



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 109978286 A

(43)申请公布日 2019.07.05

(21)申请号 201910375465.8

(22)申请日 2019.05.07

(71)申请人 中国民用航空飞行学院

地址 618301 四川省德阳市广汉市三水镇
高店村

(72)发明人 向征 张文奇 何德暘 张文军

(74)专利代理机构 北京天奇智新知识产权代理
有限公司 11340

代理人 杨春

(51)Int.Cl.

G06Q 10/04(2012.01)

G05D 1/10(2006.01)

G01C 21/20(2006.01)

G06N 3/00(2006.01)

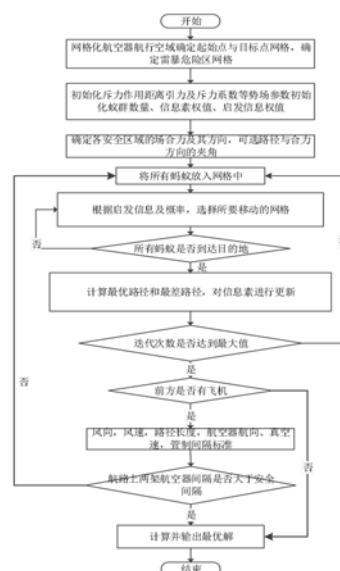
权利要求书2页 说明书5页 附图1页

(54)发明名称

一种基于改进蚁群算法的多航空器绕飞雷暴航路规划方法

(57)摘要

本发明公开了一种基于改进蚁群算法的多航空器绕飞雷暴航路规划方法,包括以下步骤:步骤1:用栅格化的方式描述空域中雷暴区所覆盖区域及其他区域,得到栅格化空域;步骤2:基于所述栅格化空域建立单航空器的绕飞雷暴航路规划模型;步骤3:采用基于人工势场法的改进蚁群算法搜索最优改航路径;步骤4:用栅格化的方式描述该航空器改航路径所占用的空域,并将其与栅格化的雷暴区相叠加,叠加后的区域对于其它航空器为需要避开的区域;步骤5:对于其它单航空器,重复步骤2-步骤4,直到搜索完所有单航空器的最优改航路径,完成多航空器绕飞雷暴航路规划。本发明在规划多航空器绕飞雷暴航路的同时,实现了多航空器之间的冲突避让。



1. 一种基于改进蚁群算法的多航空器绕飞雷暴航路规划方法,其特征在于:包括以下步骤:

步骤1:用栅格化的方式描述空域中雷暴区所覆盖区域及其他区域,得到栅格化空域;

步骤2:基于所述栅格化空域建立单航空器的绕飞雷暴航路规划模型;

步骤3:采用基于人工势场法的改进蚁群算法搜索最优改航路径;

步骤4:用栅格化的方式描述该航空器改航路径所占用的空域,并将其与栅格化的雷暴区相叠加,叠加后的区域对于其它航空器为需要避开的区域;

步骤5:对于其它单航空器,重复步骤2-步骤4,直到搜索完所有单航空器的最优改航路径,完成多航空器绕飞雷暴航路规划。

2. 根据权利要求1所述的基于改进蚁群算法的多航空器绕飞雷暴航路规划方法,其特征在于:所述步骤1中,所述栅格化空域用如下矩阵表示:

$$Airspace(i, j) = \begin{cases} 1 & \text{表示雷暴覆盖区域} \\ 0 & \text{表示其他区域} \end{cases}$$

其中, $i, j = 1, 2, \dots, n$; 在栅格图中,如果雷暴区域不满一个栅格时,则扩充为一个栅格。

3. 根据权利要求2所述的基于改进蚁群算法的多航空器绕飞雷暴航路规划方法,其特征在于:所述步骤1中,一个栅格的边长为20km。

4. 根据权利要求2所述的基于改进蚁群算法的多航空器绕飞雷暴航路规划方法,其特征在于:所述步骤2中,单航空器的绕飞雷暴航路规划模型用下式描述:

$$\min \Delta S^k = L^k - C^k$$

式中, L^k 为单航空器k改航后的航路长度, C^k 为单航空器k不改航情况下的航路长度;

单航空器k在改航时,应受到以下约束:

第一,单航空器改航航路距离雷暴区不得少于10千米,在栅格化网格表示为单航空器距雷暴区栅格中心点的距离不得少于10千米,即:

$$|x_m^k - c_{ij}| \geq 10$$

式中, x_m^k 为单航空器k改航后在航路上的各个雷达点的二维坐标, $m = 1, 2, \dots, n$, c_{ij} 为雷暴区栅格的中心点坐标,即 i, j 为 $Airspace(i, j) = 1$ 时所对应的 i, j ;

第二,单航空器改航时受性能限制,其在航路上的转弯角度不得大于90度,即:

$$|\theta_{m+1}^k - \theta_m^k| \leq 90^\circ$$

式中, θ_m^k 为单航空器k在二维坐标 x_m^k 上的航向, $m = 1, 2, \dots, n$, θ_m^k 在0度到360度之间。

5. 根据权利要求2、3或4所述的基于改进蚁群算法的多航空器绕飞雷暴航路规划方法,其特征在于:所述步骤3中,采用基于人工势场法的改进蚁群算法搜索最优改航路径的搜索公式如下所示:

$$p_{i,j}^m(t) = \begin{cases} \frac{[\tau_{i,j}(t)]^\alpha [\mu'_{i,j}(t)]^\beta}{\sum_{j \in allowed_m} [\tau_{i,j}(t)]^\alpha [\mu'_{i,j}(t)]^\beta}, & j \in allowed_m \\ 0, & j \notin allowed_m \end{cases}$$

其中, $\mu'_{i,j}(t) = \exp(F_t \cos \theta) \mu_{i,j}(t)$

式中, $\tau_{i,j}(t)$ 为第 t 次循环搜索时网格 i 到网格 j 路径的信息素函数, $\mu'_{i,j}(t)$ 为该路径上通过人工势场法改进后的蚁群算法启发信息因子函数, α 为信息素启发式因子, β 为期望启发式因子, $allowed_m$ 表示网格 i 接下来可到达的网格集合; $\mu_{i,j}(t)$ 为该路径上的传统蚁群算法启发信息因子函数, 其值为可选网格与目标网格间距离的倒数, 即 $\mu_{i,j}(t) = 1/d(j, GOAL)$, F_t 为障碍物对航空器的斥力与目标点对航空器的引力相加之后的合力, θ 为可选路径与合力 F_t 方向的夹角。

一种基于改进蚁群算法的多航空器绕飞雷暴航路规划方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种航空路线规划方法,尤其涉及一种基于改进蚁群算法的多航空器绕飞雷暴航路规划方法。

背景技术

[0002] 随着民航业的快速发展,空中飞行流量迅猛增长,如何在高速增长飞行流量下持续保持飞行安全是一个重要课题。许多外界条件会对飞行安全造成严重的影响,其中一个最恶劣的条件就是雷暴天气。雷暴区域常常伴随着颠簸、结冰、雹击、雷电、下击暴流等对航空器飞行安全有严重威胁的气象条件,因此在任何情况下都不允许航空器飞入到雷暴区域之中。目前在飞行过程中,当航空器的飞行航路上有大面积雷暴区域覆盖时,地面的空中交通管制员通常根据相关民航规则以及自身的工作经验和能力,为航空器规划一条绕飞雷暴的改航航路,采用雷达引导方式引导航空器绕飞雷暴区域。

[0003] 人工规划改航航路并引导航空器进行改航,增加了管制员的工作难度。尤其是当多架航空器需要同时绕飞雷暴时,为这些航空器规划无冲突绕飞航路的复杂度将大幅增加,因此管制员的工作负荷和心理压力也会呈几何倍数地增加。这时,如果管制员注意力分配不当,无法及时地监控管制区内航空器的飞行动态,将会导致各架航空器之间发生冲突的可能性急剧增大,甚至发生民航不安全事件。因此,有必要在空管自动化系统中为管制员提供实时的辅助决策支持,为多航空器规划无冲突的绕飞雷暴航路,从而降低管制员的工作负荷,提高飞行安全。

[0004] 改航航路规划本质上是一个最优化问题,通过建立改航目标函数以及相应约束条件,为航空器搜索一条从改航起点到终点的一条最优路径。传统改航航路规划中,改航目标包括:距离最短、油耗最少、转弯次数最少、空域使用范围最少等,约束条件包括:与雷暴区之间的间隔、航空器之间的间隔、转弯角度、空域范围等,搜索求解算法包括:遗传算法、蚂蚁算法、模拟退火算法、A*算法等。

[0005] 上述传统改航航路规划方法在进行改航航路规划时,很少考虑对多航空器改航目标函数进行建模,所以难以在多航空器同时改航时进行航路规划;即使有一些方法考虑了多航空器改航的情况,但其约束条件中并没有包含民航规章中对航空器之间间隔的规定,有可能造成航空器在绕飞雷暴时在各航空器之间产生飞行冲突;同时传统搜索算法的收敛速度较慢、计算时间较长、解出的结果质量较差,所以实时性不高、得出的航路不符合实际飞行运行的要求,因此难以满足大飞行流量、复杂雷暴分布条件下管制员的工作需求。

发明内容

[0006] 本发明的目的就在于为了解决上述问题而提供一种基于改进蚁群算法的多航空器绕飞雷暴航路规划方法。

[0007] 本发明通过以下技术方案来实现上述目的:

[0008] 一种基于改进蚁群算法的多航空器绕飞雷暴航路规划方法,包括以下步骤:

[0009] 步骤1:用栅格化的方式描述空域中雷暴区所覆盖区域及其他区域,得到栅格化空域;

[0010] 步骤2:基于所述栅格化空域建立单航空器的绕飞雷暴航路规划模型;

[0011] 步骤3:采用基于人工势场法的改进蚁群算法搜索最优改航路径;

[0012] 步骤4:用栅格化的方式描述该航空器改航路径所占用的空域,并将其与栅格化的雷暴区相叠加,叠加后的区域对于其它航空器为需要避开的区域;

[0013] 步骤5:对于其它单航空器,重复步骤2-步骤4,直到搜索完所有单航空器的最优改航路径,完成多航空器绕飞雷暴航路规划。

[0014] 作为优选,所述步骤1中,所述栅格化空域用如下矩阵表示:

$$[0015] \quad Airspace(i, j) = \begin{cases} 1 & \text{表示雷暴覆盖区域} \\ 0 & \text{表示其他区域} \end{cases}$$

[0016] 其中, $i, j=1, 2, \dots, n$;在栅格图中,如果雷暴区域不满一个栅格时,则扩充为一个栅格,一个栅格的边长优选为20km。

[0017] 作为优选,所述步骤2中,单航空器的绕飞雷暴航路规划模型用下式描述:

$$[0018] \quad \min \Delta S^k = L^k - C^k$$

[0019] 式中, L^k 为单航空器k改航后的航路长度, C^k 为单航空器k不改航情况下的航路长度;

[0020] 单航空器k在改航时,应受到以下约束:

[0021] 第一,单航空器改航航路距离雷暴区不得少于10千米,在栅格化网格表示为单航空器距雷暴区栅格中心点的距离不得少于10千米,即:

$$[0022] \quad |x_m^k - c_{ij}| \geq 10$$

[0023] 式中, x_m^k 为单航空器k改航后在航路上的各个雷达点的二维坐标, $m=1, 2, \dots, n$, c_{ij} 为雷暴区栅格的中心点坐标,即 i, j 为 $Airspace(i, j) = 1$ 时所对应的 i, j ;

[0024] 第二,单航空器改航时受性能限制,其在航路上的转弯角度不得大于90度,即:

$$[0025] \quad |\theta_{m+1}^k - \theta_m^k| \leq 90^\circ$$

[0026] 式中, θ_m^k 为单航空器k在二维坐标 x_m^k 上的航向, $m=1, 2, \dots, n$, θ_m^k 在0度到360度之间。

[0027] 作为优选,所述步骤3中,采用基于人工势场法的改进蚁群算法搜索最优改航路径的搜索公式如下所示:

$$[0028] \quad p_{i,j}^m(t) = \begin{cases} \frac{[\tau_{i,j}(t)]^\alpha [\mu'_{i,j}(t)]^\beta}{\sum_{j \in allowed_m} [\tau_{i,j}(t)]^\alpha [\mu'_{i,j}(t)]^\beta}, & j \in allowed_m \\ 0, & j \notin allowed_m \end{cases}$$

[0029] 其中, $\mu'_{i,j}(t) = \exp(F_t \cos \theta) \mu_{i,j}(t)$

[0030] 式中, $\tau_{i,j}(t)$ 为第 t 次循环搜索时网格 i 到网格 j 路径的信息素函数, $\mu'_{i,j}(t)$ 为该路径上通过人工势场法改进后的蚁群算法启发信息因子函数, α 为信息素启发式因子, β 为期望启发式因子, allowed_m 表示网格 i 接下来可到达的网格集合; $\mu_{i,j}(t)$ 为该路径上的传统蚁群算法启发信息因子函数, 其值为可选网格与目标网格间距离的倒数, 即 $\mu_{i,j}(t) = 1/d(j, \text{GOAL})$, F_t 为障碍物对航空器的斥力与目标点对航空器的引力相加之后的合力, θ 为可选路径与合力 F_t 方向的夹角。

[0031] 本发明的有益效果在于:

[0032] 本发明采用基于人工势场法的改进蚁群算法搜索最优改航路径, 在规划多航空器绕飞雷暴航路的同时, 实现了多航空器之间的冲突避让, 满足大飞行流量、复杂雷暴分布条件下管制员的工作需求; 更具体优点如下:

[0033] 1、针对多航空器改航目标函数进行建模, 为多航空器同时改航时进行航路规划;

[0034] 2、在模型的约束条件中包含了民航规章中对航空器之间间隔的规定, 能够避免多架航空器在绕飞雷暴时在它们之间产生的飞行冲突;

[0035] 3、在搜索求解算法中使用基于人工势场改进的蚁群算法, 能够更快地规划出高质量的改航航路, 从而满足大飞行流量、复杂雷暴分布条件下管制员的工作需求。

附图说明

[0036] 图1是本发明所述基于改进蚁群算法的多航空器绕飞雷暴航路规划方法的具体方法流程图。

具体实施方式

[0037] 下面结合附图对本发明作进一步说明:

[0038] 如图1所示, 本发明所述基于改进蚁群算法的多航空器绕飞雷暴航路规划方法, 包括以下步骤:

[0039] 步骤1: 用栅格化的方式描述空域中雷暴区所覆盖区域及其他区域, 得到栅格化空域;

[0040] 本步骤中, 所述栅格化空域用如下矩阵表示:

$$[0041] \quad \text{Airspace}(i, j) = \begin{cases} 1 & \text{表示雷暴覆盖区域} \\ 0 & \text{表示其他区域} \end{cases}$$

[0042] 其中, $i, j = 1, 2, \dots, n$; 在栅格图中, 如果雷暴区域不满一个栅格时, 则扩充为一个栅格, 一个栅格的边长为20km。

[0043] 步骤2: 基于所述栅格化空域建立单航空器的绕飞雷暴航路规划模型;

[0044] 本步骤中, 单航空器的绕飞雷暴航路规划模型用下式描述:

$$[0045] \quad \min \Delta S^k = L^k - C^k$$

[0046] 式中, L^k 为单航空器 k 改航后的航路长度, C^k 为单航空器 k 不改航情况下的航路长度;

[0047] 单航空器 k 在改航时, 应受到以下约束:

[0048] 第一,单航空器改航航路距离雷暴区不得少于10千米,在栅格化网格表示为单航空器距雷暴区栅格中心点的距离不得少于10千米,即:

$$[0049] \quad |x_m^k - c_{ij}| \geq 10$$

[0050] 式中, x_m^k 为单航空器k改航后在航路上的各个雷达点的二维坐标, $m=1, 2, \dots, n$, c_{ij} 为雷暴区栅格的中心点坐标, 即 i, j 为 $\text{Airspace}(i, j) = 1$ 时所对应的 i, j ;

[0051] 第二,单航空器改航时受性能限制,其在航路上的转弯角度不得大于90度,即:

$$[0052] \quad |\theta_{m+1}^k - \theta_m^k| \leq 90^\circ$$

[0053] 式中, θ_m^k 为单航空器k在二维坐标 x_m^k 上的航向, $m=1, 2, \dots, n$, θ_m^k 在0度到360度之间。

[0054] 步骤3:采用基于人工势场法的改进蚁群算法搜索最优改航路径;

[0055] 本步骤中,其搜索公式如下所示:

$$[0056] \quad p_{i,j}^m(t) = \begin{cases} \frac{[\tau_{i,j}(t)]^\alpha [\mu'_{i,j}(t)]^\beta}{\sum_{j \in \text{allowed}_m} [\tau_{i,j}(t)]^\alpha [\mu'_{i,j}(t)]^\beta}, & j \in \text{allowed}_m \\ 0, & j \notin \text{allowed}_m \end{cases}$$

[0057] 其中, $\mu'_{i,j}(t) = \exp(F_t \cos \theta) \mu_{i,j}(t)$

[0058] 式中, $\tau_{i,j}(t)$ 为第t次循环搜索时网格i到网格j路径的信息素函数, $\mu'_{i,j}(t)$ 为该路径上通过人工势场法改进后的蚁群算法启发信息因子函数, α 为信息素启发式因子, β 为期望启发式因子, allowed_m 表示网格i接下来可到达的网格集合; $\mu_{i,j}(t)$ 为该路径上的传统蚁群算法启发信息因子函数,其值为可选网格与目标网格间距离的倒数,即 $\mu_{i,j}(t) = 1/d(j, \text{GOAL})$, F_t 为障碍物对航空器的斥力与目标点对航空器的引力相加之后的合力, θ 为可选路径与合力 F_t 方向的夹角;

[0059] 上述蚁群算法中,蚂蚁在选择路径时,以前面蚂蚁在走过的路径留下的信息素浓度作为依据,最终由蚁群协同搜索路径,得到最优结果;蚂蚁从初始位置点开始搜索,根据位置点转移概率不停地从一个位置点向另一个位置点进行选择,直到搜索到目标点,本轮路径搜索结束。本轮路径搜索结束后,对路径上的信息素进行更新,为下一轮搜索做准备;蚂蚁在寻找最优路径的过程中需要考虑航空器与目标点以及航空器与雷暴区(即障碍物)之间的距离,从而选择最优路径;因此,可以将航空器与障碍物或目标点之间的距离关系转化为航空器与引力和斥力的合力间的关系,即用引力与斥力的合力大小反映航空器所在位置点与障碍物或目标点之间的距离;如果合力较大,则表示应在势场力的启发下远离障碍物或接近目标点;障碍物对航空器的斥力与航空器离障碍物的距离成反比,即航空器离障碍物的距离越近则斥力越大,反之则斥力越小;引力的特点与斥力相同,即航空器离目标点越近引力越大,距离越远引力越小; F_t 较大的网格被选中的可能较大,或者与 F_t 方向夹角较小的网格被选为路径的可能较大;基于人工势场改进的蚁群算法中航空器的移动方向与势

场力的方向相同,能实现航空器避开雷暴区并向目标点移动。

[0060] 步骤4:用栅格化的方式描述该航空器改航路径所占用的空域,并将其与栅格化的雷暴区相叠加,叠加后的区域对于其它航空器为需要避开的区域;

[0061] 步骤5:对于其它单航空器,重复步骤2-步骤4,直到搜索完所有单航空器的最优改航路径,完成多航空器绕飞雷暴航路规划。

[0062] 图1中示出了本发明所述基于改进蚁群算法的多航空器绕飞雷暴航路规划方法的具体方法流程,该流程包含本发明创新的部分,也包含常规的蚁群算法流程,其内容与上述各步骤总体对应但没有一一对应,给出该视图利于了解本方法的所有流程,其常规方法流程不在本说明书具体说明。

[0063] 上述实施例只是本发明的较佳实施例,并不是对本发明技术方案的限制,只要是不经过创造性劳动即可在上述实施例的基础上实现的技术方案,均应视为落入本发明专利的权利保护范围内。

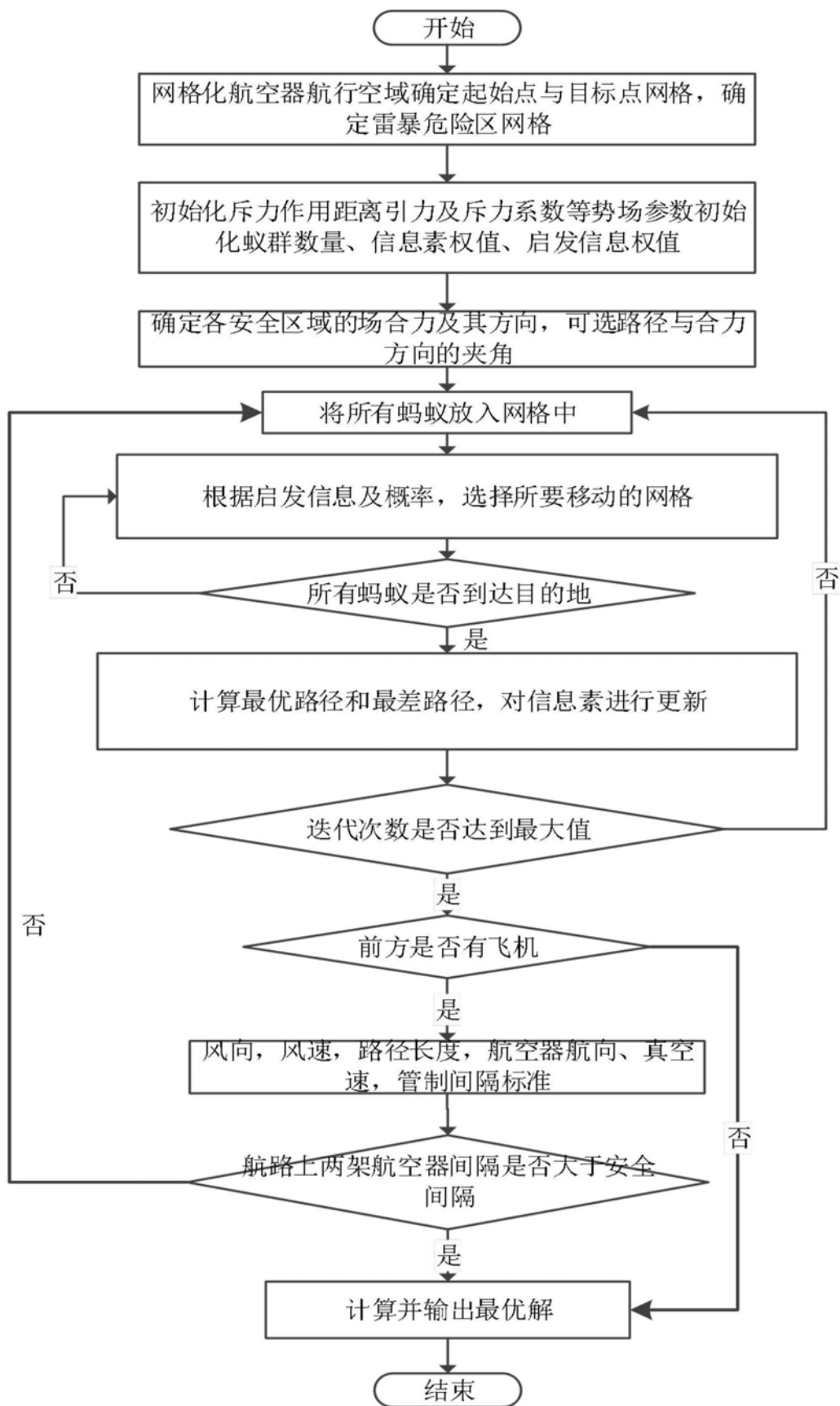


图1