



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 116878518 A

(43) 申请公布日 2023. 10. 13

(21) 申请号 202311139174.1

(22) 申请日 2023.09.06

(71) 申请人 滨州市华亿电器设备有限公司  
地址 251705 山东省滨州市惠民县麻店镇  
后屯村

(72) 发明人 王振东 李成帅

(51) Int. Cl.  
G01C 21/20 (2006.01)  
G06F 18/2321 (2023.01)

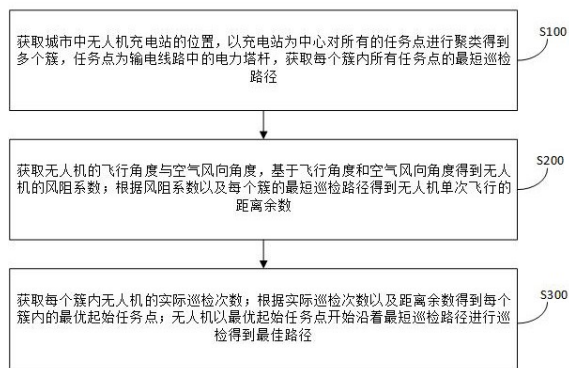
权利要求书2页 说明书8页 附图1页

(54) 发明名称

用于城市输电线路维护的无人机巡检路径规划方法

(57) 摘要

本发明涉及无人机巡检航道控制技术领域，具体涉及一种用于城市输电线路维护的无人机巡检路径规划方法。该方法包括：获取城市中无人机充电站的位置，以充电站为中心对所有的任务点进行聚类得到多个簇，任务点为输电线路中的电力塔杆，获取每个簇内所有任务点的最短巡检路径；获取无人机的飞行角度与空气风向角度从而得到无人机的风阻系数；根据风阻系数以及每个簇的最短巡检路径得到无人机单次飞行的距离余数；获取每个簇内无人机的实际巡检次数；根据实际巡检次数以及距离余数得到每个簇内的最优起始任务点；无人机以最优起始任务点开始沿着最短巡检路径进行巡检得到最佳路径；本发明减少了巡检过程中的资源浪费，提高了巡检的效率。



1. 一种用于城市输电线路维护的无人机巡检路径规划方法,其特征在于,该方法包括以下步骤:

获取城市中无人机充电站的位置,以充电站为中心对所有的任务点进行聚类得到多个簇,所述任务点为输电线路中的电力塔杆,获取每个簇内所有任务点的最短巡检路径;

获取无人机的飞行角度与空气风向角度,基于所述飞行角度和所述空气风向角度得到无人机的风阻系数;根据所述风阻系数以及每个簇的最短巡检路径得到无人机单次飞行的距离余数;

获取每个簇内无人机的实际巡检次数;根据所述实际巡检次数以及所述距离余数得到每个簇内的最优起始任务点;无人机以所述最优起始任务点开始沿着最短巡检路径进行巡检得到最佳路径。

2. 根据权利要求1所述的一种用于城市输电线路维护的无人机巡检路径规划方法,其特征在于,所述获取无人机的飞行角度与空气风向角度的步骤,包括:

利用超声波风速仪获取空气风向角度;获取所述空气风向角度的相反方向为空气风阻角度,以所述空气风阻角度为基准方向;

获取无人机当前巡检的任务点与下一个相邻巡检的任务点之间的连线,根据所述连线的方向与所述基准方向得到无人机的飞行角度。

3. 根据权利要求2所述的一种用于城市输电线路维护的无人机巡检路径规划方法,其特征在于,所述基于所述飞行角度和所述空气风向角度得到无人机的风阻系数的步骤,包括:

计算所述空气风阻角度与所述飞行角度的差值,根据所述差值修正所述无人机受到的空气阻力,修正后的空气阻力为所述无人机的风阻系数。

4. 根据权利要求1所述的一种用于城市输电线路维护的无人机巡检路径规划方法,其特征在于,所述根据所述风阻系数以及每个簇的最短巡检路径得到无人机单次飞行的距离余数的步骤,包括:

获取无人机从充电站飞至巡检的第一个任务点的路程距离以及无人机从巡检的最后一个任务点飞至充电站的路程距离;所述路程距离由对应的风阻系数以及实际距离得到;

基于无人机单次巡检过程中不同任务点之间的实际距离和风阻系数得到对应的巡检距离,单次巡检过程中所有巡检距离的求和得到无人机单次巡检的所有任务点的巡检距离;

计算无人机单次巡检的所有任务点的巡检距离、无人机从充电站飞至巡检的第一个任务点的路程距离以及无人机从巡检的最后一个任务点飞至充电站的路程距离的求和为无人机单次巡检的飞行距离;

获取正常无风阻时无人机单次飞行的最大实际距离,所述最大实际距离与所述飞行距离的差值为所述无人机单次飞行的距离余数。

5. 根据权利要求4所述的一种用于城市输电线路维护的无人机巡检路径规划方法,其特征在于,所述获取每个簇内无人机的实际巡检次数的步骤,包括:

获取每个簇内无人机经过P次巡检的总飞行距离,P为正整数;统计所述簇内按照最短巡检路径进行巡检所有任务点对应的完整实际距离,计算所述完整实际距离与总飞行距离的差值,当所述差值大于零时,巡检次数P+1;

重新获取所述簇内无人机经过P+1次巡检的总飞行距离,计算所述完整实际距离与重新获取的总飞行距离的差值,直至差值等于零时,得到无人机的实际巡检次数。

6. 根据权利要求1所述的一种用于城市输电线路维护的无人机巡检路径规划方法,其特征在于,所述根据所述实际巡检次数以及所述距离余数得到每个簇内的最优起始任务点的步骤,包括:

设定无人机以任意任务点为起始点进行巡检,获取此时无人机在巡检所述实际巡检次数后对应的距离余数的求和,所述求和的结果最小时对应的所述任务点为最佳起始任务点。

7. 根据权利要求1所述的一种用于城市输电线路维护的无人机巡检路径规划方法,其特征在于,所述获取每个簇内所有任务点的最短巡检路径的方法为蚁群算法。

8. 根据权利要求3所述的一种用于城市输电线路维护的无人机巡检路径规划方法,其特征在于,所述根据所述差值修正所述无人机受到的空气阻力,包括:

$$\mu_k = \frac{1}{2} C \rho S V^2 \cos(\theta_f - \theta_k)$$

其中, $\mu_k$ 表示无人机从簇内第k个任务点飞往下一任务点修正后的空气阻力; $C$ 表示空气阻力系数; $\rho$ 表示空气密度; $S$ 表示无人机正向的迎风面积; $V$ 表示物体与空气的相对运动速度; $\theta_f$ 表示空气风阻角度; $\theta_k$ 表示无人机从簇内第k个任务点飞往下一任务点的飞行角度; $\cos$ 表示余弦函数; $\frac{1}{2} C \rho S V^2$ 表示现有对空气阻力的获取公式。

9. 根据权利要求1所述的一种用于城市输电线路维护的无人机巡检路径规划方法,其特征在于,所述聚类的算法选用密度聚类算法。

10. 根据权利要求4所述的一种用于城市输电线路维护的无人机巡检路径规划方法,其特征在于,所述所有任务点的巡检距离的获取方法包括:

$$DK = \sum_{k=1}^S (1 + \mu_k) D_k$$

其中, $DK$ 表示无人机巡检的所有任务点的巡检距离; $D_k$ 表示第k个任务点与其相邻巡检的下一个任务点之间的实际距离; $\mu_k$ 表示第k个任务点与其相邻巡检的下一个任务点之间的风阻系数; $S$ 表示簇内最后一个巡检的任务点。

## 用于城市输电线路维护的无人机巡检路径规划方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及无人机巡检航道控制技术领域,具体涉及一种用于城市输电线路维护的无人机巡检路径规划方法。

### 背景技术

[0002] 为了保证城市中输电线路的安全稳定运行,输电线路需要进行定期巡检。传统输电线路的巡检是依靠人工进行巡视,存在巡线周期长、效率低以及成本高等缺陷,已无法满足大规模电网的巡线需求;因此轻便的无人机为输电线路的巡检工作带来了质的改变,并且解决了一些机载相机无法准确得到输电线路距离的问题。

[0003] 利用无人机进行输电线路的巡检时,巡检效率与无人机的巡检路径密切相关,不同的机型适用于不同的巡检任务,并且不同机型的无人机对路径规划的要求也不相同;而利用无人机沿着规划路径进行巡检时,无法避免的是无人机自身电量的消耗问题,现有大部分巡检过程均是保证无人机存在足够的剩余电量使得无人机能够返回至充电站,但是可能存在无人机返回充电站后仍然有电量剩余的情况,多次的电量剩余累加量或许足以支撑无人机巡检多个任务点,使得无人机的巡检工作不够高效。

### 发明内容

[0004] 为了解决上述技术问题,本发明的目的在于提供一种用于城市输电线路维护的无人机巡检路径规划方法,该方法包括以下步骤:

获取城市中无人机充电站的位置,以充电站为中心对所有的任务点进行聚类得到多个簇,所述任务点为输电线路中的电力塔杆,获取每个簇内所有任务点的最短巡检路径;

获取无人机的飞行角度与空气风向角度,基于所述飞行角度和所述空气风向角度得到无人机的风阻系数;根据所述风阻系数以及每个簇的最短巡检路径得到无人机单次飞行的距离余数;

获取每个簇内无人机的实际巡检次数;根据所述实际巡检次数以及所述距离余数得到每个簇内的最优起始任务点;无人机以所述最优起始任务点开始沿着最短巡检路径进行巡检得到最佳路径。

[0005] 优选的,所述获取无人机的飞行角度与空气风向角度的步骤,包括:

利用超声波风速仪获取空气风向角度;获取所述空气风向角度的相反方向为空气风阻角度,以所述空气风阻角度为基准方向;

获取无人机当前巡检的任务点与下一个相邻巡检的任务点之间的连线,根据所述连线的方向与所述基准方向得到无人机的飞行角度。

[0006] 优选的,所述基于所述飞行角度和所述空气风向角度得到无人机的风阻系数的步骤,包括:

计算所述空气风阻角度与所述飞行角度的差值,根据所述差值修正所述无人机受到的空气阻力,修正后的空气阻力为所述无人机的风阻系数。

[0007] 优选的,所述根据所述风阻系数以及每个簇的最短巡检路径得到无人机单次飞行的距离余数的步骤,包括:

获取无人机从充电站飞至巡检的第一个任务点的路程距离以及无人机从巡检的最后一个任务点飞至充电站的路程距离;所述路程距离由对应的风阻系数以及实际距离得到;

基于无人机单次巡检过程中不同任务点之间的实际距离和风阻系数得到对应的巡检距离,单次巡检过程中所有巡检距离的求和得到无人机单次巡检的所有任务点的巡检距离;

计算无人机单次巡检的所有任务点的巡检距离、无人机从充电站飞至巡检的第一个任务点的路程距离以及无人机从巡检的最后一个任务点飞至充电站的路程距离的求和为无人机单次巡检的飞行距离;

获取正常无风阻时无人机单次飞行的最大实际距离,所述最大实际距离与所述飞行距离的差值为所述无人机单次飞行的距离余数。

[0008] 优选的,所述获取每个簇内无人机的实际巡检次数的步骤,包括:

获取每个簇内无人机经过P次巡检的总飞行距离,P为正整数;统计所述簇内按照最短巡检路径进行巡检所有任务点对应的完整实际距离,计算所述完整实际距离与总飞行距离的差值,当所述差值大于零时,巡检次数P+1;

重新获取所述簇内无人机经过P+1次巡检的总飞行距离,计算所述完整实际距离与重新获取的总飞行距离的差值,直至差值等于零时,得到无人机的实际巡检次数。

[0009] 优选的,所述根据所述实际巡检次数以及所述距离余数得到每个簇内的最优起始任务点的步骤,包括:

设定无人机以任意任务点为起始点进行巡检,获取此时无人机在巡检所述实际巡检次数后对应的距离余数的求和,所述求和的结果最小时对应的所述任务点为最佳起始任务点。

[0010] 优选的,所述获取每个簇内所有任务点的最短巡检路径的方法为蚁群算法。

[0011] 优选的,所述根据所述差值修正所述无人机受到的空气阻力,包括:

$$\mu_k = \frac{1}{2} C \rho S V^2 \cos(\theta_f - \theta_k)$$

其中, $\mu_k$ 表示无人机从簇内第k个任务点飞往下一任务点修正后的空气阻力; $C$ 表示空气阻力系数; $\rho$ 表示空气密度; $S$ 表示无人机正向的迎风面积; $V$ 表示物体与空气的相对运动速度; $\theta_f$ 表示空气风阻角度; $\theta_k$ 表示无人机从簇内第k个任务点飞往下一任务点的飞行角度; $\cos$ 表示余弦函数; $\frac{1}{2} C \rho S V^2$ 表示现有对空气阻力的获取公式。

[0012] 优选的,所述聚类的算法选用密度聚类算法。

[0013] 优选的,所述所有任务点的巡检距离的获取方法包括:

$$DK = \sum_{k=1}^S (1 + \mu_k) D_k$$

其中,  $DK$  表示无人机巡检的所有任务点的巡检距离;  $D_k$  表示第  $k$  个任务点与其相邻巡检的下一个任务点之间的实际距离;  $\mu_k$  表示第  $k$  个任务点与其相邻巡检的下一个任务点之间的风阻系数;  $S$  表示簇内最后一个巡检的任务点。

[0014] 本发明具有如下有益效果: 通过无人机的飞行角度以及空气风向角度对无人机飞行中的风阻系数进行获取, 结合风阻系数进行分析获取无人机单次飞行的距离余数, 使得距离余数的获取结果更加可靠准确; 其次, 在对所有任务点巡检时考虑到无人机充电站的位置将所有的任务点划分为多个簇, 以保证资源能够合理分配; 进而基于更加准确的距离余数获取每个簇内无人机的实际巡检次数, 并根据实际巡检次数以及每次巡检的距离余数得到最优起始任务点, 使得以该最优起始任务点开始巡检时的效率更加高效, 根据最优起始任务点结合最短巡检路径得到最佳路径, 避免了无人机巡检中的能量浪费, 提高了无人机巡检的效率。

#### 附图说明

[0015] 为了更清楚地说明本发明实施例或现有技术中的技术方案和优点, 下面将对实施例或现有技术描述中所需要使用的附图作简单的介绍, 显而易见地, 下面描述中的附图仅仅是本发明的一些实施例, 对于本领域普通技术人员来讲, 在不付出创造性劳动的前提下, 还可以根据这些附图获得其它附图。

[0016] 图1为本发明一个实施例所提供的一种用于城市输电线路维护的无人机巡检路径规划方法流程图。

#### 具体实施方式

[0017] 为了更进一步阐述本发明为达成预定发明目的所采取的技术手段及功效, 以下结合附图及较佳实施例, 对依据本发明提出的一种用于城市输电线路维护的无人机巡检路径规划方法, 其具体实施方式、结构、特征及其功效, 详细说明如下。在下述说明中, 不同的“一个实施例”或“另一个实施例”指的不一定是同一实施例。此外, 一或多个实施例中的特定特征、结构或特点可由任何合适形式组合。

[0018] 除非另有定义, 本文所使用的所有的技术和科学术语与属于本发明的技术领域的技术人员通常理解的含义相同。

[0019] 本申请适用于对无人机巡检输电线路的最佳路径规划, 无人机巡检主要依靠红外成像仪和高清相机进行, 红外成像仪能对设备发热做出及时的反应, 从而辨别设备是否存在故障, 而高清相机能清晰记录输电线路及其附属设备的运作, 能及时掌握异常情况。输电线路的巡检作业不仅包含了对输电线路通道内的总体检查, 例如施工情况、构筑物情况以及可能存在的地质灾害等, 还包含了对导线、基础、杆塔等零件及标示牌、防雷及监测装置等外在装置的检查。以一个无人机为例获取该无人机对应的巡检的最佳路径; 下面结合附图具体的说明本发明所提供的一种用于城市输电线路维护的无人机巡检路径规划方法的

具体方案。

[0020] 请参阅图1,其示出了本发明一个实施例提供的一种用于城市输电线路维护的无人机巡检路径规划方法流程图,该方法包括以下步骤:

步骤S100,获取城市中无人机充电站的位置,以充电站为中心对所有的任务点进行聚类得到多个簇,任务点为输电线路中的电力塔杆,获取每个簇内所有任务点的最短巡检路径。

[0021] 无人机对输电线路的巡检效率与其巡检路径紧密相关,不同机型下的无人机适用于不同的巡检任务;以城市中输电线路和电力塔杆为巡检对象,将每个电力塔杆视为一个独立的任务点,沿着两个电力塔杆之间的输电线路进行巡检,将两个电力塔杆之间的输电线路视为一个独立的任务线段。由于城市输电线路错综复杂,因此巡检任务量较重,而无人机单次飞行续航的时间有限,因此在待巡检的区域会设有多个充电站点以供无人机更换电池和存放,并且允许每个无人机在任意充电站点起飞和降落。

[0022] 在实际巡检时会利用无人机群同时进行巡检,本发明实施例中以单个无人机为研究单位,对每个无人机的最佳路径进行规划获取;由于无人机的续航时间有限,为了保证单次飞行能够巡检足够多的任务点,且无人机能够预留足够的电量飞往无人机充电站,则需要每个无人机的巡检路线不能过于偏离充电站点。以每个无人机充电站为中心,对周围的任务点进行聚类,在本发明一个实施例中选用密度聚类算法进行聚类,密度聚类算法为现有常用的技术手段,不再赘述;基于每个任务点与无人机充电站之间的距离将所有的任务点进行归类得到多个簇,簇内的任务点之间相比于簇外的任务点,分布更加密集且距离充电站的距离较近。

[0023] 进一步的,对每个簇内的所有任务点进行巡检路径规划,以保证每个无人机在单次飞行时,能够在保留返回充电站的电量的前提下,检测到较多的任务点。获取每个簇内对应的任务点数量以及该簇内设置的无人机数量,本发明实施例中采用蚁群算法得到该簇内所有任务点的最短巡检路径,蚁群算法是一种用于寻找优化路径的概率型算法,为现有公知技术,不再赘述。

[0024] 步骤S200,获取无人机的飞行角度与空气风向角度,基于飞行角度和空气风向角度得到无人机的风阻系数;根据风阻系数以及每个簇的最短巡检路径得到无人机单次飞行的距离余数。

[0025] 由步骤S100中将所有的任务点划分为多个簇,并且获取每个簇内每个无人机对应的最短巡检路径;由于每个簇内实际巡检的任务点较多,且参与巡检的无人机数量有限,因此可能会通过无人机之间协同轮换完成检测,而无人机返回充电站更换电池的时间并不相同;考虑到站点之间的距离不同,而每个无人机巡检的距离不可能完全等于该无人机最大飞行距离,若该无人机在巡检完当前任务点之后,剩余的电量不足以支撑该无人机对下一个任务点进行巡检完成且返回至充电站,因此无人机此时返回充电站就会存在距离余数,也即是无人机飞行时间的余数;当簇内任务点数量较多时,距离余数累积过多会造成飞行距离的浪费,因此需要使得距离余数尽可能的小。

[0026] 距离余数代表了无人机的巡检损失值,而巡检损失值除了需要考虑到飞行距离的余量之外还需要考虑气象问题;一般微小的天气变化对无人机巡检的影响较小,本发明实施例中不考虑雾霾、暴雪等极端天气,而在常规天气下进行巡检时无人机会受到风的影响;

无人机在飞行过程中对抗风的推力时,往往需要消耗更多的能量,即使较小的风也会导致无人机续航时间缩短,且高空中的风力一般强于地表;因此为了确保无人机能够准确安全返航,在执行巡检任务的无人机上配备超声波风速仪,用于在无人机起飞预备阶段对风向、风速以及风阻进行监测获取。

[0027] 获取空气风向角度的相反方向为空气风阻角度,以空气风阻角度为基准方向;获取无人机当前巡检的任务点与下一个相邻巡检的任务点之间的连线,根据连线的方向与基准方向得到无人机的飞行角度;计算空气风阻角度与飞行角度的差值,根据差值修正无人机受到的空气阻力,修正后的空气阻力为无人机的风阻系数。

[0028] 具体的,由于无人机飞行的角度与实际的空气风向角度不同时,无人机所受到的空气阻力有所差异,空气风向角度由超声波风速仪获取,空气风阻的方向与空气风向的方向相反,则可根据空气风向角度得到空气风阻角度,以空气风阻角度的方向为基准方向,无人机的飞行角度获取是:获取无人机从当前任务点与下一任务点之间连线,该连线与基准方向的夹角为无人机的飞行角度;以任意一个簇为例进行分析,任务点之间的巡检轨迹是沿着簇内的最短巡检路径得到;无人机的飞行角度与空气风向角度一致时,无人机顺风飞行空气阻力最小,因此结合无人机的飞行角度以及空气风阻角度修正此时无人机的空气阻力,空气阻力的获取方法为现有公知技术,修正后的空气阻力的计算为:

$$\mu_k = \frac{1}{2} C \rho S V^2 \cos(\theta_f - \theta_k)$$

其中, $\mu_k$ 表示无人机从簇内第 $k$ 个任务点飞往下一任务点修正后的空气阻力; $C$ 表示空气阻力系数; $\rho$ 表示空气密度; $S$ 表示无人机正向的迎风面积; $V$ 表示物体与空气的相对运动速度; $\theta_f$ 表示空气风阻角度; $\theta_k$ 表示无人机从簇内第 $k$ 个任务点飞往下一任务点的飞行角度; $\cos$ 表示余弦函数; $\frac{1}{2} C \rho S V^2$ 表示现有对空气阻力的获取公式。

[0029] 作为一个示例,假设此时的空气风向角度为 $90^\circ$ ,则此时空气风阻角度与空气风向角度相反为 $270^\circ$ ,无人机以该空气风阻角度的方向为基准方向时得到的飞行角度为 $90^\circ$ ,则此时空气阻力的计算为 $\mu_k = \frac{1}{2} C \rho S V^2 \cos(270^\circ - 90^\circ) = -\frac{1}{2} C \rho S V^2$ ,空气阻力最小。

[0030] 需要说明的是,本发明实施例中以空气风阻角度的方向为基准方向的原因是:由于现有空气阻力公式计算时是以正向迎风的方向进行获取,正向迎风的方向即为空气风阻方向,因此以空气风阻方向为基准方向获取的飞行角度对空气阻力进行修正。

[0031] 将此时的修正后的空气阻力作为风阻系数,并将风阻系数作为影响无人机飞行效率的权值系数,风阻系数越大,表明此时无人机受到的空气的阻力越大,则无人机的耗电量增加;获取无人机从充电站飞至巡检的第一个任务点的路程距离以及无人机从巡检的最后一个任务点飞至充电站的路程距离;路程距离由对应的风阻系数以及实际距离得到;基于无人机单次巡检过程中不同任务点之间的实际距离和风阻系数得到对应的巡检距离,单次巡检过程中所有巡检距离的求和得到无人机单次巡检的所有任务点的巡检距离;计算无人机单次巡检的所有任务点的巡检距离、无人机从充电站飞至巡检的第一个任务点的路程距离以及无人机从巡检的最后一个任务点飞至充电站的路程距离的求和为无人机单次巡检



的飞行距离；获取正常无风阻时无人机单次飞行的最大实际距离，最大实际距离与飞行距离的差值为无人机单次飞行的距离余数。

[0032] 具体的，无人机飞行的单位距离与耗电量呈正比例关系，例如：无风阻系数的情况下无人机每消耗1A电量时可飞行d个单位距离；而在有风阻系数的情况下无人机需要消耗 $(1+\mu_k)$ A才能飞行d个单位距离；即无人机在无风阻系数的情况下消耗 $(1+\mu_k)$ A可飞行 $(1+\mu_k)$ d个单位距离，因此本发明实施例中利用飞行距离反映无人机的耗电情况，该飞行距离包括任务点之间的巡检距离以及往返充电站的路程距离；无人机往返充电站的路程距离计算为：

$$D1 = (1 + \mu_{R_1})R_1$$

$$DS = (1 + \mu_{R_s})R_s$$

其中， $D1$ 表示无人机从充电站飞至巡检的第一个任务点的路程距离； $R_1$ 表示充电站与巡检的第一个任务点之间的实际距离； $\mu_{R_1}$ 表示无人机从充电站飞至巡检的第一个任务点的风阻系数； $DS$ 表示无人机从巡检的最后一个任务点到充电站的路程距离； $R_s$ 表示充电站与巡检的最后一个任务点之间的实际距离； $\mu_{R_s}$ 表示无人机从巡检的最后一个任务点飞至充电站的风阻系数。

[0033] 以此类推，基于风阻系数获取无人机巡检的所有任务点之间的巡检距离，当前任务点与下一个任务点的巡检按照簇内最短巡检路径顺序得到，则无人机巡检所有任务点的巡检距离的计算为：

$$DK = \sum_{k=1}^s (1 + \mu_k)D_k$$

其中， $DK$ 表示无人机巡检的所有任务点的巡检距离； $D_k$ 表示第 $k$ 个任务点与其相邻巡检的下一个任务点之间的实际距离； $\mu_k$ 表示第 $k$ 个任务点与其相邻巡检的下一个任务点之间的风阻系数； $s$ 表示簇内最后一个巡检的任务点。

[0034] 需要说明的是，本发明实施例中的路程距离以及巡检距离并非是无人机飞行的实际距离，充电站与任务点之间的实际距离不会发生变化，路程距离用于反映无人机在往返充电站之间的耗电情况，且返程的充电站为与当前巡检的最后一个任务点之间实际距离最小的充电站，巡检距离用于反映无人机在巡检过程中的耗电情况；风阻系数越大，则导致无人机飞行中的路程距离以及巡检距离越大，即无人机的耗电量越大。

[0035] 由此得到每个无人机在一次巡检时对应的全部飞行距离，获取无人机在正常无风阻系数时巡检的最大实际距离，利用该最大实际距离与无人机一次巡检全部的飞行距离的差值为该无人机在一次飞行时的距离余数，即距离余数的计算为：

$$\gamma = L - [D1 + DS + DK]$$

其中， $\gamma$ 表示距离余数； $D1$ 表示无人机从充电站飞至巡检的第一个任务点的路程距

离; $DS$ 表示无人机从巡检的最后一个任务点到充电站的路程距离; $DK$ 表示无人机巡检的所有任务点之间的巡检距离; $L$ 表示无人机对应的最大实际距离。

[0036] 由于无人机的巡检距离以及路程距离均表示的是无人机在风阻系数下的耗电情况,则最大实际距离可以认为是无人机的最大电量容量;因此本发明实施例中无人机的距离余数也可视为是无人机的电量余数。

[0037] 步骤S300,获取每个簇内无人机的实际巡检次数;根据实际巡检次数以及距离余数得到每个簇内的最优起始任务点;无人机以最优起始任务点开始沿着最短巡检路径进行巡检得到最佳路径。

[0038] 由步骤S200中得到无人机在有风阻系数的情况下飞行一次的飞行距离,则可基于飞行距离获取完成全部巡检时单个无人机飞行的次数;获取每个簇内无人机经过P次巡检的总飞行距离,P为正整数;统计簇内按照最短巡检路径进行巡检所有任务点对应的完整实际距离,计算完整实际距离与总飞行距离的差值,当差值大于零时,巡检次数P+1;重新获取簇内无人机经过P+1次巡检的总飞行距离,计算完整实际距离与重新获取的总飞行距离的差值,直至差值等于零时,得到无人机的实际巡检次数。

[0039] 具体的,已知无人机在有风阻系数的情况下飞行一次的飞行距离,则以此类推可得到无人机在有风阻系数的情况下飞行P次的飞行距离,P为正整数;基于飞行P次的总飞行距离以及簇内按照最短巡检路径进行巡检所有任务点对应的完整实际距离,根据完整实际距离以及无人机飞行P次的总飞行距离的差值可判断是否对所有的任务点巡检完成,即完整实际距离以及无人机飞行P次的总飞行距离之间存在以下关系:

$$H - \sum_{z=1}^P \sum_{k=1}^{S_z} [D1 + DS + DK] = \sum_{f=1}^F D_f$$

其中, $H$ 表示完整实际距离; $D1$ 表示无人机从充电站飞至巡检的第一个任务点的路程距离; $DS$ 表示无人机从巡检的最后一个任务点到充电站的路程距离; $DK$ 表示无人机巡检的所有任务点的巡检距离; $F$ 表示无人机在簇内经过P次巡检之后剩余的任务点数量; $D_f$ 表示剩余的第 $f$ 个任务点与其下一个巡检的任务点之间实际距离; $P$ 表示无人机在簇内巡检的次数; $S_z$ 表示无人机在第 $z$ 次巡检时的最后一个任务点。

[0040] 当无人机巡检P次之后簇内剩余未巡检的任务点数量 $F$ 不为零时,则巡检次数 $P$ 需要加1;以此类推,得到无人机在该簇内巡检的实际巡检次数 $B$ 。

[0041] 由于实际巡检过程中往往是多个无人机同时进行,而多个无人机巡检的过程也是将最短巡检路径划分为多段进行巡检,本质上依然是以单个无人机为基本进行巡检;虽然无人机的飞行轨迹是遵循最短巡检路径,但无人机每次初始飞行的起始点位置不同会对飞行效率产生不同的差异,即不同的初始飞行位置每次飞行结束的距离余数不相同;设定无人机以任意任务点为起始点进行巡检,获取此时无人机在巡检实际巡检次数后对应的距离余数的求和,求和结果最小时对应的任务点为最佳起始任务点。

[0042] 具体的,为了使得无人机巡检的效率最大化,应确保无人机初始飞行位置产生的

距离余数最小,因此以距离余数获取无人机的初始飞行位置的方法为:

$$J(e) = \min \sum_{z_e=1}^{B_e} \gamma_{z_e}, (e = 1, 2 \dots n)$$

其中, $J(e)$ 表示初始飞行位置的推算函数; $e$ 表示簇内最短巡检路径上第 $e$ 个任务点; $z$ 表示以第 $e$ 个任务点为起始点时,无人机的第 $z$ 次巡检飞行; $B_e$ 表示以第 $e$ 个任务点为起始点时,无人机巡检飞行的实际巡检次数; $\gamma_{z_e}$ 表示以第 $e$ 个任务点为起始点时,无人机第 $z$ 次巡检飞行的距离余数; $\min$ 表示最小值函数。

[0043] 当以任意任务点为起始点时,无人机多次飞行的距离余数之和最小,表明此时无人机飞行巡检的效率越高,则该任务点为最佳的初始飞行位置,将该最佳的初始飞行位置记为最优起始任务点;无人机以最优起始任务点开始进行巡检时,产生的距离余数最小,避免了飞行余数的浪费,提高了巡检效率;根据最优起始任务点并结合步骤S100中得到的最短巡检路径得到最佳路径规划;即得到通过无人机对城市中输电线路巡检时,以最优起始任务点开始,沿着每个簇内对应的最短巡检路径开始巡检的路径为最佳路径。

[0044] 综上所述,本发明实施例以城市中所有无人机充电站的位置为中心,基于中心对城市中所有的电力塔杆进行聚类得到多个簇,每个电力塔杆为一个任务点;进一步通过蚁群算法获取每个簇内所有任务点的最短巡检路径;考虑到无人机在飞行时会受到风力影响,因此通过获取无人机的飞行角度与空气风向角度对无人机飞行时的风阻系数进行获取,无人机在巡检飞行过程中可能存在多个不同的风阻系数,进一步结合风阻系数获取无人机单次巡检飞行的飞行距离,根据无人机单次飞行的最大实际距离与飞行距离的差值得到无人机单次飞行的距离余数;进一步获取无人机在每个簇内的实际巡检次数,通过所有实际巡检次数对应的距离余数的最小值找出无人机的最优起始任务点,以该最优起始任务点结合最短巡检路径得到无人机的最佳路径,减少了巡检过程中无人机的电量浪费,提高了巡检的效率。

[0045] 需要说明的是:上述本发明实施例先后顺序仅仅为了描述,不代表实施例的优劣。另外,在附图中描绘的过程不一定要求示出的特定顺序或者连续顺序才能实现期望的结果。在某些实施方式中,多任务处理和并行处理也是可以的或者可能是有利的。

[0046] 本说明书中的各个实施例均采用递进的方式描述,各个实施例之间相同相似的部分互相参见即可,每个实施例重点说明的都是与其他实施例的不同之处。

[0047] 以上所述仅为本发明的较佳实施例,并不用以限制本发明,凡在本发明的原则之内,所作的任何修改、等同替换、改进等,均应包含在本发明的保护范围之内。

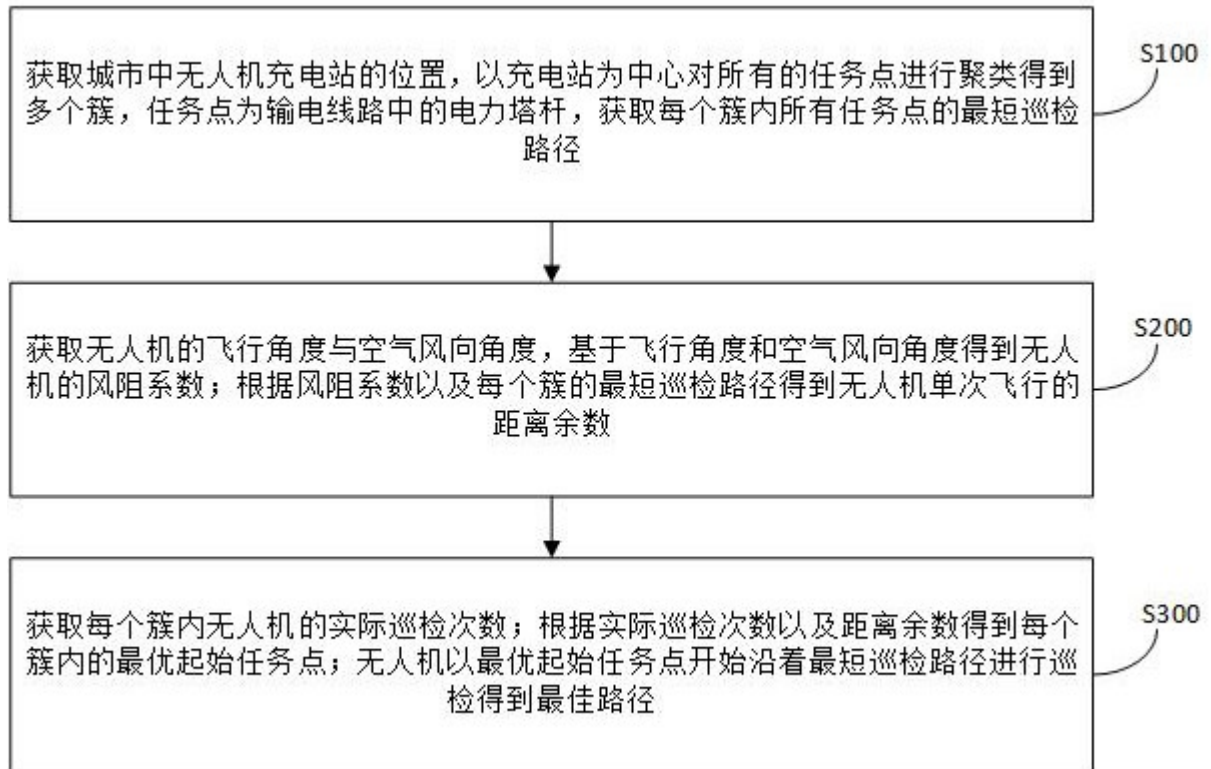


图 1