



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 113682467 A

(43) 申请公布日 2021. 11. 23

(21) 申请号 202111024846.5

(22) 申请日 2021.09.01

(71) 申请人 中国航空工业集团公司西安飞行自动控制研究所

地址 710076 陕西省西安市雁塔区锦业路129号

(72) 发明人 田明明 宋栋梁 魏文领 王然然

(74) 专利代理机构 中国航空专利中心 11008
代理人 张昕

(51) Int. Cl.

B64C 19/02 (2006.01)

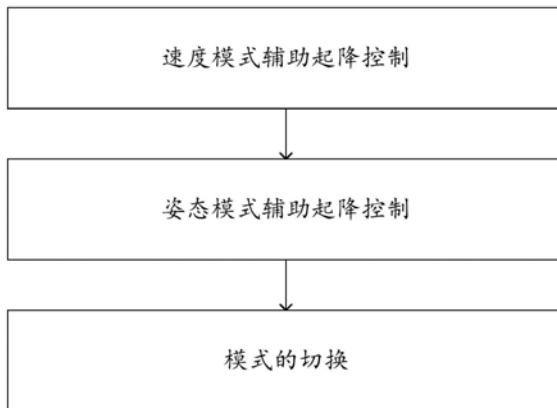
权利要求书2页 说明书13页 附图4页

(54) 发明名称

一种尾座式垂直起降飞机人工应急辅助起降操纵控制方法

(57) 摘要

本发明实施例公开了一种尾座式垂直起降飞机人工应急辅助起降操纵控制方法,包括:速度模式辅助起降控制,姿态模式辅助起降控制,以及模式的切换;速度模式辅助起降控制,根据GPS定位出的位置信息,速度信息,执行油门通道控制、俯仰通道控制、滚转通道控制和偏航通道控制;姿态模式辅助起降控制,根据飞机的姿态信息,执行油门通道控制、俯仰通道控制、滚转通道控制和偏航通道控制;模式的切换,根据飞机上GPS的有效性和应急模式切换开关,选择对飞机采用速度模式辅助起降控制或者采用姿态模式辅助起降控制。本发明实施例解决了现有尾座式垂直起降飞机,面对自主降落存在失效风险,以及因环境因素导致无法达到着陆精度的问题。



1. 一种尾座式垂直起降飞机人工应急辅助起降操纵控制方法,其特征在于,所述垂直起降飞机具有固定翼状态和旋翼状态,所述尾座式垂直起降飞机人工应急辅助起降操纵控制方法包括:速度模式辅助起降控制,姿态模式辅助起降控制,以及模式的切换;

所述速度模式辅助起降控制,包括:根据GPS定位出的位置信息,速度信息,执行油门通道控制、俯仰通道控制、滚转通道控制和偏航通道控制;

所述姿态模式辅助起降控制,包括:根据飞机的姿态信息,执行油门通道控制、俯仰通道控制、滚转通道控制和偏航通道控制;

所述模式的切换,包括:根据飞机上GPS的有效性和应急模式切换开关,选择对飞机采用速度模式辅助起降控制或者采用姿态模式辅助起降控制。

2. 根据权利要求1所述的尾座式垂直起降飞机人工应急辅助起降操纵控制方法,其特征在于,所述速度模式辅助起降控制中,

所述油门通道控制方式为:通过油门杆控制飞机上升或下降速度,控制方式包括:

当油门杆上推时,控制飞机上升运动;

当油门杆下拉时,控制飞机下降运动;

油门杆相对中立位的行程用于控制飞机的上升或下降运动垂直速度大小;

油门杆回收中立位时,根据离地条件和飞机当前垂速绝对值大小确认执行高度保持控制或垂直速度保持控制。

3. 根据权利要求2所述的尾座式垂直起降飞机人工应急辅助起降操纵控制方法,其特征在于,所述油门杆回收中立位时,执行高度保持或速度保持,包括:

所述油门杆回收中立位时,判断出满足离地条件,且飞机当前垂速绝对值小于或等于第一预设阈值,控制飞机执行高度保持控制;

所述油门杆回收中立位时,判断出不满足离地条件,或飞机当前垂速绝对值大于第一预设阈值,控制将飞机上升或下降的垂直速度降为零,且不保持当前高度。

4. 根据权利要求1所述的尾座式垂直起降飞机人工应急辅助起降操纵控制方法,其特征在于,所述速度模式辅助起降控制中,

所述俯仰通道控制方式为:通过俯仰杆控制飞机向前或向后速度,控制方式包括:

当俯仰杆上推,控制飞机向前运动;

当俯仰杆下拉,控制飞机向后运动;

俯仰杆相对中立位的行程用于控制飞机的向前或向后运动速度大小;

俯仰杆回收中立位时,根据离地条件、滚转杆位置、飞机当前前向速度绝对值大小和侧向速度绝对值大小确认执行前向速度保持控制或位置保持控制。

5. 根据权利要求4所述的尾座式垂直起降飞机人工应急辅助起降操纵控制方法,其特征在于,所述俯仰杆回收中立位置时,执行前向速度保持控制或位置保持控制,包括:

所述俯仰杆回收中立位置时,判断出满足离地条件,且滚转杆回到中立位,且飞机当前前向速度绝对值和侧向速度绝对值分别小于或等于第二预设阈值时,控制飞机执行位置保持控制;

所述俯仰杆回收中立位置时,判断出不满足离地条件,或滚转杆未回到中立位,或飞机当前前向速度绝对值和侧向速度绝对值分别大于第二预设阈值时,控制将飞机前向速度为零,且不保持当前位置。

6. 根据权利要求1所述的尾座式垂直起降飞机人工应急辅助起降操纵控制方法,其特征在于,所述速度模式辅助起降控制中,

所述滚转通道控制方式为:通过滚转杆控制飞机左侧向或右侧向速度,控制方式包括:

当滚转杆右压,控制飞机右侧向运动;

当滚转杆左压,控制飞机左侧向运动;

滚转杆相对中立位的行程用于控制飞机的左侧向或右侧向运动速度大小;

滚转杆回收中立位时,根据离地条件、俯仰杆位置、飞机当前前向速度绝对值大小和侧向速度绝对值大小确认执行侧向速度保持控制或位置保持控制。

7. 根据权利要求6所述的尾座式垂直起降飞机人工应急辅助起降操纵控制方法,其特征在于,所述滚转杆回收中立位时,执行侧向速度保持控制或位置保持控制,包括:

所述滚转杆回收中立位置时,判断出满足离地条件,且俯仰杆回到中立位,且飞机当前前向速度绝对值和侧向速度绝对值分别小于或等于第二预设阈值时,控制飞机执行位置保持控制;

所述滚转杆回收中立位置时,判断出不满足离地条件,或俯仰杆未回到中立位,或飞机当前前向速度绝对值和侧向速度绝对值分别大于第二预设阈值时,控制将飞机侧向速度为零,且不保持当前位置。

8. 根据权利要求1所述的尾座式垂直起降飞机人工应急辅助起降操纵控制方法,其特征在于,所述速度模式辅助起降控制中,

所述偏航通道控制方式为:通过偏航杆控制飞机顺时针或逆时针偏航速率,控制方式包括:

当偏航杆右压,控制飞机顺时针偏航转动;

当偏航杆左压,控制飞机逆时针偏航转动;

偏航杆相对中立位的行程用于控制飞机顺时针或逆时针偏航角速率的大小;

偏航杆回到中立位置时,将操纵产生的顺时针或逆时针偏航速率降为零,并保持当前航向角。

9. 根据权利要求1~8任一项所述的尾座式垂直起降飞机人工应急辅助起降操纵控制方法,其特征在于,所述模式的切换,包括:

在GPS有效的情况下,当遥控器上的应急模式切换开关处在速度模式档位时,采用速度模式辅助起降控制,当遥控器上的应急模式切换开关处在姿态模式档位时,采用姿态模式辅助起降控制;

在GPS无效的情况下,始终采用姿态模式辅助起降控制。

一种尾座式垂直起降飞机人工应急辅助起降操纵控制方法

技术领域

[0001] 本发明涉及但不限于无人机无顾虑操纵技术领域,尤指一种尾座式垂直起降飞机人工应急辅助起降操纵控制方法。

背景技术

[0002] 尾座式垂直起降飞机由于具有模式转换简单、无冗余动力等优点越来越被广泛应用,其对起降机场要求低的特点,适合在各类复杂场景中使用,例如森林火警巡防、海岸线巡逻等。

[0003] 随着自动飞行控制技术发展,尾座式垂直起降飞机已经具备航点飞行,自主起降的能力,但是考虑到环境因素、以及传感器失效等特殊场景下,起降过程中飞手介入进行手动操作将是确保飞行安全的最后一道防线。然而随着目前越发复杂无人机起降环境,极大增加飞手压力,增加了飞手失误的概率。因此,目前亟需提供一种尾座式垂直起降飞机人工应急辅助起降操纵控制方法。

发明内容

[0004] 本发明的目的:本发明实施例提出一种尾座式垂直起降飞机人工应急辅助起降操纵控制方法,以解决现有尾座式垂直起降飞机,面对自主降落存在失效风险,以及因环境因素导致无法达到着陆精度的问题。

[0005] 本发明的技术方案:

[0006] 本发明实施例提供一种尾座式垂直起降飞机人工应急辅助起降操纵控制方法,所述垂直起降飞机具有固定翼状态和旋翼状态,所述尾座式垂直起降飞机人工应急辅助起降操纵控制方法包括:速度模式辅助起降控制,姿态模式辅助起降控制,以及模式的切换;

[0007] 所述速度模式辅助起降控制,包括:根据GPS定位出的位置信息,速度信息,执行油门通道控制、俯仰通道控制、滚转通道控制和偏航通道控制;

[0008] 所述姿态模式辅助起降控制,包括:根据飞机的姿态信息,执行油门通道控制、俯仰通道控制、滚转通道控制和偏航通道控制;

[0009] 所述模式的切换,包括:根据飞机上GPS的有效性和应急模式切换开关,选择对飞机采用速度模式辅助起降控制或者采用姿态模式辅助起降控制。

[0010] 可选地,如上所述的尾座式垂直起降飞机人工应急辅助起降操纵控制方法中,所述速度模式辅助起降控制中,

[0011] 所述油门通道控制方式为:通过油门杆控制飞机上升或下降速度,控制方式包括:

[0012] 当油门杆上推时,控制飞机上升运动;

[0013] 当油门杆下拉时,控制飞机下降运动;

[0014] 油门杆相对中立位的行程用于控制飞机的上升或下降运动垂直速度大小;

[0015] 油门杆回收中立位时,根据离地条件和飞机当前垂速绝对值大小确认执行高度保持控制或垂直速度保持控制。

[0016] 可选地,如上所述的尾座式垂直起降飞机人工应急辅助起降操纵控制方法中,所述油门杆回收中立位时,执行高度保持或速度保持,包括:

[0017] 所述油门杆回收中立位时,判断出满足离地条件,且飞机当前垂速绝对值小于或等于第一预设阈值,控制飞机执行高度保持控制;

[0018] 所述油门杆回收中立位时,判断出不满足离地条件,或飞机当前垂速绝对值大于第一预设阈值,控制将飞机上升或下降的垂直速度降为零,且不保持当前高度。

[0019] 可选地,如上所述的尾座式垂直起降飞机人工应急辅助起降操纵控制方法中,所述速度模式辅助起降控制中,

[0020] 所述俯仰通道控制方式为:通过俯仰杆控制飞机向前或向后速度,控制方式包括:

[0021] 当俯仰杆上推,控制飞机向前运动;

[0022] 当俯仰杆下拉,控制飞机向后运动;

[0023] 俯仰杆相对中立位的行程用于控制飞机的向前或向后运动速度大小;

[0024] 俯仰杆回收中立位时,根据离地条件、滚转杆位置、飞机当前前向速度绝对值大小和侧向速度绝对值大小确认执行前向速度保持控制或位置保持控制。

[0025] 可选地,如上所述的尾座式垂直起降飞机人工应急辅助起降操纵控制方法中,所述俯仰杆回收中立位置时,执行前向速度保持控制或位置保持控制,包括:

[0026] 所述俯仰杆回收中立位置时,判断出满足离地条件,且滚转杆回到中立位,且飞机当前前向速度绝对值和侧向速度绝对值分别小于或等于第二预设阈值时,控制飞机执行位置保持控制;

[0027] 所述俯仰杆回收中立位置时,判断出不满足离地条件,或滚转杆未回到中立位,或飞机当前前向速度绝对值和侧向速度绝对值分别大于第二预设阈值时,控制将飞机前向速度为零,且不保持当前位置。

[0028] 可选地,如上所述的尾座式垂直起降飞机人工应急辅助起降操纵控制方法中,所述速度模式辅助起降控制中,

[0029] 所述滚转通道控制方式为:通过滚转杆控制飞机左侧向或右侧向速度,控制方式包括:

[0030] 当滚转杆右压,控制飞机右侧向运动;

[0031] 当滚转杆左压,控制飞机左侧向运动;

[0032] 滚转杆相对中立位的行程用于控制飞机的左侧向或右侧向运动速度大小;

[0033] 滚转杆回收中立位时,根据离地条件、俯仰杆位置、飞机当前前向速度绝对值大小和侧向速度绝对值大小确认执行侧向速度保持控制或位置保持控制。

[0034] 可选地,如上所述的尾座式垂直起降飞机人工应急辅助起降操纵控制方法中,所述滚转杆回收中立位时,执行侧向速度保持控制或位置保持控制,包括:

[0035] 所述滚转杆回收中立位置时,判断出满足离地条件,且俯仰杆回到中立位,且飞机当前前向速度绝对值和侧向速度绝对值分别小于或等于第二预设阈值时,控制飞机执行位置保持控制;

[0036] 所述滚转杆回收中立位置时,判断出不满足离地条件,或俯仰杆未回到中立位,或飞机当前前向速度绝对值和侧向速度绝对值分别大于第二预设阈值时,控制将飞机侧向速度为零,且不保持当前位置。

[0037] 可选地,如上所述的尾座式垂直起降飞机人工应急辅助起降操纵控制方法中,所述速度模式辅助起降控制中,

[0038] 所述偏航通道控制方式为:通过偏航杆控制飞机顺时针或逆时针偏航速率,控制方式包括:

[0039] 当偏航杆右压,控制飞机顺时针偏航转动;

[0040] 当偏航杆左压,控制飞机逆时针偏航转动;

[0041] 偏航杆相对中立位的行程用于控制飞机顺时针或逆时针偏航角速率的大小;

[0042] 偏航杆回到中立位置时,将操纵产生的顺时针或逆时针偏航速率降为零,并保持当前航向角。

[0043] 可选地,如上所述的尾座式垂直起降飞机人工应急辅助起降操纵控制方法中,所述模式的切换,包括:

[0044] 在GPS有效的情况下,当遥控器上的应急模式切换开关处在速度模式档位时,采用速度模式辅助起降控制,当遥控器上的应急模式切换开关处在姿态模式档位时,采用姿态模式辅助起降控制;

[0045] 在GPS无效的情况下,始终采用姿态模式辅助起降控制。

[0046] 本发明的优点:本发明实施例提供的一种尾座式垂直起降飞机人工应急辅助起降操纵控制方法,为针对尾座式垂直起降飞机面对自主降落失效、或者由于环境因素导致无法达到着陆精度时的复杂场景所提供的人工应急辅助起降操纵控制的实施方案,该实施方案中基于尾座式垂直起降飞机具有固定翼状态和旋翼状态,通过规范尾座式垂直起降飞机在速度模式和姿态模式下的辅助起降控制方式,即分别规范尾座式垂直起降飞机在上述两个模式下油门通道、俯仰通道、滚转通道和偏航通道的具体操纵控制方式,以及设置上述速度模式和姿态模式切换的逻辑,使得尾座式垂直起降飞机的操纵方式不仅与其姿态信息有关,还可以结合GPS当前定位出的位置信息和速度信息进行操纵控制。采用本发明实施例提供的控制方案,有效解决了现有尾座式垂直起降飞机,面对自主降落存在失效风险,以及因环境因素导致无法达到着陆精度的问题。

附图说明:

[0047] 图1为本发明实施例提供的一种尾座式垂直起降飞机人工应急辅助起降操纵控制方法的流程图;

[0048] 图2a和图2b为本发明实施例中尾座式垂直起降飞机的坐标系的示意图;

[0049] 图3为尾座式垂直起降飞机在速度模式下进行人工应急辅助起降操纵控制的示意图;

[0050] 图4为本发明实施例提供的尾座式垂直起降飞机人工应急辅助起降操纵控制中串级PID控制器的结构示意图。

具体实施方式:

[0051] 为使本发明的目的、技术方案和优点更加清楚明白,下文中将结合附图对本发明的实施例进行详细说明。需要说明的是,在不冲突的情况下,本申请中的实施例及实施例中的特征可以相互任意组合。

[0052] 在附图的流程图示出的步骤可以在诸如一组计算机可执行指令的计算机系统中执行。并且,虽然在流程图中示出了逻辑顺序,但是在某些情况下,可以以不同于此处的顺序执行所示出或描述的步骤。

[0053] 针对现有尾座式垂直起降飞机,面对自主降落存在失效风险,以及因环境因素导致无法达到着陆精度的问题。本发明实施例提出一种尾座式垂直起降飞机人工应急辅助起降操纵控制方法。

[0054] 本发明提供以下几个具体的实施例可以相互结合,对于相同或相似的概念或过程可能在某些实施例不再赘述。

[0055] 图1为本发明实施例提供的一种尾座式垂直起降飞机人工应急辅助起降操纵控制方法的流程图。本发明实施例中,对于执行人工应急辅助起降操纵控制方法的尾座式垂直起降飞机具有固定翼状态和旋翼状态,且本发明实施例提供的人工应急辅助起降操纵控制方法主要包括三部分的操纵控制,具体包括:速度模式辅助起降控制,姿态模式辅助起降控制,以及模式的切换。

[0056] 在对本发明实施例提供的针对尾座式垂直起降飞机所执行人工应急辅助起降操纵控制方法进行详细说明之前,首先对该尾座式垂直起降飞机的坐标系定义进行说明。图2a和图2b为本发明实施例中尾座式垂直起降飞机的坐标系的示意图,如图2中所示,定义了两类坐标系,图2a图示意出机体系,图2b示意出导航系。

[0057] (1) 机体系定义:原点位于飞机质心 o , ox 轴沿飞机设计轴,向前为正, oy 轴沿飞机横轴,向右为正, oz 轴沿飞机立轴,向下为正。定义绕 X 轴转动为滚转运动,绕 Y 轴运动为俯仰运动,绕 Z 轴转动为偏航运动,如图2a所示。

[0058] (2) 导航系定义:原点位于飞机质心 O , OX 轴平行于当地水平面,指向飞机航向, OY 轴平行于当地水平面,与 OX 轴垂直, OZ 轴沿铅垂面,向下为正, $OXYZ$ 符合右手定则。定义飞机沿 OX 轴正向运动为向前运动,相反飞机沿 OX 轴负向运动为向后运动;定义飞机沿 OY 轴正向运动为右侧向运动,相反飞机沿 OY 轴负向运动为左侧向运动;定义飞机沿 OZ 轴正向运动为下降,相反飞机沿 OZ 轴负向运动为爬升,如图2b所示。

[0059] 基于上述图2a和图2b中定义出的坐标系,对本发明实施例提供的人工应急辅助起降操纵控制方法的三部分操纵控制方式进行说明。

[0060] 第一部分:速度模式辅助起降控制,该部分操纵控制的实施方式包括:根据GPS定位出的位置信息,速度信息,执行油门通道控制、俯仰通道控制、滚转通道控制和偏航通道控制。

[0061] 第二部分:姿态模式辅助起降控制,该部分操纵控制的实施方式包括:根据飞机的姿态信息,执行油门通道控制、俯仰通道控制、滚转通道控制和偏航通道控制。

[0062] 第三部分:模式的切换,该部分操纵控制的实施方式包括:根据飞机上GPS的有效性和应急模式切换开关,选择对飞机采用速度模式辅助起降控制或者采用姿态模式辅助起降控制。

[0063] 针对上述速度模式辅助起降控制和姿态模式辅助起降控制,分别规定了油门通道控制方式、俯仰通道控制方式、滚转通道控制方式和偏航通道控制方式。如下具体说明。图2为本发明实施例中尾座式垂直起降飞机在速度模式下进行人工应急辅助起降操纵控制的示意图。

[0064] 第一部分,本发明实施例中尾座式垂直起降飞机在速度模式下进行人工应急辅助起降操纵控制的过程中,各通道的控制方式为:

[0065] (1) 油门通道控制方式为:通过遥控器油门杆控制飞机上升或下降速度;具体操纵控制方式包括:飞手将油门杆位于中立位,当油门杆上推时,控制飞机上升运动;相反,当油门杆下拉时,控制飞机下降运动;油门杆相对中立位的行程用于控制飞机的上升或下降运动垂直速度大小。另外,油门杆回收中立位时,根据离地条件和飞机当前垂速绝对值大小确认执行高度保持控制或垂直速度保持控制。

[0066] 本发明实施例在实际应用中,油门杆回收中立位时,执行高度保持或速度保持的具体实施方式,可以包括:

[0067] 油门杆回收中立位时,判断出满足离地条件,且飞机当前垂速绝对值小于或等于第一预设阈值,控制飞机执行高度保持控制;

[0068] 油门杆回收中立位时,判断出不满足离地条件,或飞机当前垂速绝对值大于第一预设阈值,迅速控制将飞机上升或下降的垂直速度降为零,且不保持当前高度。

[0069] (2) 俯仰通道控制方式为:通过遥控器俯仰杆控制飞机向前或向后速度;具体操纵控制方式包括:当俯仰杆上推,控制飞机向前运动;相反,当俯仰杆下拉,控制飞机向后运动;俯仰杆相对中立位的行程用于控制飞机的向前或向后运动速度大小。另外,俯仰杆回收中立位时,根据离地条件、滚转杆位置、飞机当前前向速度绝对值大小和侧向速度绝对值大小确认执行前向速度保持控制或位置保持控制。

[0070] 本发明实施例在实际应用中,俯仰杆回收中立位置时,执行前向速度保持控制或位置保持控制的具体实施方式,可以包括:

[0071] 俯仰杆回收中立位置时,判断出满足离地条件,且滚转杆回到中立位,且飞机当前前向速度绝对值和侧向速度绝对值分别小于或等于第二预设阈值时,迅速控制飞机执行位置保持控制,即控制将飞机前向速度降为零,并保持当前位置;

[0072] 俯仰杆回收中立位置时,判断出不满足离地条件,或滚转杆未回到中立位,或飞机当前前向速度绝对值和侧向速度绝对值分别大于第二预设阈值时,迅速控制将飞机前向速度降为零,且不保持当前位置。

[0073] 需要说明的是,本发明实施例中的飞机前向速度是指,飞机沿机体方向运动的速度。

[0074] (3) 滚转通道控制方式为:通过遥控器滚转杆控制飞机左侧向或右侧向速度;具体操纵控制方式包括:当滚转杆右压,控制飞机右侧向运动;相反,当滚转杆左压,控制飞机左侧向运动;滚转杆相对中立位的行程用于控制飞机的左侧向或右侧向运动速度大小。另外,滚转杆回收中立位时,根据离地条件、俯仰杆位置、飞机当前前向速度绝对值大小和侧向速度绝对值大小确认执行侧向速度保持控制或位置保持控制。

[0075] 本发明实施例在实际应用中,滚转杆回收中立位时,执行侧向速度保持控制或位置保持控制的具体实施方式,可以包括:

[0076] 滚转杆回收中立位置时,判断出满足离地条件,且俯仰杆回到中立位,且飞机当前前向速度绝对值和侧向速度绝对值分别小于或等于第二预设阈值时,控制飞机执行位置保持控制;

[0077] 滚转杆回收中立位置时,判断出不满足离地条件,或俯仰杆未回到中立位,或飞机

当前前向速度绝对值和侧向速度绝对值分别大于第二预设阈值时,迅速控制将飞机侧向速度降为零,且不保持当前位置。

[0078] (4) 偏航通道控制方式为:通过遥控器偏航杆控制飞机顺时针或逆时针偏航速率;具体操纵控制方式包括:当偏航杆右压,控制飞机顺时针偏航转动;相反,当偏航杆左压,控制飞机逆时针偏航转动;偏航杆相对中立位的行程用于控制飞机顺时针或逆时针偏航角速率的大小。另外,偏航杆回到中立位置时,迅速将操纵产生的顺时针或逆时针偏航速率降为零,并保持当前航向角;其中,顺时针或逆时针偏航速率指:飞机在旋翼状态下,以俯视视角观察飞机偏航速率的方向。

[0079] 如图3所示,为尾座式垂直起降飞机在速度模式下进行人工应急辅助起降操纵控制的示意图。当发生需要操作手接管的情景时,操作手可以通过手中的一个多通道遥控器辅助操纵飞机的起降。首先当飞机处在固定翼状态时,操纵手可以通过遥控器中的一个使能开关强制将飞机转换至旋翼状态,随后,通过旋翼控制飞机的位置和姿态。切换至旋翼状态后,操纵手通过遥控器上遥杆的四个通道,可以控制飞机水平和垂直移动以及旋转机头,从而将飞机安全的降落到期望的着陆点。

[0080] 第二部分,本发明实施例中尾座式垂直起降飞机在姿态模式下进行人工应急辅助起降操纵控制的过程中,各通道的控制方式为:

[0081] (1) 油门通道控制方式为:

[0082] 遥控器油门杆在飞机解锁完成后,油门通道输出值直接对应四个旋翼电机的输出转速,油门向上推杆对应四个旋翼电机转速同时增加,油门向下拉杆时,对应四个旋翼电机转速同时减少,当油门杆处在中立位时,飞机不维持高度。

[0083] (2) 俯仰通道控制方式为:

[0084] 遥控器俯仰杆用于控制飞机俯仰姿态。当俯仰杆上推,控制飞机产生一个正俯仰角,相反,当俯仰杆下拉,控制飞机产生一个负俯仰角;俯仰杆相对中立位的行程用于控制飞机俯仰角大小。杆在中立位置时,控制俯仰角为0,此时飞机只是维持姿态水平,无法抑制前向或后向速度,可能受风影响脱离当前位置。

[0085] (3) 滚转通道控制方式为:

[0086] 遥控器滚转杆用于控制飞机滚转姿态。当滚转杆上推,控制飞机产生一个正滚转角,相反,当滚转杆下拉,控制飞机产生一个负滚转角;滚转杆相对中立位的行程对应控制飞机滚转角大小。杆在中立位置时,控制滚转角为0,此时飞机只是维持姿态水平,无法抑制左侧向或右侧向速度,可能受风影响脱离当前位置。

[0087] (4) 偏航通道控制方式为:

[0088] 遥控器偏航杆用于控制飞机顺或逆时针偏航速率。当偏航杆右压,控制飞机顺时针偏航转动,相反,当偏航杆左压,控制飞机逆时针转动;偏航杆相对中立位的行程对应控制飞机顺或逆时针偏航角速率的大小。杆在中立位置时,控制飞机顺或逆时针偏航速率为0,但不保持当前航向角。此处体现出两种模式下偏航控制的区别。

[0089] 第三部分,本发明实施例中尾座式垂直起降飞机在速度模式辅助起降控制和姿态模式辅助起降控制之间进行模式的切换的基本逻辑为:

[0090] 在GPS有效的情况下,遥控器上的应急模式切换开关处在速度模式档位时,采用速度模式辅助起降控制,当遥控器上的应急模式切换开关处在姿态模式档位时,采用姿态模

式辅助起降控制。

[0091] 在GPS无效的情况下,遥控器上的应急模式切换开关处在速度模式档位、还是姿态模式档位,始终采用姿态模式辅助起降控制。

[0092] 本发明实施例提供的尾座式垂直起降飞机人工应急辅助起降操纵控制方法,为针对尾座式垂直起降飞机面对自主降落失效、或者由于环境因素导致无法达到着陆精度时的复杂场景所提供的人工应急辅助起降操纵控制的实施方案,该实施方案中基于尾座式垂直起降飞机具有固定翼状态和旋翼状态,通过规范尾座式垂直起降飞机在速度模式和姿态模式下的辅助起降控制方式,即分别规范尾座式垂直起降飞机在上述两个模式下油门通道、俯仰通道、滚转通道和偏航通道的具体操纵控制方式,以及设置上述速度模式和姿态模式切换的逻辑,使得尾座式垂直起降飞机的操纵方式不仅与其姿态信息有关,还可以结合GPS当前定位出的位置信息和速度信息进行操纵控制。采用本发明实施例提供的控制方案,有效解决了现有尾座式垂直起降飞机,面对自主降落存在失效风险,以及因环境因素导致无法达到着陆精度的问题。

[0093] 以下通过一些具体实施例对尾座式垂直起降飞机人工应急辅助起降操纵控制方法的实施方式进行详细说明。

[0094] 该具体实施例针对尾座式垂直起降飞机面对自主降落失效、或者由于环境因素导致无法达到着陆精度时的复杂场景,提出了一种尾座式垂直起降飞机人工应急辅助起降操纵控制方法的具体实施例。该具体实施例提供的人工应急辅助起降操纵控制方法同样包括上述实施例的三部分控制方式,即速度模式辅助起降控制,姿态模式辅助起降控制,以及模式的切换。具体实施方式如下说明:

[0095] 第一部分:速度模式辅助起降控制

[0096] 如图3所示,速度模式辅助起降控制包括油门通道控制方式、俯仰通道控制方式、滚转通道控制方式和偏航通道控制方式,具体在各通道内的控制方式如下说明:

[0097] (1) 油门通道控制方式为:

[0098] 通过遥控器油门杆控制飞机上升或下降速度,且怠速可调。飞手将油门杆位于中立位,当油门杆上推时,控制飞机上升运动;相反,当油门杆下拉时,控制飞机下降运动;油门杆相对中立位的行程用于控制飞机的上升或下降运动垂直速度大小。

[0099] 另外,油门杆回收中立位时,根据离地条件和飞机当前垂速绝对值大小确认执行高度保持控制或垂直速度保持控制;具体实施方式为:油门杆回收中立位时,判断出满足离地条件,且飞机当前垂速绝对值小于或等于第一预设阈值,控制飞机执行高度保持控制;油门杆回收中立位时,判断出不满足离地条件,或飞机当前垂速绝对值大于第一预设阈值,迅速控制将飞机上升或下降的垂直速度降为零,且不保持当前高度。

[0100] 图4为本发明实施例提供的尾座式垂直起降飞机人工应急辅助起降操纵控制中串级PID控制器的结构示意图。如图4所示,油门通道的控制回路总体采用串级PID的方式,当应急模式切换开关Switch_MODE=1时,表明此时处在速度模式下,遥控器中的油门通道直接对应垂直速度指令,具体对应关系如下式(1):

$$[0101] \quad VS_{sp} = \begin{cases} (S_z - S_{ZDZU}) \frac{VS_{\text{max}}}{(S_{ZMAX} - S_{ZDZU})} & \text{当 } S_z > S_{ZDZU} \\ 0 & \text{当 } S_{ZDZD} \leq S_z \leq S_{ZDZU} \\ (S_z - S_{ZDZD}) \frac{VS_{\text{max}}}{(S_{ZMIN} - S_{ZDZD})} & \text{当 } S_z < S_{ZDZD} \end{cases}; \quad (1)$$

[0102] 上述式(1)中, S_z 为油门杆位置, S_{ZDZU} 为油门杆死区上限, S_{ZDZD} 为油门杆死区下限, S_{ZMAX} 为油门杆最大位置, S_{ZMIN} 为油门杆最小位置。

[0103] 当Switch_H=1时,飞机会自动冻结当前高度,并产生一个高度指令,为了保证生成的垂速指令连续,高度指令如下定义:

$$[0104] \quad H_{sp} = H0 + \frac{VS_0}{KH}; \quad (2)$$

[0105] 上述式(2)中, $H0$, VS_0 分别为Switch_H=1时刻的飞机高度和垂直速度。

[0106] 其中,Switch_H按照如下定义:

[0107] 如果:油门收回中立位,且飞机垂速小于设定阈值,则有

[0108] Switch_H=1;

[0109] 否则:

[0110] Switch_H=0

[0111] 当以下条件任意一个满足时需要断开垂直通道的积分器:

[0112] 条件1:Switch_MODE=0;

[0113] 条件2:Switch_In_Air=0;

[0114] 其中,该油门通道中的Switch_MODE和Switch_In_Air在第三部分模式切换逻辑部分定义。

[0115] (2)俯仰通道控制方式为:

[0116] 遥控器俯仰杆对应飞机向前或向后速度。当俯仰杆上推,控制飞机向前运动,相反,当俯仰杆下拉,控制飞机向后运动;俯仰杆相对中立位的行程对用于制飞机的向前或向后运动速度大小。

[0117] 另外,俯仰杆回收中立位时,根据离地条件、滚转杆位置、飞机当前前向速度绝对值大小和侧向速度绝对值大小确认执行前向速度保持控制或位置保持控制;具体实施方式为:俯仰杆回收中立位置时,判断出满足离地条件,且滚转杆回到中立位,且飞机当前前向速度绝对值和侧向速度绝对值分别小于或等于第二预设阈值时,迅速控制飞机执行位置保持控制,即控制将飞机前向速度降为零,并保持当前位置;俯仰杆回收中立位置时,判断出不满足离地条件,或滚转杆未回到中立位,或飞机当前前向速度绝对值和侧向速度绝对值分别大于第二预设阈值时,迅速控制将飞机前向速度降为零,且不保持当前位置。

[0118] 如图4所示,俯仰通道的控制回路总体采用串级PID的方式。总体上分为位置外环和速度内环,位置外环通过前向位置指令 Px_{sp} 与飞机前向位置 Px 作差生成前向速度指令,经过比例增益生成前向速度指令;速度内环通过将前向速度指令 Vx_{sp} 和前向速度 Vx 作差后,通过PID控制器生成俯仰角指令。

[0119] 当应急模式切换开关Switch_MODE=1时,表明此时处在速度模式下,遥控器中的

俯仰通道直接对应前向速度指令,具体对应关系如下:

$$[0120] \quad \dot{V}_{x_{sp}} = Ax_{sp} = \begin{cases} (S_p - S_{PDZU}) \frac{kX}{(S_{P_{MAX}} - S_{PDZU})} - kX_{damp} V_{x_{sp}} & \text{当 } S_p > S_{PDZU} \\ 0 & \text{当 } S_{PDZD} \leq S_p \leq S_{PDZU} \\ (S_p - S_{PDZD}) \frac{kX}{(S_{P_{MIN}} - S_{PDZD})} - kX_{damp} V_{x_{sp}} & \text{当 } S_p < S_{PDZD} \end{cases}; \quad (3)$$

[0121] 上述式(3)中, S_p 为俯仰杆位置, S_{PDZU} 为俯仰杆死区上限, S_{PDZD} 为俯仰杆死区下限, $S_{P_{MAX}}$ 为俯仰杆最大位置, $S_{P_{MIN}}$ 为俯仰杆最小位置。

[0122] 通过上面公式(3)可以知道,当俯仰杆被快速推拉时,会很快出一个期望的前向加速度 Ax_{sp} , Ax_{sp} 通过阻尼增益会直接前馈到俯仰角指令上,通过这样的方式提高杆灵敏度,同时当杆锁定在某一位置时,那么意味着 $\dot{V}_{x_{sp}} = 0$,此时前向速度指令 $V_{x_{sp}}$ 达到一个稳态的结果,即:

$$[0123] \quad V_{x_{sp}} = \begin{cases} \frac{kX}{kX_{damp}} \frac{(S_p - S_{PDZU})}{(S_{P_{MAX}} - S_{PDZU})} & \text{当 } S_p > S_{PDZU} \\ 0 & \text{当 } S_{PDZD} \leq S_p \leq S_{PDZU} \\ \frac{kX}{kX_{damp}} \frac{(S_p - S_{PDZD})}{(S_{P_{MIN}} - S_{PDZD})} & \text{当 } S_p < S_{PDZD} \end{cases}; \quad (4)$$

[0124] 可以看出俯仰杆量不仅代表一个期望的前向加速度,同时对应了稳态的前向速度指令,操纵手可以通过调节 kX 和 kX_{damp} 来达到需要的前向速度指令上限以及灵敏度。

[0125] 当Switch_P=1时,飞机会自动冻结当前位置,作为前向位置指令。

[0126] 其中,Switch_P按照如下定义:

[0127] 如果:俯仰杆位置位于死区内且滚转杆位于死区内,且飞机前向速度和侧向速度均小于设定阈值且飞机不在地面空中,则有

[0128] Switch_P=1

[0129] 否则:

[0130] Switch_P=0

[0131] 当以下条件任意一个满足时需要断开前向速度控制器的积分器:

[0132] 条件1:Switch_MODE=0;

[0133] 条件2:Switch_In_Air=0;

[0134] 其中,该俯仰通道中的Switch_MODE和Switch_In_Air在第三部分模式切换逻辑部分定义。

[0135] (3) 滚转通道控制方式为:

[0136] 遥控器滚转杆对应飞机左侧向或右侧向速度。当滚转杆右压,控制飞机右侧向运动,相反,当滚转杆左压,控制飞机左侧向运动;滚转杆相对中立位的行程用于控制飞机的左侧向或右侧向运动速度大小。

[0137] 另外,滚转杆回收中立位时,根据离地条件、俯仰杆位置、飞机当前前向速度绝对值大小和侧向速度绝对值大小确认执行侧向速度保持控制或位置保持控制;具体实施方式

为:滚转杆回收中立位置时,判断出满足离地条件,且俯仰杆回到中立位,且飞机当前前向速度绝对值和侧向速度绝对值分别小于或等于第二预设阈值时,控制飞机执行位置保持控制;滚转杆回收中立位置时,判断出不满足离地条件,或俯仰杆未回到中立位,或飞机当前前向速度绝对值和侧向速度绝对值分别大于第二预设阈值时,迅速控制将飞机侧向速度降为零,且不保持当前位置。

[0138] 如图4所示,滚转通道的控制回路总体采用串级PID的方式。总体上分为位置外环和速度内环,位置外环通过侧向位置指令 $P_{y_{sp}}$ 与飞机侧向位置 P_y 作差生成侧向速度指令,经过比例增益生成侧向速度指令;速度内环通过将侧向速度指令 $V_{y_{sp}}$ 和侧向速度 V_y 作差后,通过PID控制器生成滚转角指令。

[0139] 当应急模式切换开关 $Switch_MODE=1$ 时,表明此时处在速度模式下,遥控器中的滚转通道直接对应侧向速度指令,具体对应关系如下:

$$[0140] \quad \dot{V}_{y_{sp}} = A_{y_{sp}} = \begin{cases} (S_L - S_{LDZU}) \frac{kX}{(S_{LMAX} - S_{LDZU})} - kX_{damp} V_{x_{sp}} & \text{当 } S_L > S_{LDZU} \\ 0 & \text{当 } S_{LDZD} \leq S_L \leq S_{LDZU} ; \\ (S_L - S_{LDZD}) \frac{kX}{(S_{LMIN} - S_{LDZD})} - kX_{damp} V_{x_{sp}} & \text{当 } S_L < S_{LDZD} \end{cases} \quad (5)$$

[0141] 上述式(5)中, S_L 为滚转杆位置, S_{LDZU} 为滚转杆死区上限, S_{LDZD} 为滚转杆死区下限, S_{LMAX} 为滚转杆最大位置, S_{LMIN} 为滚转杆最小位置。

[0142] 通过上面公式(5)可以知道,当俯仰杆被快速推拉时,会很快出一个期望的侧向加速度 $A_{y_{sp}}$, $A_{y_{sp}}$ 通过阻尼增益会直接前馈到滚转角指令上,通过这样的方式提高杆灵敏度,同时当杆锁定在某一位置时,那么意味着 $\dot{V}_{y_{sp}} = 0$ 此时侧向速度指令 $V_{y_{sp}}$ 达到一个稳态的结果,即:

$$[0143] \quad V_{y_{sp}} = \begin{cases} \frac{kY}{kY_{damp}} \frac{(S_L - S_{LDZU})}{(S_{LMAX} - S_{LDZU})} & \text{当 } S_L > S_{LDZU} \\ 0 & \text{当 } S_{LDZD} \leq S_L \leq S_{LDZU} ; \\ \frac{kY}{kY_{damp}} \frac{(S_L - S_{LDZD})}{(S_{LMIN} - S_{LDZD})} & \text{当 } S_L < S_{LDZD} \end{cases} \quad (6)$$

[0144] 可以看出滚转杆量不仅代表一个期望的侧向加速度,同时对应了稳态的侧向速度指令,操纵手可以通过调节 kY 和 kY_{damp} 来达到需要的侧向速度指令上限以及灵敏度。

[0145] 当 $Switch_P=1$ 时,飞机会自动冻结当前位置,作为侧向位置指令,其中 $Switch_P$ 与俯仰通道中定义一致。

[0146] 当以下条件任意一个满足时需要断开侧向速度控制器的积分器:

[0147] 条件1: $Switch_MODE=0$;

[0148] 条件2: $Switch_In_Air=0$;

[0149] 其中,该滚转通道中的 $Switch_MODE$ 和 $Switch_In_Air$ 在第三部分模式切换逻辑部分定义。

[0150] (4) 偏航通道控制方式为:

[0151] 遥控器偏航杆对应飞机顺或逆时针偏航速率。当偏航杆右压,控制飞机顺时针偏航转动,相反,当偏航杆左压,控制飞机逆时针转动;偏航杆相对中立位的行程对应控制飞机顺或逆时针偏航角速率的大小。另外,偏航杆回到中立位置时,迅速将操纵产生的顺时针或逆时针偏航速率降为零,并保持当前航向角;其中,顺时针或逆时针偏航速率指:飞机在旋翼状态下,以俯视视角观察飞机偏航速率的方向。

[0152] 如图4所示,偏航通道的控制回路总体采用串级PID的方式。总体上分为姿态外环和角速率内环,姿态外环通过航向角指令 ψ_{sp} 与飞机航向 ψ 作差,经过比例增益生成航向角速率指令;角速率内环通过将航向角速率指令 r_{sp} 和飞机航向角速率 r 作差后,通过PID控制器生成航向通道控制器指令,通过分配矩阵最终控制电机实现控制效果。

[0153] 当应急模式切换开关Switch_MODE=1时,表明此时处在速度模式下,遥控器中的偏航通道直接对应偏航角速率指令,具体对应关系如下:

$$[0154] \quad r_{sp} = \begin{cases} (S_R - S_{RDZU}) \frac{r_{spmax}}{(S_{RMAX} - S_{RDZU})} & \text{当 } S_R > S_{RDZU} \\ 0 & \text{当 } S_{RDZD} \leq S_R \leq S_{RDZU} \\ (S_R - S_{RDZD}) \frac{r_{spmax}}{(S_{RMIN} - S_{RDZD})} & \text{当 } S_R < S_{RDZD} \end{cases}; \quad (7)$$

[0155] 上述式(7)中, S_R 为偏航杆位置, S_{RDZU} 为偏航杆死区上限, S_{RDZD} 为偏航杆死区下限, S_{RMAX} 为偏航杆最大位置, S_{RMIN} 为偏航杆最小位置, r_{spmax} 为最大偏航角速率指令,可根据飞机本身的飞行边界设定。

[0156] 当Switch_PSI=1时,飞机会自动冻结当前航向角,作为航向角指令。

[0157] 其中,Switch_PSI如下定义:

[0158] 如果:Switch_MODE=1,且偏航杆位于死区,且偏航角速率低于阈值,则有

[0159] Switch_PSI=1;

[0160] 否则:

[0161] Switch_PSI=0。

[0162] 第二部分:姿态模式辅助起降控制

[0163] (1) 油门通道控制方式为:

[0164] 遥控器在飞机解锁完成后,油门通道输出值直接对应四个电机的输出转速,油门向上推杆对应四个电机转速同时增加,油门向下拉杆时,对应四个电机转速同时减少,当油门杆处在中立位时,飞机不维持高度。

[0165] 如图4所示,油门通道当应急模式切换开关Switch_MODE=0时,表明此时处在姿态模式下,遥控器中的油门通道直接对应油门通道指令,具体对应关系如下:

$$[0166] \quad Z_{sp} = (S_Z - S_{ZMIN}) \frac{Z_{spmax}}{(S_{ZMAX} - S_{ZMIN})} + Z_{spmin}; \quad (8)$$

[0167] 上述式(8)中, Z_{spmax} 为油门通道最大输出, Z_{spmin} 为油门通道最小输出。

[0168] (2) 俯仰通道控制方式为:

[0169] 遥控器俯仰杆对应飞机俯仰姿态。当俯仰杆上推,控制飞机产生一个正俯仰角,相反,当俯仰杆下拉,控制飞机产生一个负俯仰角;俯仰杆相对中立位的行程对应控制飞机俯仰角大小。俯仰杆在中立位置时,控制俯仰角为0,此时飞机只是维持姿态水平,无法抑制前向或后向速度,可能受风影响脱离当前位置。

[0170] 如图4所示,俯仰通道当模态切换开关Switch_MODE=0时,表明此时处在姿态模式下,遥控器中的俯仰通道直接对应俯仰角指令,具体对应关系如下:

$$[0171] \quad \theta_{sp} = \begin{cases} (S_P - S_{PDZU}) \frac{\theta_{spmax}}{(S_{P_{MAX}} - S_{PDZU})} & \text{当 } S_P > S_{PDZU} \\ 0 & \text{当 } S_{PDZD} \leq S_P \leq S_{PDZU} \\ (S_P - S_{PDZD}) \frac{\theta_{spmax}}{(S_{P_{MIN}} - S_{PDZD})} & \text{当 } S_P < S_{PDZD} \end{cases}; \quad (9)$$

[0172] 上述式(9)中, θ_{spmax} 为最大俯仰角指令,可根据飞机本身的飞行边界设定。

[0173] (3) 滚转通道控制方式为:

[0174] 遥控器滚转杆对应飞机滚转姿态。当滚转杆上推,控制飞机产生一个正滚转角,相反,当滚转杆下拉,控制飞机产生一个负滚转角;滚转杆相对中立位的行程对应控制飞机滚转角大小。杆在中立位置时,控制滚转角为0,此时飞机只是维持姿态水平,无法抑制左侧向或右侧向速度,可能受风影响脱离当前位置。

[0175] 如图4所示,滚转通道当应急模式切换开关Switch_MODE=0时,表明此时处在姿态模式下,遥控器中的滚转通道直接对应滚转角指令,具体对应关系如下:

$$[0176] \quad \phi_{sp} = \begin{cases} (S_L - S_{LDZU}) \frac{\phi_{spmax}}{(S_{L_{MAX}} - S_{LDZU})} & \text{当 } S_L > S_{LDZU} \\ 0 & \text{当 } S_{LDZD} \leq S_L \leq S_{LDZU} \\ (S_L - S_{LDZD}) \frac{\phi_{spmax}}{(S_{L_{MIN}} - S_{LDZD})} & \text{当 } S_L < S_{LDZD} \end{cases}; \quad (10)$$

[0177] 上述式(10)中, ϕ_{spmax} 为最大滚转角指令,可根据飞机本身的飞行边界设定。

[0178] (4) 偏航通道控制方式为:

[0179] 遥控器偏航杆对应飞机顺或逆时针偏航速率。当偏航杆右压,控制飞机顺时针偏航转动,相反,当偏航杆左压,控制飞机逆时针转动;偏航杆相对中立位的行程对应控制飞机顺或逆时针偏航角速率的大小。杆在中立位置时,控制飞机顺或逆时针偏航速率为0,但不保持当前航向角。

[0180] 如图4所示,偏航通道当模态处在姿态模式下,即Switch_MODE=0,根据第一部分偏航通道中对于Switch_PSI的定义,此时Switch_PSI会置0,遥控器中的偏航通道直接对应偏航角速率指令,具体对应关系如下:

$$[0181] \quad r_{sp} = \begin{cases} (S_R - S_{RDZU}) \frac{r_{spmax}}{(S_{RMAX} - S_{RDZU})} & \text{当 } S_R > S_{RDZU} \\ 0 & \text{当 } S_{RDZD} \leq S_R \leq S_{RDZU} ; \\ (S_R - S_{RDZD}) \frac{r_{spmax}}{(S_{RMIN} - S_{RDZD})} & \text{当 } S_R < S_{RDZD} \end{cases} \quad (11)$$

[0182] 上述式(11)中, r_{spmax} 为最大偏航角速率指令,可根据飞机本身的飞行边界设定。

[0183] 第三部分:模式的切换

[0184] 该具体实施例中,模式切换的基本逻辑是:在GPS有效的情况下,当遥控器上的应急操纵开关处在速度模式档位时,采用速度模式辅助起降方式,当遥控器上的应急操纵开关处在姿态模式档位时,采用姿态模式辅助起降方式;在GPS无效的情况下,无论遥控器上的应急操纵开关处在姿态模式或者速度模式档位,均采用姿态模式辅助起降方式。

[0185] 如图4所示,在上面两个部分介绍了,应急模式切换开关在各通道控制中所起到的作用。以下对这些开关的档位进行定义。

[0186] 首先,应急模式切换开关Switch_MODE:

[0187] 如果:GPS有效且遥控器应急模式切换开关处在速度模式档位

[0188] Switch_MODE=1;

[0189] 否则:

[0190] Switch_MODE=0;

[0191] 其次,判断飞机是否在空中的开关Switch_In_Air:

[0192] 如果Switch_In_Air=0,且飞机解锁,且油门通道于阈值,且垂速高于阈值;

[0193] Switch_In_Air=1,离地满足,指飞机在空中;

[0194] 如果Switch_In_Air=1,且油门通道低于阈值,垂速低于阈值;

[0195] Switch_In_Air=0。

[0196] 虽然本发明所揭露的实施方式如上,但所述的内容仅为便于理解本发明而采用的实施方式,并非用以限定本发明。任何本发明所属领域内的技术人员,在不脱离本发明所揭露的精神和范围的前提下,可以在实施的形式及细节上进行任何的修改与变化,但本发明的专利保护范围,仍须以所附的权利要求书所界定的范围为准。

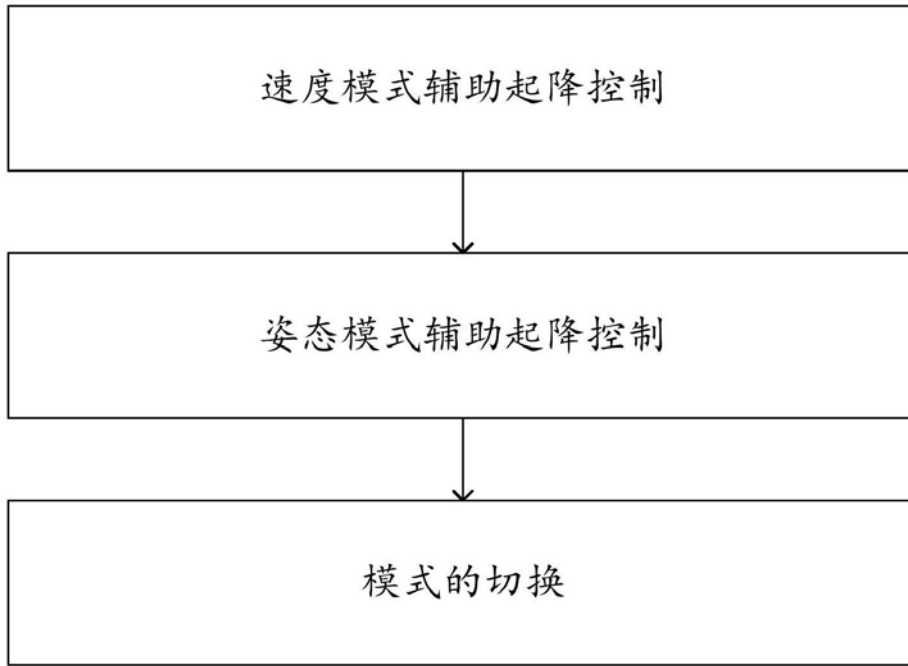
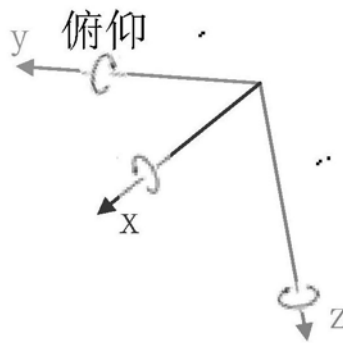


图1



机体系

图2a

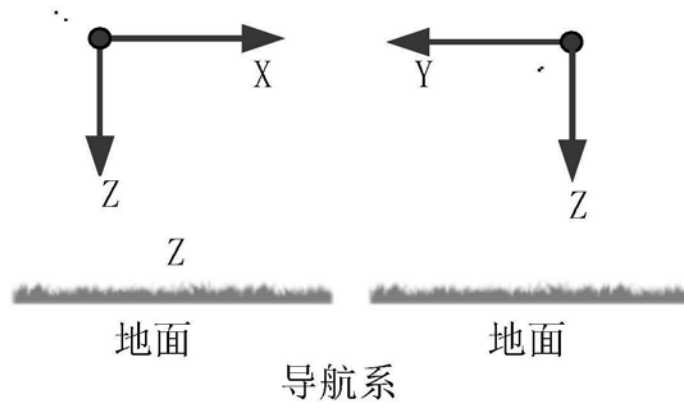


图2b

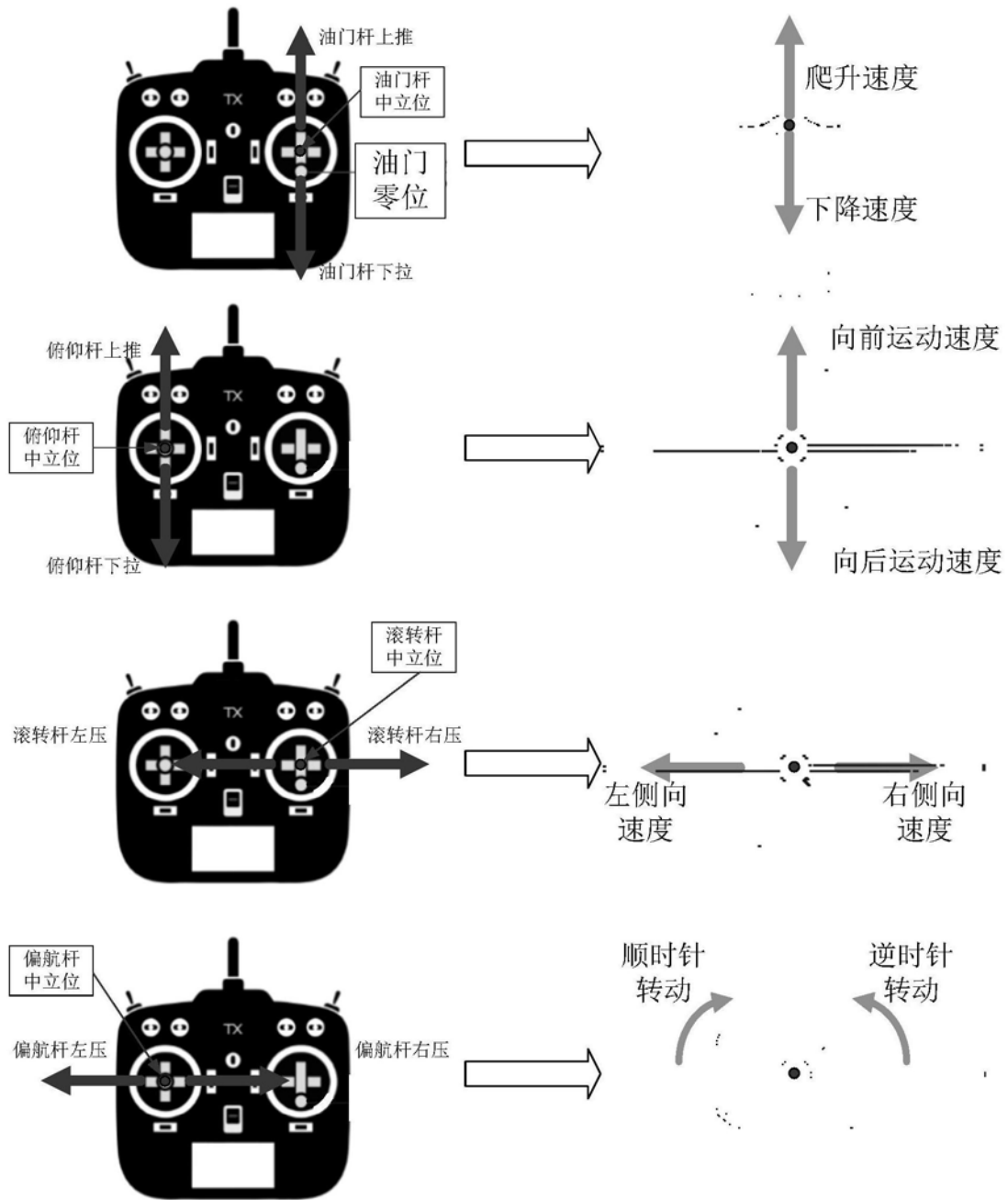


图3

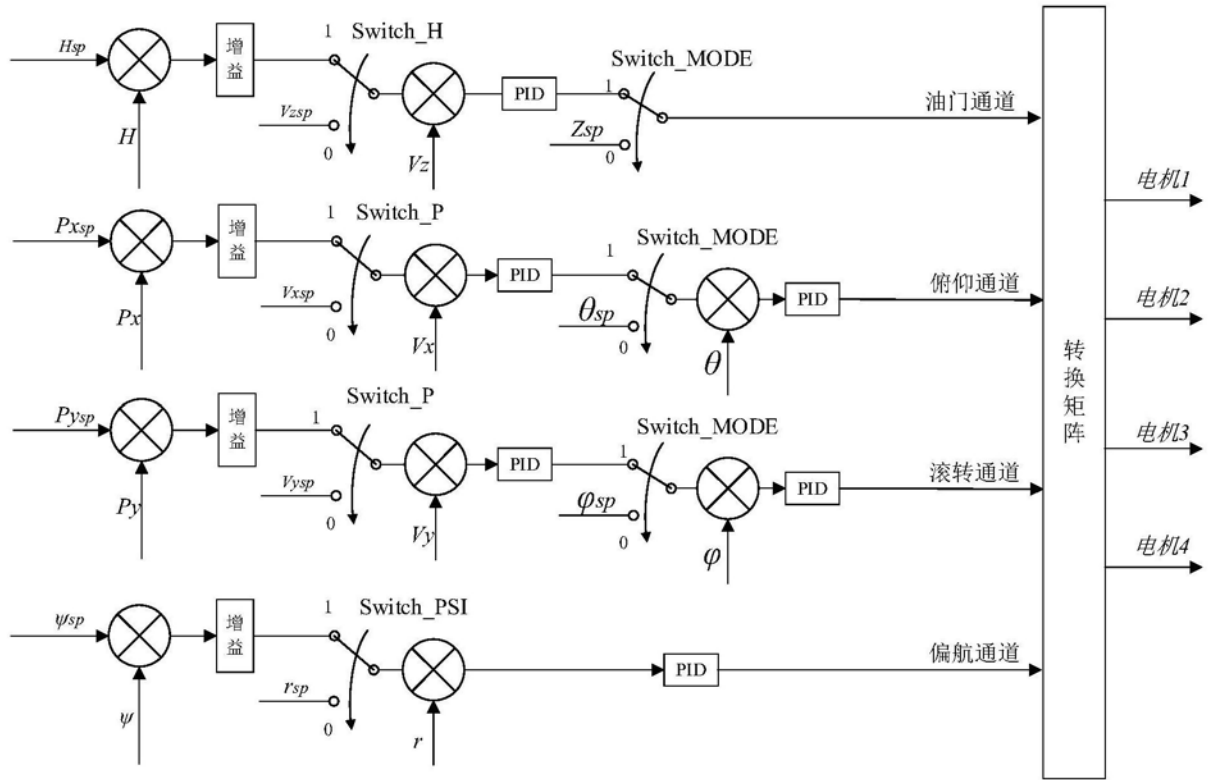


图4