



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 107272731 A

(43)申请公布日 2017. 10. 20

(21)申请号 201710430077.6

(22)申请日 2017.06.05

(71)申请人 陈金良

地址 100166 北京市丰台区程庄路甲1号

申请人 李寰宇 杨源

(72)发明人 陈金良 李寰宇 杨源

(51)Int. Cl.

G05D 1/10(2006.01)

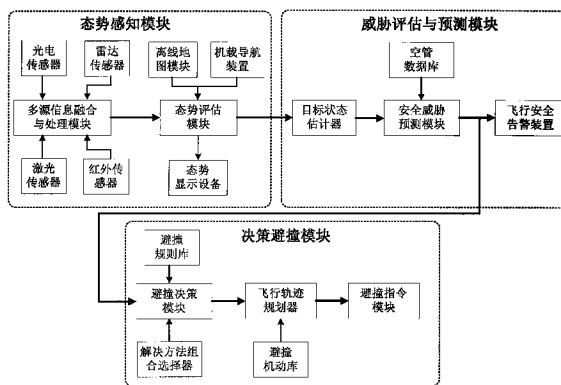
权利要求书1页 说明书4页 附图1页

(54)发明名称

无人机自动防撞系统

(57)摘要

本发明公开了一种无人机自动防撞系统,包括无人机态势感知模块,用于信号级或像素级的目标检测、跟踪和识别,以及从信息中抽象出对环境的整体性认识,实现环境的认知;无人机防撞威胁评估与预测模块,用于在无人机在空域运行中,对所探测区域内的静态障碍、极端天气和动态目标进行威胁评估与冲突预测;无人机决策防撞模块,用在无人机通过评估预测得到飞行冲突趋势后,生成相应的行为选择,并通过飞行轨迹规划器及时规划出可飞的最优防撞路径,并输出规避决策和机动指令。本发明能够实现无人机在空中飞行时的自动感知-避让,实现无人机防撞的系统化、自动化、智能化,显著提高无人机与其他航空器共用空域时所有航空器的飞行安全。



1. 无人机自动避撞系统,其特征在於,包括:

无人机态势感知模块,用于信号级或像素级的目标检测、跟踪和识别,以及从信息中抽象出对环境的整体性认识,实现环境的认知,包括目标行为理解、态势评估、威胁估计以及态势理解;

无人机防相撞威胁评估与预测模块,用于在无人机在空域运行中,对所探测区域内的静态障碍、极端天气和动态目标进行威胁评估与冲突预测,使无人机具备及时发现、预测和评估飞行冲突的能力,确保无人机能够准确及时的采取规避机动,防止不安全事故的发生;

无人机决策避撞模块,用在无人机通过评估预测得到飞行冲突趋势后,生成相应的行为选择,并通过飞行轨迹规划器及时规划出可飞的最优避撞路径,并输出规避决策和机动指令,使飞控系统能够按照指令操纵飞机自主飞行。

2. 如权利要求1所述的无人机自动避撞系统,其特征在於,所述无人机态势感知模块包括:

多源信息融合与处理模块,要由传感器组进行多源信息输入,然后将输入的信息融合发送到态势评估模块;

态势评估模块,用于根据接收到的数据,通过离线地图和机载导航装置的支持,生成关联态势信息,并可用于相撞威胁评估和相撞风险预测。

3. 如权利要求1所述的无人机自动避撞系统,其特征在於,所述无人机防相撞威胁评估与预测模块包括:

目标状态估计器,用于通过非合作式目标轨迹预测方法对动目标运行轨迹进行预测;

安全威胁预测模块,用于通过几何方法,基于空管数据库中的间隔标准对飞行冲突趋势进行预测。

4. 如权利要求1所述的无人机自动避撞系统,其特征在於,所述无人机决策避撞模块包括避撞决策模块、飞行轨迹规划器和避撞指令模块,避撞决策模块通过避撞规则库和解决方法组合选择器的支持得出避撞决策,并将避撞决策发送到飞行轨迹规划器,飞行轨迹规划器根据接收到的数据以及避撞机动库的支持,进行动态飞行航迹的规划,涉及避撞规则、构建规划空间算法、无人机运动模型、代价函数和算法求解方面。

5. 如权利要求4所述的无人机自动避撞系统,其特征在於,动态飞行航迹的规划问题可以看成是一个求解最优问题的过程,寻找一组决策变量在满足其约束条件下飞目标函数的最优解,用数学形式表示如下:

$$\begin{cases} \min J(x) \\ \text{s.t.} & g_i(x) \\ & h_i(x) \end{cases}$$

式中: $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)^T \in \mathbb{R}$ 是决策变量, $J(x)$ 是目标函数, $g_i(x)$  ( $i = 1, 2, \dots, m$ )与 $h_i(x)$  ( $i = 1, 2, \dots, l$ )为约束函数。

6. 如权利要求1所述的无人机自动避撞系统,其特征在於,无人机对其周围飞行态势的感知不限于仅对合作目标的感知,也包括对非合作目标的感知,避免相撞的措施不依赖于避撞目标的避撞行为,也不依赖于地面操控人员的避撞操控,而是直接将避撞的飞行路径规划指令输送给机载飞行控制模块。

## 无人机自动避撞系统

### 技术领域

[0001] 本发明涉及空中交通智能化领域,具体涉及一种无人机自动避撞系统。

### 背景技术

[0002] 随着航空技术的飞速发展,无人机在军事领域、民用领域的用途不断拓展,无人机的飞行范围、运行时间成倍增长,无人机与有人机共域飞行已是必然趋势。但同时,无人机与有人机之间的飞行冲突和安全问题日益突出,而无人机自动避撞系统正是解决该问题的关键所在。

[0003] 自动避撞系统作为无人机系统的核心组成部分,它直接关系到无人机飞行平台的交通安全和智能化水平,也是无人机系统更为广泛应用的主要挑战之一。随着空中无人机的数量和种类越来越多、无人机应用领域越来越广,“感知-避让”是进一步提高无人机自主化水平必须要面对问题。目前,无人机的自动避撞系统的研究还停留在基础阶段,许多理论和技术上的问题有待研究解决,因此,从实际需求出发,研究无人机自动避撞系统问题对于无人机安全飞行极其重要,也是为无人机在各个领域的应用提供关键的技术支撑。

[0004] 当无人机与有人飞机,特别是与民用运输机共享空域时,防相撞安全问题将是我们不得不考虑和解决的问题。自动避撞系统能够有力提升无人机的智能化交通水平,其实质就是防止无人机与其他航空器空中相撞。有人机依靠飞行员进行态势判断和决策,对于无人机来说就是自动避撞系统,“自动避撞系统通过无人机自身携带的传感器对空域探测,基于数据链路或卫星与其它有人驾驶飞机、无人机及地面站进行通讯,自动生成决策,应对各种威胁,实时更新飞行策略,确保飞行不发生相撞事故。总之,要消除无人机“非隔离空域”运行安全的隐患,使无人机具有“感知-避让”能力是其安全飞行的必要手段。为此,必须采取必要的技术措施,研究各类飞行环境中的“感知”技术,并根据“感知”情况,研究基于无人机飞行决策、飞行控制下的冲突“避让”技术,形成避让方案,并自动优化及恢复航线,即研究无人机自动避撞系统。

[0005] 安全问题长期得不到很好的解决是制约无人机系统发展的重要因素。由于无人机缺乏自主的“感知-避让”能力,空中相撞事故频频发生,据统计,2003年到2012年美国发生了11起无人机与有人机相撞事件。而且“感知-避让”能力不足使军用无人机各项技术、战术指标受到限制,其战斗力不能有效发挥,至使军用远程无人机发展进程缓慢;对于民用无人机而言,其影响了民用无人机在摄影、测绘、勘探、灾情监测、海岸缉私等行业充分应用。安全问题制约着无人机乃至航空工业的发展。解决无人机的安全问题,最有效途径就是解决“感知-避让”问题,美国和欧洲对无人机的自动避撞系统都提出了明确要求并展开深入的研究。无人机自动避撞系统能从根本上解决无人机在共域飞行时与其他航空器的飞行安全问题,对推动无人机系统和航空运输业的发展具有重要意义。

[0006] 目前,无人机感知避让系统中有许多技术、方法结合在一起降低无人机的碰撞风险。例如,无人机地面管控系统,用于监管、控制空域中所有受控无人机,并时刻保持与空中交通管理系统的通信,一旦发现碰撞冲突后,则由地面指控人员控制执行避撞策略,防止

无人机发生碰撞；而无人机的自动避撞系统可使无人机自主规避碰撞，而不需地面操纵人员的干预。在这些技术方法中，对潜在目标的精确监视是一个关键步骤，目标的错过或者其位置的错误判断将降低其有效性。监视就是指无人机通过多传感器信息融合技术快速得到目标的准确信息，多传感器信息融合技术已成为了实现无人机环境态势感知的关键和核心，但当前的多传感器融合技术还不成熟，需要得到进一步的改进与提高。无人机多传感器融合技术必须列在研究工作的第一位。

[0007] 静态与动态威胁的分析评估技术是无人机冲突评估与预测技术的核心部分，是支撑无人机自动避让的关键技术。静态威胁分析评估技术主要是为各种静态威胁建立评估模型，计算安全余度，嵌入无人机飞行环境模型中以支持后续的告警技术。动态威胁分析评估技术是通过机载和地面监视设备对无人机在空域中的位置、高度和速度等信息进行计算，利用它们的飞行计划与当前时刻的航行诸元来预测它们未来时刻的位置和相撞风险。但目前的分析评估技术准确性不高且有延时的缺点，必须进行优化与改进。

[0008] 冲突解脱技术是无人机冲突避让策略研究的主要研究内容，多采用智能算法对计划路径点序列进行调整，生成最大可能按预期执行顺序飞行的无冲突路径。但目前的研究大多停留于二维空间与双机之间的冲突解脱，而三维空间中多机冲突解脱技术才是能够使无人机与其它航空器共域飞行的关键支撑技术。无人机冲突解脱技术的发展水平决定着无人机是否能飞出隔离空域，也决定着无人机与其它航空器共域飞行时的安全度水平。

[0009] 综上所述，现有无人机系统中并没有能替代有人机上飞行员来判断并避让危险的自动避撞装置，因此无人机与有人机共域飞行时，极易发生无人机与其他航空器、无人机与地面障碍物之间的相撞事故，空中飞行安全难以保障。

## 发明内容

[0010] 为解决上述问题，本发明提供了一种无人机自动避撞系统，所设计的无人机自动避撞系统能够与无人机机载动作系统相融合，进一步提高无人机飞行安全“技术防”的水平，降低将航空器上飞行员转移至地面所带来的安全风险，提高无人机飞行安全水平和无人机空管智能化水平，达到与有人机相当的飞行安全等级。

[0011] 为实现上述目的，本发明采取的技术方案为：

[0012] 无人机自动避撞系统，包括：

[0013] 无人机态势感知模块，用于信号级或像素级的目标检测、跟踪和识别，以及从信息中抽象出对环境整体性认识，实现环境的认知，包括目标行为理解、态势评估、威胁估计以及态势理解；

[0014] 无人机防相撞威胁评估与预测模块，用于在无人机在空域运行中，对所探测区域内的静态障碍和动态目标进行威胁评估与冲突趋势预测，使无人机具备及时发现、预测和评估飞行冲突的能力，确保无人机能够准确及时的采取规避机动，防止不安全事故的发生；

[0015] 无人机决策避撞模块，用在无人机通过评估预测得到飞行冲突趋势后，生成相应的行为选择，并通过飞行轨迹规划器及时规划出可飞的最优避撞路径，并输出规避决策和机动指令，使飞控系统能够按照指令操纵飞机自主飞行。

[0016] 其中，所述无人机态势感知模块包括：

[0017] 多源信息融合与处理模块，要由传感器组进行多源信息输入，然后将输入的信息

发送到态势评估模块；

[0018] 态势评估模块,用于根据接收到的数据,通过离线地图和机载导航装置的支持,生成关联态势信息,并可用于相撞威胁评估和相撞风险预测。其中,所述无人机防相撞威胁评估与预测模块包括:

[0019] 目标状态估计器,用于通过非合作式目标轨迹预测方法对动目标运行轨迹进行预测;

[0020] 安全威胁预测模块,用于通过几何方法,基于空管数据库中的间隔标准对飞行冲突进行预测。

[0021] 其中,所述无人机决策避撞模块包括避撞决策模块、飞行轨迹规划器和避撞指令模块,避撞决策模块通过避撞规则库和解决方法组合选择器的支持得出避撞决策,并将避撞决策发送到飞行轨迹规划器,飞行轨迹规划器根据接收到的数据以及避撞机动库的支持,进行动态飞行航迹的规划,主要涉及避撞规则、构建规划空间算法、无人机运动模型、代价函数和算法求解等方面。

[0022] 其中,动态飞行航迹的规划问题可以看成是一个求解最优问题的过程,寻找一组决策变量在满足其约束条件下飞目标函数的最优解,用数学形式表示如下:

$$[0023] \quad \begin{cases} \min J(\mathbf{x}) \\ \text{s.t.} \quad g_i(\mathbf{x}) \\ \quad \quad h_i(\mathbf{x}) \end{cases}$$

[0024] 式中: $\mathbf{x} = (x_1, x_2, \dots, x_n)^T \in \mathbb{R}$ 是决策变量, $J(\mathbf{x})$ 是目标函数, $g_i(\mathbf{x})$  ( $i = 1, 2, \dots, m$ )与 $h_i(\mathbf{x})$  ( $i = 1, 2, \dots, l$ )为约束函数。

[0025] 本发明具有以下有益效果:

[0026] 本发明结合无人机机载传感器、通信系统、飞控系统,能够实现无人机在空中飞行时的自动感知-避让,实现无人机防相撞的系统化、自动化、智能化,显著提高无人机与其他航空器(尤其是有人驾驶航空器)共用空域时所有航空器的飞行安全。

## 附图说明

[0027] 图1为本发明实施例无人机自动避撞系统的系统框图。

[0028] 图2为本发明实施例中安全威胁评估模块的原理图。

## 具体实施方式

[0029] 为了使本发明的目的及优点更加清楚明白,以下结合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。

[0030] 如图1-2所示,本发明实施例提供了一种无人机自动避撞系统,包括:

[0031] 无人机态势感知模块,用于信号级或像素级的目标检测、跟踪和识别,以及从信息中抽象出对环境整体性认识,实现环境的认知,包括目标行为理解、态势评估、威胁估计以及态势理解;

[0032] 无人机防相撞威胁评估与预测模块,用于在无人机在空域运行中,对所探测区域内的静态障碍、和动态目标进行威胁评估与冲突预测,使无人机具备及时发现、预测和评估

飞行冲突的能力,确保无人机能够准确及时的采取规避机动,防止不安全事故的发生;

[0033] 无人机决策避撞模块,用在无人机通过评估预测得到飞行冲突趋势后,生成相应的行为选择,并通过飞行轨迹规划器及时规划出可飞的最优避撞路径,并输出规避决策和机动指令,使飞控系统能够按照指令操纵飞机自主飞行。

[0034] 所述无人机态势感知模块包括:

[0035] 多源信息融合与处理模块,要由由光电、红外、激光、雷达等传感器组进行多源信息输入,然后将输入的信息发送到态势评估模块;

[0036] 态势评估模块,用于根据接收到的数据,通过离线地图和机载导航装置的支持,生成关联态势信息,并可用于相撞威胁评估和相撞风险预测。所述无人机防相撞威胁评估与预测模块包括

[0037] 目标状态估计器,用于通过非合作式目标轨迹预测方法对动目标运行轨迹进行预测;

[0038] 安全威胁预测模块,用于通过几何方法,基于空管数据库中的间隔标准对飞行冲突进行预测;安全威胁评估模块的原理是采用几何方法,基于空管数据库中的间隔标准对飞行相撞风险进行预测,如图2所示,以无人机为原点的相对坐标系中,无人机静态保护区I、静态保护区II与动态避撞区分别用以探测无人机与入侵机之间的飞行冲突趋势、空中危险接近趋势与飞行碰撞趋势,静态保护区考虑建立圆柱体保护区模型,动态避撞区考虑根据无人机机动能力建立三维空间中避撞区模型。

[0039] 所述无人机决策避撞模块包括避撞决策模块、飞行轨迹规划器和避撞指令模块,避撞决策模块通过避撞规则库和解决方法组合选择器的支持得出避撞决策,并将避撞决策发送到飞行轨迹规划器,飞行轨迹规划器根据接收到的数据以及避撞机动库的支持,进行动态飞行航迹的规划,主要涉及避撞规则、构建规划空间算法、无人机运动模型、代价函数和算法求解等方面。

[0040] 动态飞行航迹的规划问题可以看成是一个求解最优问题的过程,寻找一组决策变量在满足其约束条件下飞目标函数的最优解,用数学形式表示如下:

$$[0041] \quad \begin{cases} \min J(x) \\ s.t. \quad g_i(x) \\ \quad \quad h_i(x) \end{cases}$$

[0042] 式中: $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)^T \in R$ 是决策变量, $J(x)$ 是目标函数, $g_i(x)$  ( $i = 1, 2, \dots, m$ )与 $h_i(x)$  ( $i = 1, 2, \dots, l$ )为约束函数。

[0043] 本具体实施结合我国现行空管规则,增设空管数据接口,从空中交通管理和飞行安全管理层级,给出了无人机空域运行时在防相撞问题上的系统解决方案,从而实现无人机态势感知并避让的系统化、自动化、智能化,提高无人机空域运行的安全性。

[0044] 以上所述仅是本发明的优选实施方式,应当指出,对于本技术领域的普通技术人员来说,在不脱离本发明原理的前提下,还可以作出若干改进和润饰,这些改进和润饰也应视为本发明的保护范围。

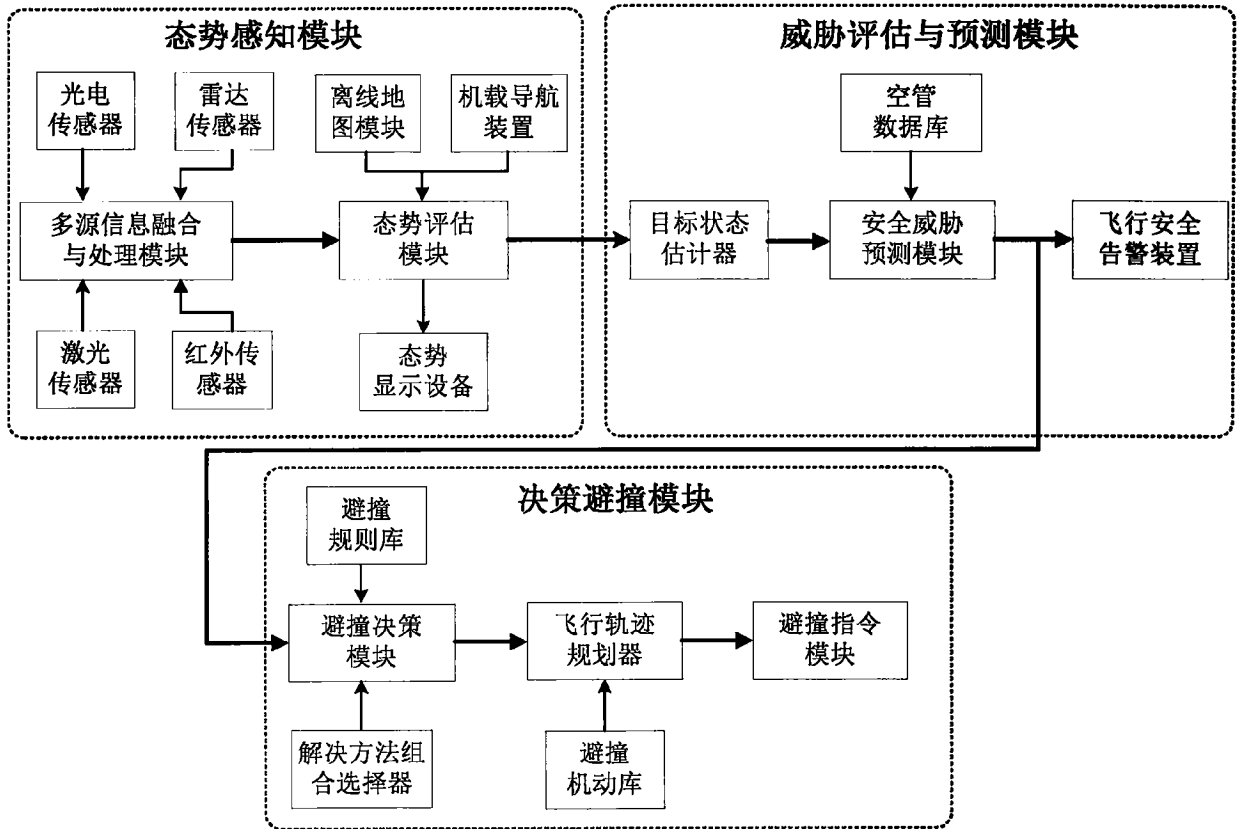


图1

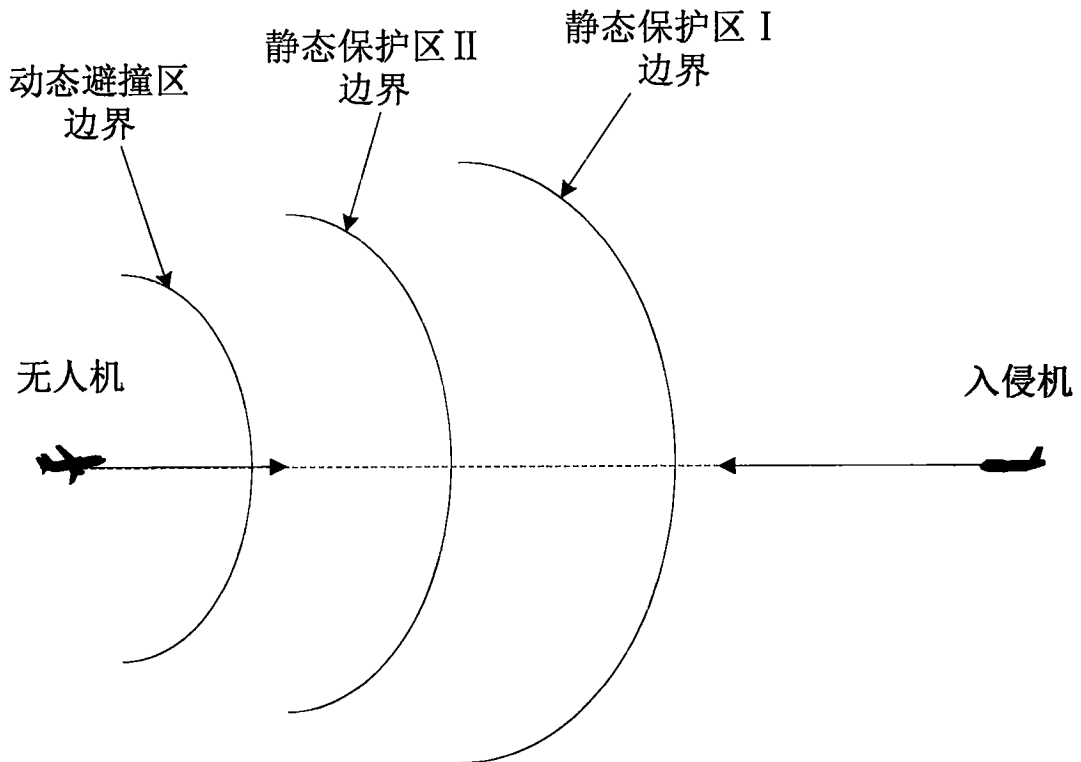


图2