

(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 101807081 A

(43) 申请公布日 2010.08.18

(21) 申请号 201010140997.2

(22) 申请日 2010.04.07

(71) 申请人 南京航空航天大学  
地址 210016 江苏省南京市御道街 29 号

(72) 发明人 李春涛 胡木 董芳

(74) 专利代理机构 南京经纬专利商标代理有限公司 32200

代理人 许方

(51) Int. Cl.  
G05D 1/02(2006.01)

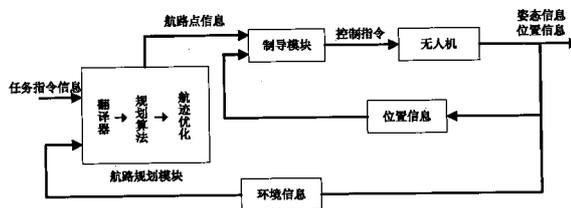
权利要求书 1 页 说明书 4 页 附图 3 页

(54) 发明名称

一种用于无人飞机的自主导航制导方法

(57) 摘要

本发明披露了一种应用于无人飞机的自主导航制导方法,包括基于速度矢量场的航路规划方法和基于非线性导航逻辑制导律的航迹跟踪制导方法。该航路规划方法将无人飞机飞行区域视为速度场区域,在该区域内目标点产生牵引场,它对规划点产生牵引速度;威胁区域产生规避场与导引场,它对规划点产生规避速度与导引速度,在规划合速度作用下,规划点运动的轨迹即为待规划的航路。该航迹跟踪方法是根据给定航迹,结合无人飞机的当前位置、姿态信息及探测步长,给出非线性的导航逻辑制导指令,并通过加速度与滚转角之间的转化关系,将非线性的制导指令转化为滚转角指令,通过飞控系统实现航迹跟踪。本发明实现简单,实时性好,具有很强的实际应用前景。



1. 一种用于无人飞机的自主导航制导方法,包括导航方法和制导方法,其特征在于:

(一)、所述导航方法使用了基于速度矢量场的航路规划方法,即将规划空间视为场的作用区域,目标点、威胁区域看作速度场源;规划质点在矢量场的作用下,产生合速度,导引规划点绕过威胁区域,抵达目标点,该合速度即为无人飞机航路的规划速度,而规划点在合速度场下的运动轨迹正是待规划的飞行航路;其具体步骤为:

A、进入自主导航模式;

B、接收无人飞机位置信息、状态信息和环境信息;

C、根据接收到的位置信息、状态信息和环境信息,并结合目标信息,计算规划点所受牵引场、规避场以及导引场场强,叠加三个场强得到规划速度;

D、用规划速度与导航模块调用周期的乘积与当前无人飞机位置叠加即得到下一时刻需要到达的航点位置信息;

E、以上 B-D 步骤迭代进行,直到无人飞机到达目标点;

F、退出自主导航模式;

(二)、所述制导方法使用了基于非线性导航逻辑制导律的航迹跟踪方法,即:根据航路规划给出的目标点的位置信息,结合无人飞机的当前位置、姿态信息及探测步长,给出非线性的制导指令,通过飞控系统执行指令从而实现在线航迹跟踪功能,其具体步骤为:

a) 将导航模块规划出的目标点与无人飞机的当前位置点构成的直线作为目标航迹,并将该直线的斜率角作为视线角  $\lambda$ ;

b) 用当前无人飞机的速度方向角  $\gamma$  减去视线角  $\lambda$ ,即为非线性加速度指令中所需的角度  $\eta$ ;

c) 根据得出的角度  $\eta$  得到非线性的加速度指令;

d) 将该加速度指令转化为滚转角指令;

e) 依据该滚转角指令并结合无人飞机飞控系统完成航迹跟踪。

2. 如权利要求 1 所述的用于无人飞机的自主导航制导方法,其特征在于:

所述步骤 C 包括:

C1、判断规划点是否陷入局部最小区域,如是,则及时添加临时目标点替代原目标点,牵引无人飞机脱离速度场陷阱;如否,则继续执行 C2 步骤;

C2、计算规划点所受牵引场、规避场以及导引场场强;

C3、叠加三个场强得到规划速度。

3. 如权利要求 1 或 2 所述无人飞机自主导航制导的方法,其特征在于:

所述步骤 D 包括:

D1、判断规划速度与无人飞机当前速度是否偏差过大,如是,则采用限制规划速度方向与无人飞机当前方位角的最大偏差角度来限制规划航路的最小转弯半径,从而得到最终规划速度;如否,则步骤 C 中得到的规划速度即为最终规划速度;

D2、用最终规划速度与导航模块调用周期的乘积与当前无人飞机位置叠加从而得到下一时刻需要到达的航点位置信息。

## 一种用于无人飞机的自主导航制导方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及航空技术领域,更具体地说,本发明涉及无人飞机自主导航方法。

### 背景技术

[0002] 无人飞机自主导航方法是指无人飞机在接收到执行任务后,根据其当前状态以及环境信息,在线生成航路、跟随航路,完成任务的能力。通常自主导航方法包括三大部分:导航模块、制导模块以及控制模块。本发明主要针对无人飞机自主导航方法中的导航与制导方法。

[0003] 导航方法是指无人飞机的航路规划方法,是指在满足无人飞机约束的条件下,寻找一条由起飞点到目标点的最优或令人满意的飞行航线。现行的导航方法主要由地面规划人员或者地面站根据无人飞机的飞行任务以及当前已知威胁信息离线规划出航路,但随着无人飞机飞行任务越来越复杂,飞行环境的不确定性使得离线规划不能完全满足实际飞行要求,不能根据实时变化的环境在线更改航路。

[0004] 制导方法是整个导航系统不可或缺的一部分,它通过一定的制导律给出制导指令,使无人飞机能够精确跟踪在航路规划中得到的航迹。现行的制导方法主要是通过计算侧偏距和偏航角,给出控制律,实现跟踪,但由于无人飞机在进行地形跟踪\地形回避\威胁回避飞行时,航迹通常比较曲折,会导致在计算侧偏距和偏航角时较困难,因此,需要研究新的方法来实现无人飞机对复杂形状航迹的跟踪。

[0005] 现在的自主导航制导方法主要有以下不足之处需要改进:

[0006] 1、航路规划方法大部分为离线规划方法,需要预定飞行任务,以及预知飞行环境信息。航路一旦装订到无人飞机,不易更改。当在飞行过程中,当飞行任务或者飞行环境发生改变时,无人飞机很难及时更新航路,不利于无人飞机自主导航能力的提升。

[0007] 2、当前规划方法虽然能够给出最优或者令人满意的航路,但由于算法全局寻优机制,使得算法计算量大,耗时长,占用大量的硬件资源,不利于作为导航模块嵌入到小型飞行控制系统中去。

[0008] 3、常规中使用的航迹跟踪方法大部分为基于侧偏距和偏航角的控制方案,需要准确计算侧偏距和偏航角。当无人飞机跟踪复杂形状航迹时,由于航迹的形状复杂,存在侧偏距和航向角不容易计算的情况,不利于侧偏控制律的产生。

### 发明内容

[0009] 本发明主要为了进一步提高无人飞机自主导航能力,其主要体现在以下两点:一是为了提高航路规划算法的快速性与实时性,将速度矢量场法融入到无人飞机航路规划中,使得无人飞机能够根据当前任务,状态以及环境信息给出下一航点位置,实现实时航路规划。二是为了实现实时规划航路的跟踪,设计非线性导航逻辑制导律,通过目标点及无人飞机的当前位置、速度信息及探测步长,给出非线性的加速度指令,实现对目标航迹的跟踪。

[0010] 其中基于速度矢量场的航路规划方法将规划空间视为场的作用区域,将目标点、威胁区域看作速度场源,规划质点在矢量场的作用下,产生合速度,导引规划点绕过威胁区域,抵达目标点。该合速度即为无人飞机航路的规划速度,而规划点在合速度场下的运动轨迹正是待规划的飞行航路。

[0011] 在基于速度矢量场的航路规划中,将目标点看作牵引场源,牵引规划点以一定牵引速度  $V_T$  向目标点运动。而威胁、障碍则被看作规避场源和导引场源,它不仅提供规避速度  $V_P$  推离规划点远离威胁区域,也提供了垂直于  $V_P$  指向目标点的导引速度  $V_C$ ,为飞机“指明”如何绕过威胁区域。三个矢量场作用在规划点上,使得飞机产生合规划速度,而对合速度的积分即为待规划的路径,更具体的讲,其按照下列步骤进行:

[0012] A、进入自主导航模式;

[0013] B、接收无人飞机位置信息、状态信息和环境信息;

[0014] C、根据接收到的位置信息、状态信息和环境信息,并结合目标信息,计算规划点所受牵引场、规避场以及导引场场强,叠加三个场强得到规划速度;

[0015] D、用规划速度与导航模块调用周期的乘积与当前无人飞机位置叠加即得到下一时刻需要到达的航点位置信息;

[0016] E、以上 B-D 步骤迭代进行,直到无人飞机到达目标点;

[0017] F、退出自主导航模式;

[0018] 在进行场矢量进行航路规划时,由于威胁区域之间相对位置信息不能够完全通过场强叠加表现出来,规划点容易陷入局部最小区域。所谓“速度场陷阱”指的是规划点陷入速度场的局部最小点或在局部最小区域周期性徘徊。为了解决该问题,在速度矢量场中引入虚拟目标点添加机制,在规划点陷入局部最小区域时,及时添加临时目标点替代原目标点,牵引无人飞机脱离速度场陷阱。另外,由于无人飞机机动能力的约束,无人飞机在实际飞行过程中有最小的转弯半径要求,因此规划的航路曲率不能太小,需要满足无人飞机最小转弯半径要求,在用速度矢量场每步迭代步长确定的条件下,采用限制规划速度方向与无人飞机当前方位角的最大偏差角度来达到限制规划航路的最小转弯半径。

[0019] 在增加加虚拟目标点添加机制以及融入探测步长法后,速度矢量场法每次根据无人飞机当前姿态信息,位置信息以及环境目标信息,及时给出满足无人飞机约束的下一航点位置信息,从而达到实时航路规划的目的,实现在线航路规划功能。

[0020] 在获得无人飞机下一航点位置信息后,采用基于非线性导航逻辑制导律实现航迹跟踪。航迹跟踪算法根据航路规划给出的目标点的位置信息,结合无人飞机的当前位置、姿态信息及探测步长,给出非线性的加速度制导指令,并通过加速度与滚转角的转化关系,将加速度指令转化为滚转角指令,用该滚转角指令结合无人飞机飞行控制系统的横侧向环节及无人飞机的运动学方程,通过建立跟踪模型,实现对目标航点的跟踪;同时,通过传感器获得无人飞机新的采样时刻的位置及姿态信息,并通过航路规划模块与航迹跟踪模块之间数据的传递,达到实时航迹跟踪的目的,实现在线航迹跟踪功能,其具体依照下列步骤完成:

[0021] a) 将导航模块规划出的目标点与无人飞机的当前位置点构成的直线作为目标航迹,并将该直线的斜率角作为视线角  $\lambda$ ;

[0022] b) 用当前无人飞机的速度方向角  $\gamma$  减去视线角  $\lambda$ ,即为非线性加速度指令中所

需的角度  $\eta$  ;

[0023] c) 根据得出的角度  $\eta$  得到非线性的加速度指令 ;

[0024] d) 将该加速度指令转化为滚转角指令 ;

[0025] e) 依据该滚转角指令并结合无人飞机飞控系统完成航迹跟踪。

[0026] 跟踪过程中,为了保证制导律的动态特性与飞行控制系统的匹配,对非线性制导律进行了线性化分析,给出了非线性制导律的带宽,通过制导律与飞行控制系统的动态约束匹配,限定探测步长的长度,保证了无人飞机约束与制导算法的融合;同时,计算飞行过程中每一采样时刻无人飞机的滚转角,使滚转角不超过无人飞机所允许的最大滚转角的限制。

### 附图说明

[0027] 图 1 是无人飞机系统结构图。

[0028] 图 2 是基于速度矢量场航路规划法示意图。其中  $V_T$  表示牵引速度,  $V_P$  表示规避速度,  $V_G$  表示导引速度。

[0029] 图 3 是计算规划速度示意图。

[0030] 图 4 是角度关系示意图。其中, A 为无人飞机位置, B 为目标点位置,  $V_m$  为无人飞机速度大小,  $a_c$  为非线性加速度指令,  $\lambda$  为由无人飞机及目标点位置构成的视线角,  $\gamma$  为无人飞机速度方向角,  $\eta$  为无人飞机速度与视线之间的夹角。

[0031] 图 5 是加速度与滚转角的转化示意图。其中,  $a_c$  为给定的非线性加速度指令, L 为无人飞机的升力,  $\phi$  为滚转角, g 为重力加速度。

[0032] 图 6 是跟踪模型的建立示意图。

### 具体实施方式

[0033] 下面结合附图对本发明的技术方案进行详细说明 :

[0034] 本发明主要包含两大模块,分别为导航模块与制导模块。

[0035] 当无人飞机进入自主导航模式后,飞行控制软件切换至基于速度矢量场法的导航制导模块。首先导航模块启用速度矢量场法进行航路规划。以传感器中接受到的无人飞机位置信息,状态信息以及地面站或者机载传感器探测的环境信息,结合目标信息作为速度矢量场法的输入,速度矢量场首先更新环境信息,再根据无人飞机的位置判断是否启用虚拟目标点机制或更新虚拟目标点,然后计算规划点所受牵引场,规避场以及导引场场强,叠加三个场强得到规划速度,参见图 2 ;判断规划速度与无人飞机当前速度是否偏差过大,启用探测步长法限制规划航路的最小转弯半径,从而得到最终规划速度,其中迭代过程见图 3。在得到规划速度后,规划速度与导航模块调用周期的乘积与当前无人飞机位置叠加即为下一时刻需要到达的航点位置信息。导航模块迭代进行,直至无人飞机到达目标点完成任务,退出该导航模块。该方法算法简单快速,规划的航路能够满足无人飞机飞行要求,能够满足无人飞机机载设备的限制,可以在单位导航周期内规划出下一时刻航点信息,从而完成规划任务。

[0036] 在实现在线航迹跟踪时,将导航模块规划出的目标点,结合无人飞机的当前位置信息构成的直线作为目标航迹,并将该直线的斜率角作为视线角  $\lambda$ ,用无人飞机的速度方

向角  $\gamma$  减去视线角  $\lambda$  ,即得到非线性加速度指令中所需的角度  $\eta$  ,角度关系如图 4 所示,进而得到非线性的加速度指令,根据加速度指令与滚转角的转换关系如图 5 所示,将该加速度指令转化为滚转角指令,并结合无人飞机飞控系统的横侧向环节及无人飞机的运动学方程,完成对跟踪模型的建立如图 6 所示,实现对目标航路点的跟踪,同时,通过传感器获得新一时刻无人飞机的位置及速度信息,并通过导航模块与制导模块之间数据的传递,实现无人飞机对实时航迹的跟踪,整个导航系统的结构如图 1 所示。

[0037] 本方法实现简单,实时性好,具有很强的实际应用前景。

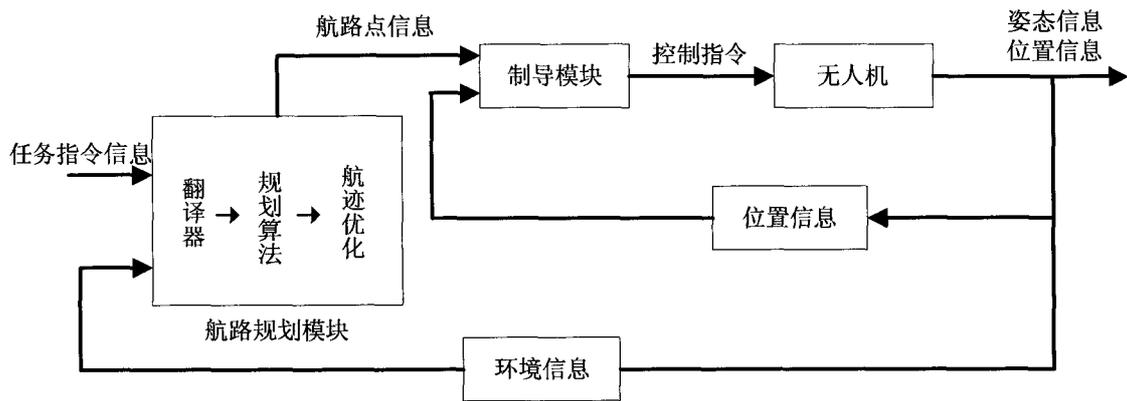


图 1

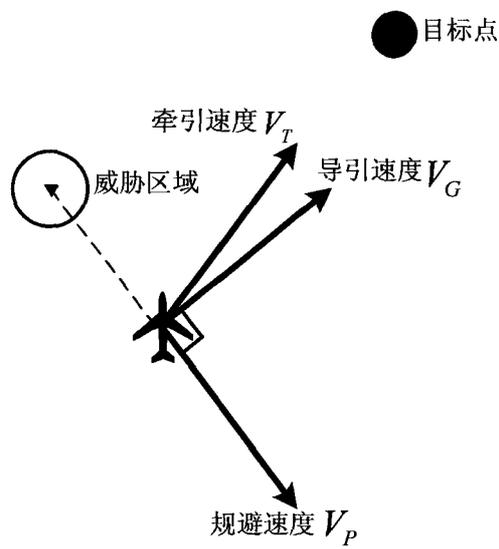


图 2

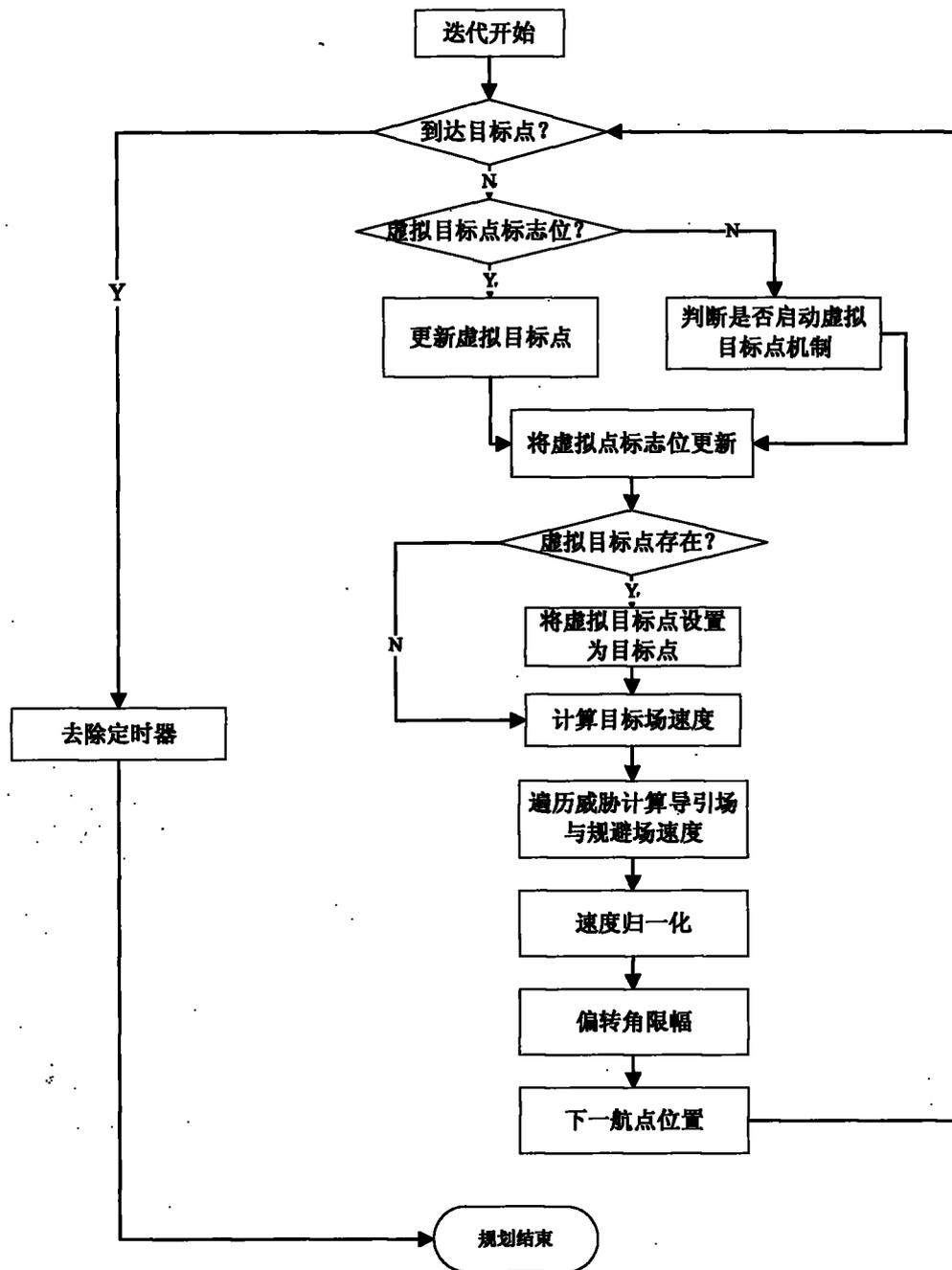


图 3

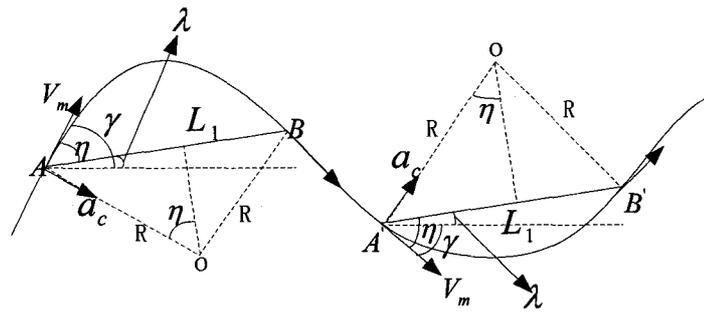


图 4

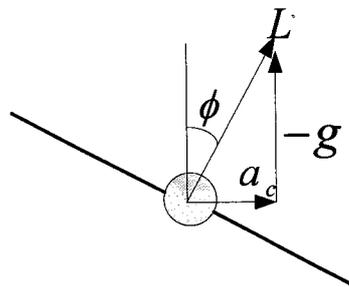


图 5

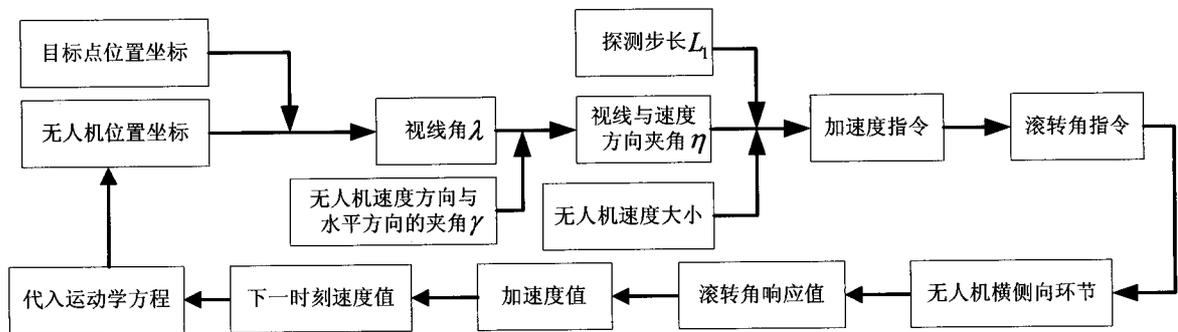


图 6