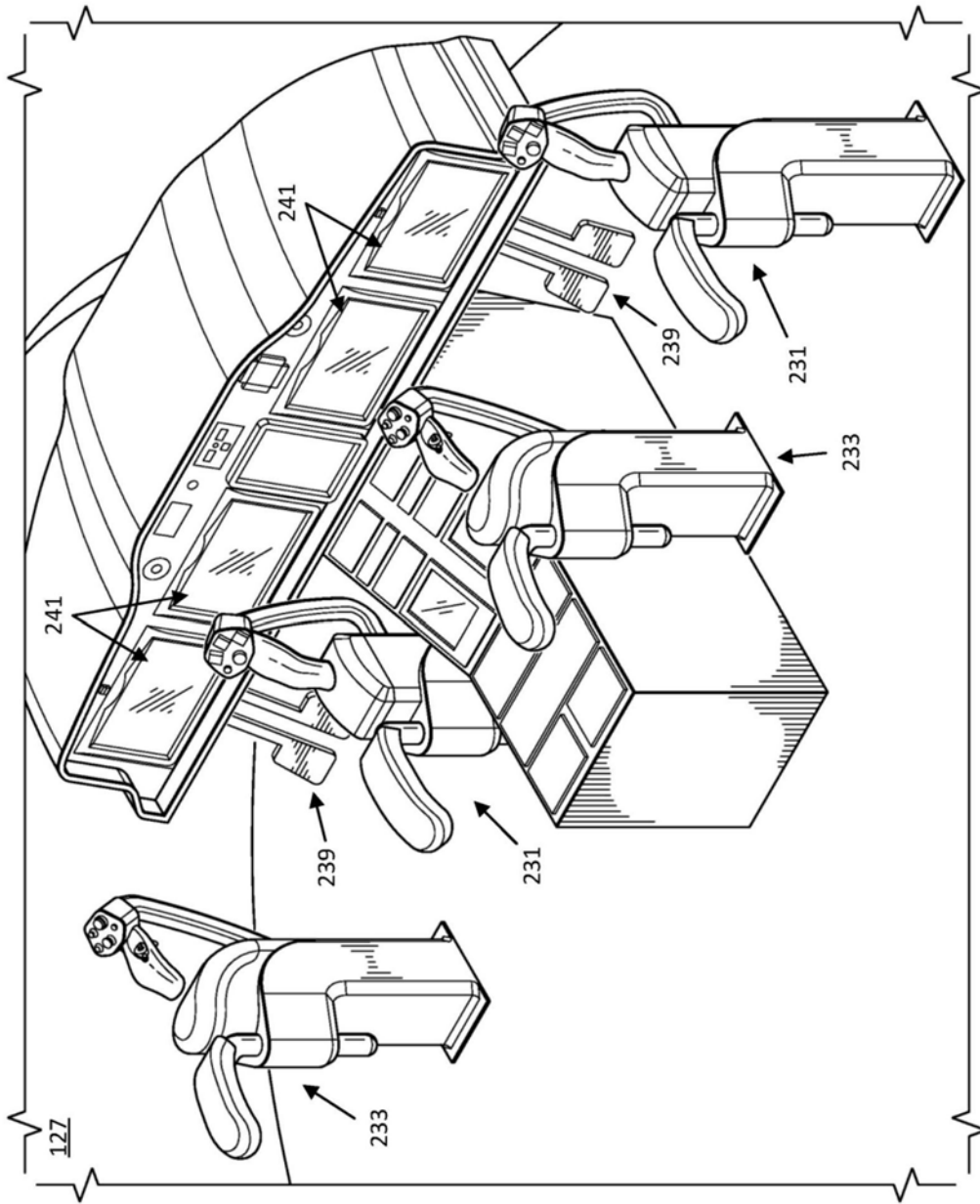


图2B

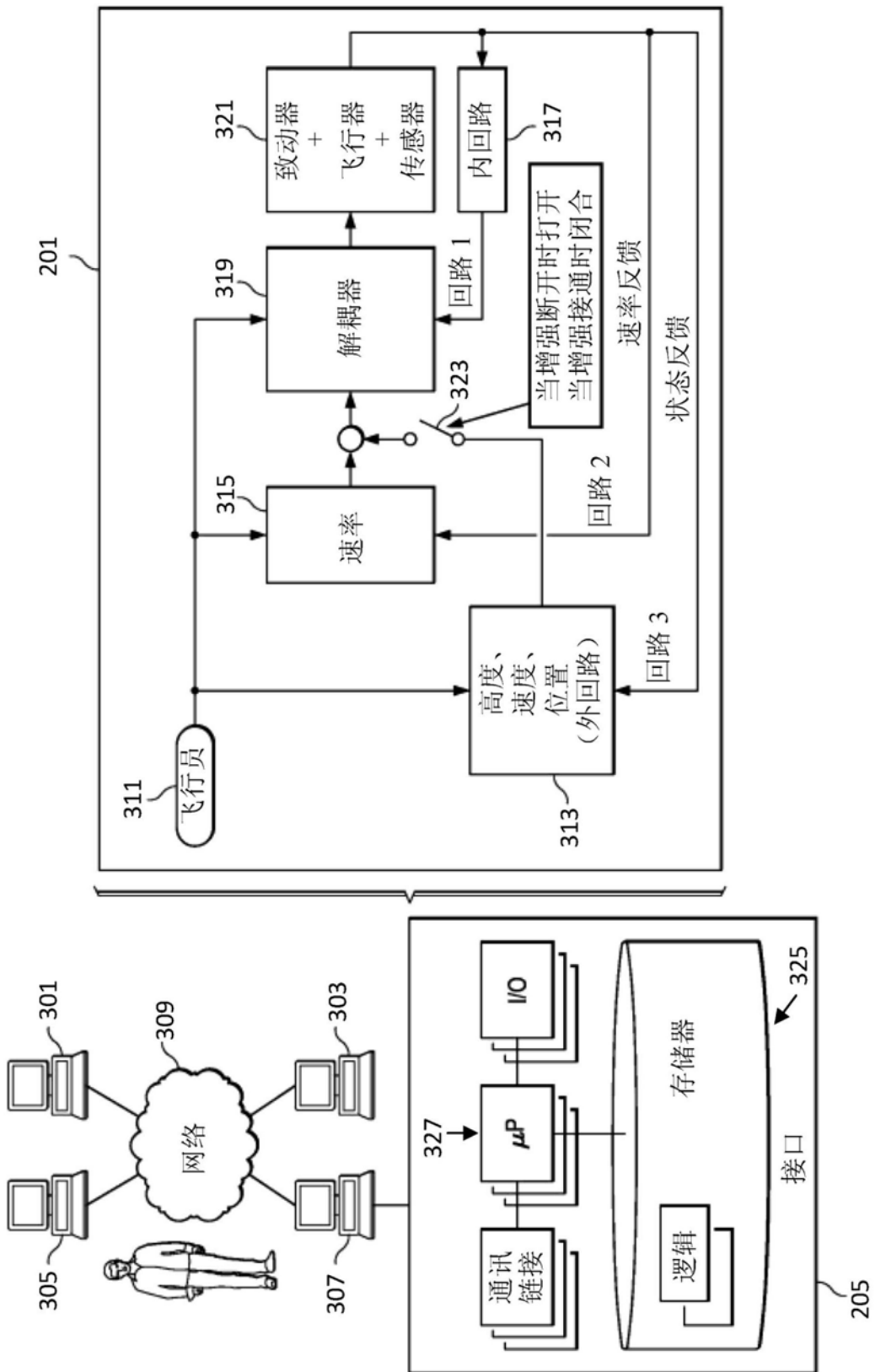


图3

401

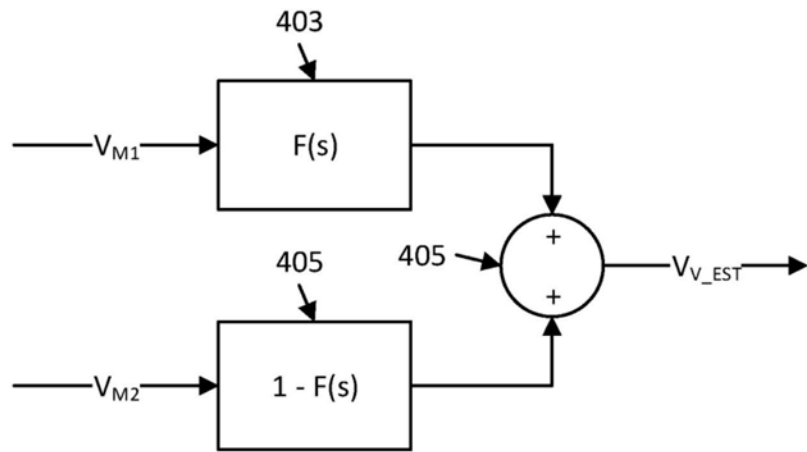


图4

501

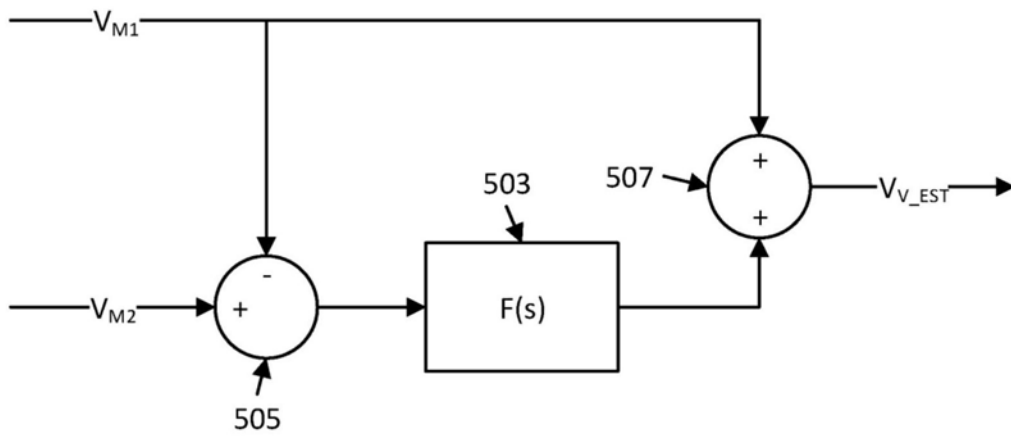


图5

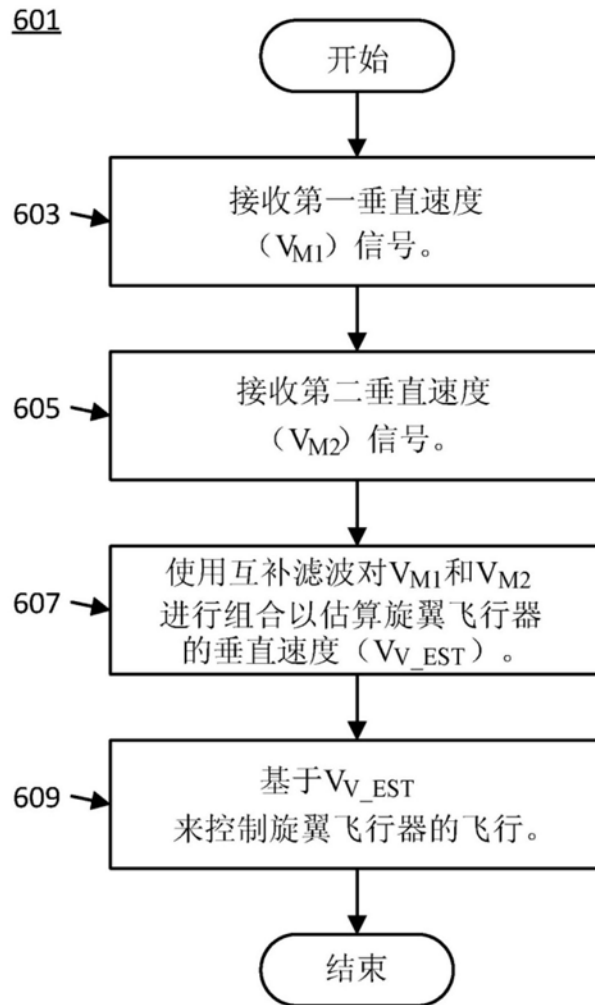


图6

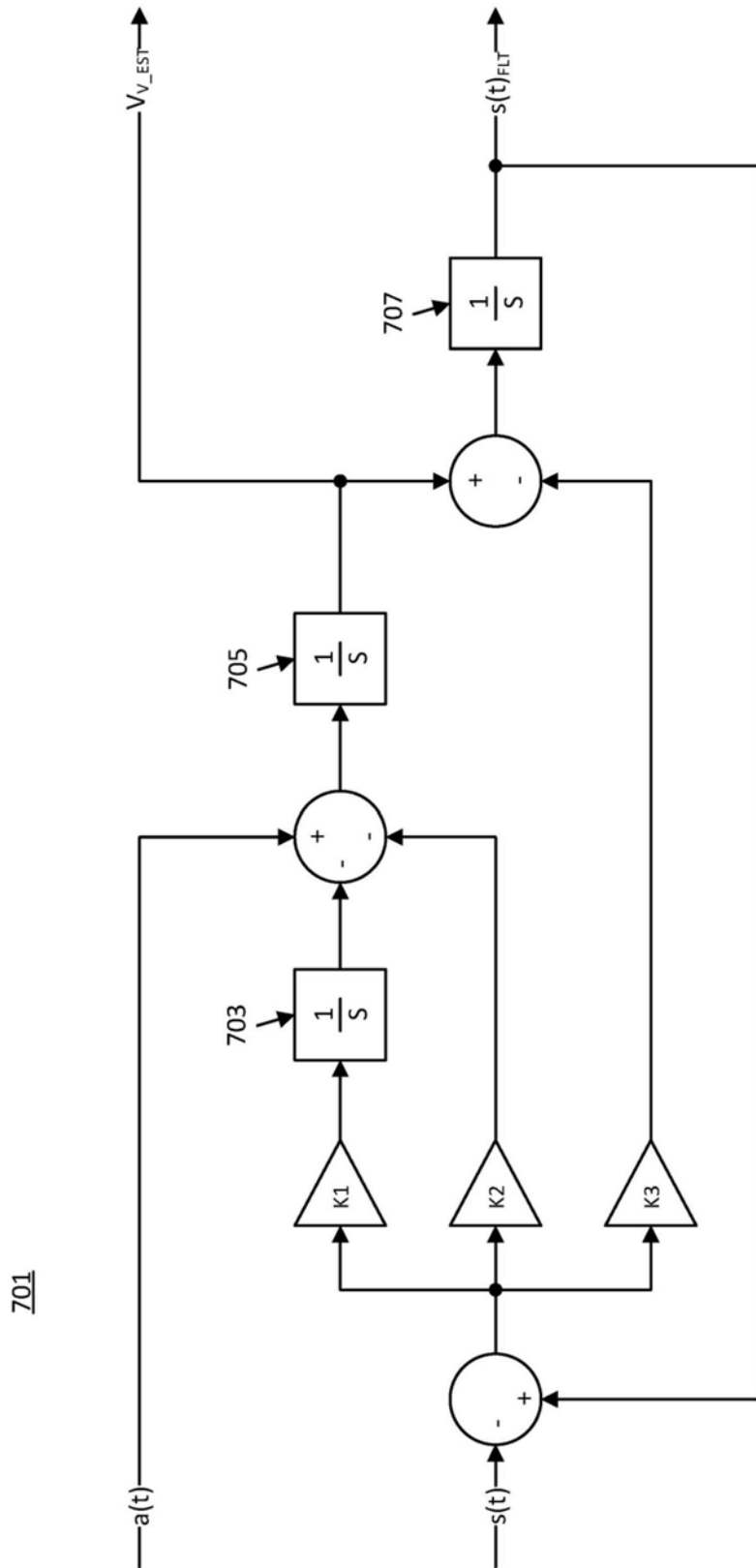


图7

801

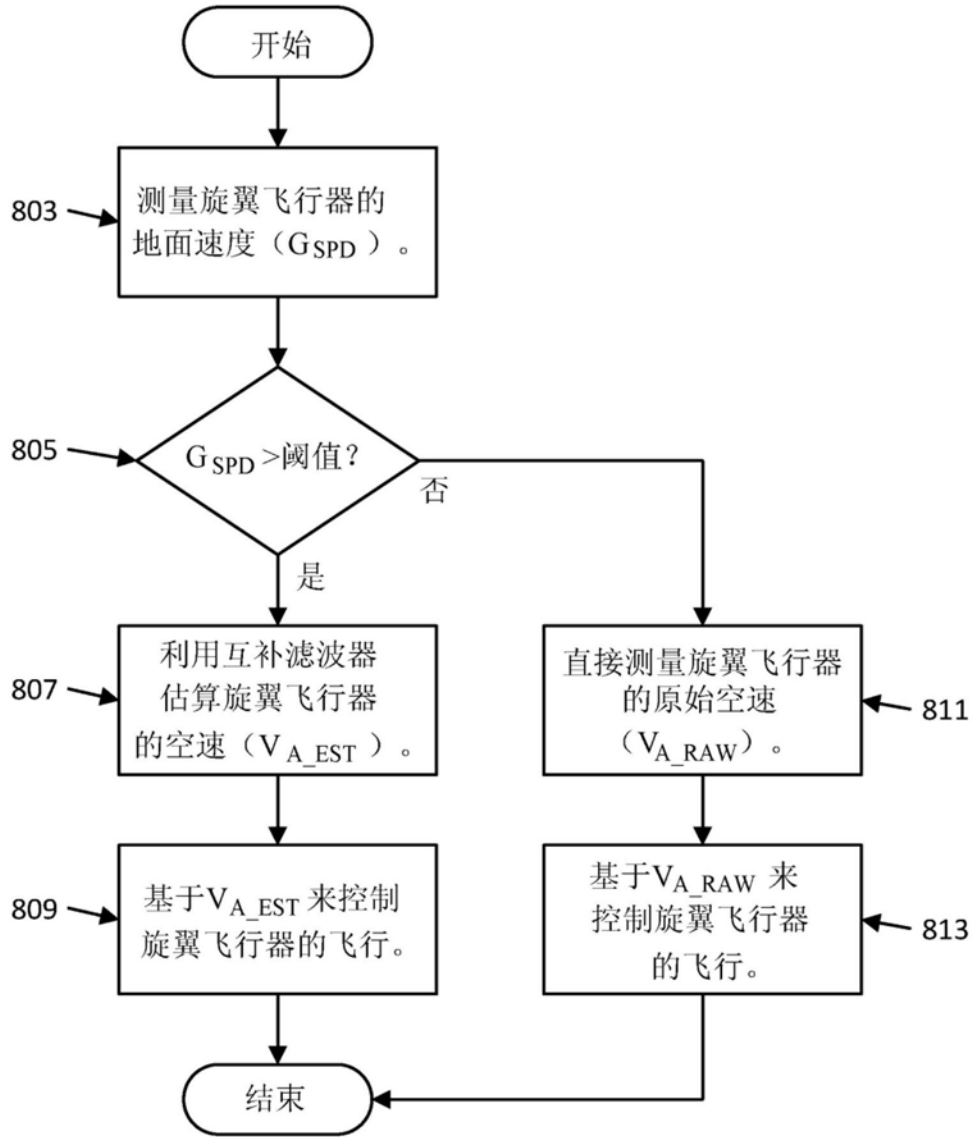


图8



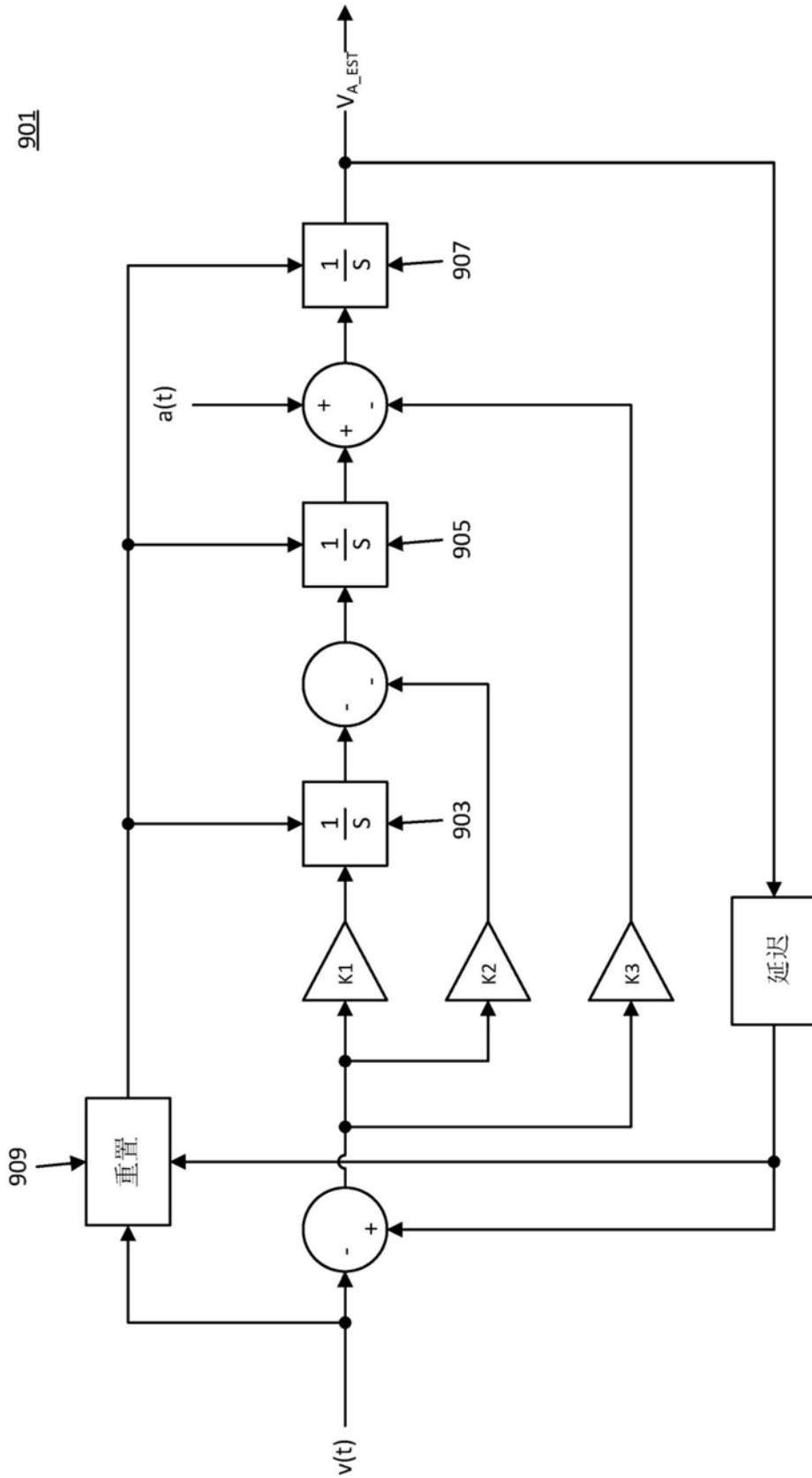


图9