



# (12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 111683379 A

(43)申请公布日 2020.09.18

(21)申请号 202010510109.5

(22)申请日 2020.06.08

(71)申请人 上海特金无线技术有限公司

地址 201114 上海市闵行区新骏环路245号  
第6层E612室

(72)发明人 姜化京 李瀚 姜维

(74)专利代理机构 上海慧晗知识产权代理事务  
所(普通合伙) 31343

代理人 徐海晟

(51)Int.Cl.

H04W 16/18(2009.01)

H04B 7/185(2006.01)

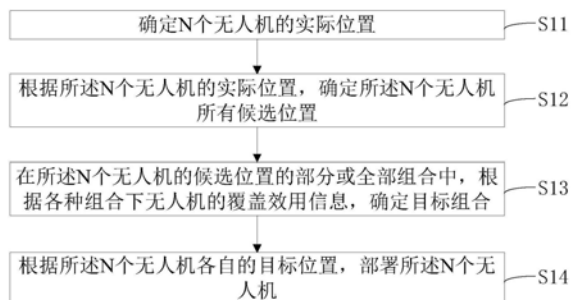
权利要求书5页 说明书14页 附图5页

## (54)发明名称

多无人机合作的空基无线信号覆盖部署方法及装置

## (57)摘要

本发明提供了一种多无人机合作的空基无线信号覆盖部署方法及装置,多无人机合作的空基无线信号覆盖部署方法,包括:确定N个无人机的实际位置;根据所述N个无人机的实际位置,确定所述N个无人机所有候选位置;在所述N个无人机的候选位置的部分或全部组合中,根据各种组合下无人机的覆盖效用信息,确定目标组合,所述目标组合中记载了所述N个无人机中每个无人机的目标位置,所述覆盖效用信息与对应无人机处于相应位置时所覆盖的任务量,以及满足其所覆盖的任务量所需消耗的传输开销相关联;根据所述N个无人机各自的目标位置,部署所述N个无人机。



1. 一种多无人机合作的空基无线信号覆盖部署方法,其特征在于,包括:

确定N个无人机的实际位置;

根据所述N个无人机的实际位置,确定所述N个无人机所有候选位置;

在所述N个无人机的候选位置的部分或全部组合中,根据各种组合下无人机的覆盖效用信息,确定目标组合,所述目标组合中记载了所述N个无人机中每个无人机的目标位置,所述覆盖效用信息与对应无人机处于相应位置时所覆盖的任务量,以及满足其所覆盖的任务量所需消耗的传输开销相关联;

根据所述N个无人机各自的目标位置,部署所述N个无人机。

2. 根据权利要求1所述的多无人机合作的空基无线信号覆盖部署方法,其特征在于,在所述N个无人机的候选位置的部分或全部组合中,根据各种组合下无人机的覆盖效用信息,确定目标组合,包括:

随机在所述N个无人机中选择一个当前无人机;

在所述当前无人机的所有候选位置中,随机选择一个当前预期位置;

计算第一覆盖效用信息;所述第一覆盖效用信息为所述当前无人机当前位置状态的覆盖效用信息,其中的位置状态表征了对应的无人机当前被确定的位置,每个无人机初始的位置状态所表征的位置为其实际位置;

计算第二覆盖效用信息,所述第二覆盖效用信息为所述当前无人机到达所述当前预期位置,且所述N个无人机中除所述当前无人机之外的其余无人机的位置均不变的情况下,所述当前无人机的覆盖效用信息;

根据所述第一覆盖效用信息与所述第二覆盖效用信息,更新所述当前无人机的位置状态;

多次重复以上过程,以在每次重复后更新一次所述N个无人机的位置状态,并确定所述N个无人机最终的位置状态所表征的位置为所述目标位置。

3. 根据权利要求2所述的多无人机合作的空基无线信号覆盖部署方法,其特征在于,根据所述第一覆盖效用信息与所述第二覆盖效用信息,更新所述当前无人机的位置状态,包括:

若根据所述第一覆盖效用信息与所述第二覆盖效用信息确定当前的更新策略为第一更新策略,则:确定所述当前无人机的位置状态保持不变;

若根据所述第一覆盖效用信息与所述第二覆盖效用信息确定当前的更新策略为第二更新策略,则:确定所述当前无人机的位置状态所表征的位置变化为所述当前预期状态。

4. 根据权利要求3所述的多无人机合作的空基无线信号覆盖部署方法,其特征在于,所述当前的更新策略是根据以概率信息确定的,其中的概率信息是根据以下函数确定的:

$$\begin{cases} P(l_n(i+1) = l_n(i)) = \frac{e^{\alpha u_{1n}(l_n(i))}}{e^{\alpha u_{1n}(l_n(i))} + e^{\alpha u_{1n}(l_n^*(i))}}; \\ P(l_n(i+1) = l_n^*(i)) = \frac{e^{\alpha u_{1n}(l_n^*(i))}}{e^{\alpha u_{1n}(l_n(i))} + e^{\alpha u_{1n}(l_n^*(i))}} \end{cases}$$

其中:

i表示第i次迭代更新;

$l_n(i)$ 表示第n个无人机在第i次迭代更新时当前位置状态所表征的位置;

$l_n^*(i)$ 表示第n个无人机在第i次迭代更新时的当前预期位置；

$\alpha$ 为自定义的学习参数；

$u1_n(l_n(i))$ 为当前位置状态的覆盖效用信息；

$u1_n(l_n^*(i))$ 为当前预期位置的覆盖效用信息；

$P(l_n(i+1) = l_n(i))$ 为第一概率信息,表示了采用第一更新策略的概率；

$P(l_n(i+1) = l_n^*(i))$ 为第二概率信息,表示了采用第二更新策略的概率。

5. 根据权利要求1至4任一项所述的多无人机合作的空基无线信号覆盖部署方法,其特征在于,所述覆盖效用信息是根据以下公式确定的:

$$u1_n(l_n, l_{L_n}) = \sum_{j \in I_n^*} \beta_j [1 - \prod_k (1 - q_j(l_k))] - \rho \cdot \beta_j;$$

其中:

$l_n$ 表示了无人机n的三维位置  $(x_n, y_n, h_n)$  ;

$j$ 表示了第j个地面用户;

$\beta_j$ 为地面用户j的任务量;

$\rho$ 为预设的表示任务收益和传输开销的重要性的参数;

$q_j(l_n)$ 表示了无人机n在位置是 $l_n$ 时对地面用户j的覆盖成功的概率, $q_j(l_k)$ 表示了其中n取k时,无人机n在位置是 $l_k$ 时对地面用户j的覆盖成功的概率。

6. 根据权利要求5所述的多无人机合作的空基无线信号覆盖部署方法,其特征在于,其中的 $q_j(l_n)$ 是通过以下公式确定的:

$$q_j(l_n) = P_{Los,n} Q\left(\frac{P_{\min} + L_{dB} - p_n - G + \mu_{Los}}{\sigma_{Los}}\right) + P_{NLos,n} Q\left(\frac{P_{\min} + L_{dB} - p_n - G + \mu_{NLos}}{\sigma_{NLos}}\right);$$

其中:

$P_{Los,n}$ 为无人机n的视距链路概率;

$P_{Los,n}$ 表示为:  $P_{Los,n} = 1/(1 + C \exp(-D(\varphi_n - C)))$

C和D是取决于环境的常量;

$\varphi_n$ 为地面任务的区域与无人机n之间的仰角;

$P_{NLos,n}$ 为无人机n的非视距链路概率;

$P_{NLos,n}$ 表示为:  $P_{NLos,n} = 1 - P_{Los,n}$ ;

$p_{\min}$ 是无人机n一次成功探测所需要s的最小传输功率;

$L_{dB} = 10 \cdot n_0 \log(4\pi f_c d_{n,j}/c)$  且 $L_{dB}$ 表示无人机n的空对地通信传输的路径损耗;

$n_0$ 为路径损耗系数;

$f_c$ 为无人机n的工作载频;

$d_{n,j}$ 为无人机n和地面用户j对应的任务区域点的直线距离;

$c$ 为电磁波传输速率;

$p_n$ 为无人机n的传输功率;

$G$ 为无人机n的天线增益;

$(\mu_{\text{LOS}}, \sigma_{\text{LOS}})$  表示视距链路LOS下阴影衰落的均值与方差；

$(\mu_{\text{NLOS}}, \sigma_{\text{NLOS}})$  表示非视距链路NLOS下阴影衰落的均值与方差；

$Q(\cdot)$  表示标准正态分布的右尾函数。

7. 一种多无人机合作的空基无线信号覆盖部署装置, 其特征在于, 包括:

实际位置确定模块, 用于确定N个无人机的实际位置;

候选位置确定模块, 用于根据所述N个无人机的实际位置, 确定所述N个无人机所有候选位置;

目标位置确定模块, 用于在所述N个无人机的候选位置的部分或全部组合中, 根据各种组合下无人机的覆盖效用信息, 确定目标组合, 所述目标组合中记载了所述N个无人机中每个无人机的目标位置, 所述覆盖效用信息与对应无人机处于相应位置时所覆盖的任务量, 以及满足其所覆盖的任务量所需消耗的传输开销相关联;

部署模块, 用于根据所述N个无人机各自的目标位置, 部署所述N个无人机。

8. 根据权利要求7所述的多无人机合作的空基无线信号覆盖部署装置, 其特征在于, 所述目标位置确定模块, 具体用于:

随机在所述N个无人机中选择一个当前无人机;

在所述当前无人机的所有候选位置中, 随机选择一个当前预期位置;

计算第一覆盖效用信息; 所述第一覆盖效用信息为所述当前无人机当前位置状态的覆盖效用信息, 其中的位置状态表征了对应的无人机当前被确定的位置, 每个无人机初始的位置状态所表征的位置为其实际位置;

计算第二覆盖效用信息, 所述第二覆盖效用信息为所述当前无人机到达所述当前预期位置, 且所述N个无人机中除所述当前无人机之外的其余无人机的位置均不变的情况下, 所述当前无人机的覆盖效用信息;

根据所述第一覆盖效用信息与所述第二覆盖效用信息, 更新所述当前无人机的位置状态;

多次重复以上过程, 以在每次重复后更新一次所述N个无人机的位置状态;

确定所述N个无人机最终的位置状态所表征的位置为所述目标位置。

9. 根据权利要求8所述的多无人机合作的空基无线信号覆盖部署装置, 其特征在于, 所述目标位置确定模块, 具体用于:

若根据所述第一覆盖效用信息与所述第二覆盖效用信息确定当前的更新策略为第一更新策略, 则: 确定所述当前无人机的位置状态保持不变;

若根据所述第一覆盖效用信息与所述第二覆盖效用信息确定当前的更新策略为第二更新策略, 则: 确定所述当前无人机的位置状态所表征的位置变化为所述当前预期状态。

10. 根据权利要求9所述的多无人机合作的空基无线信号覆盖部署装置, 其特征在于, 所述当前的更新策略是根据以概率信息确定的, 其中的概率信息是根据以下函数确定的:

$$\begin{cases} P(l_n(i+1) = l_n(i)) = \frac{e^{\alpha u_{1n}(l_n(i))}}{e^{\alpha u_{1n}(l_n(i))} + e^{\alpha u_{1n}(l_n^*(i))}}; \\ P(l_n(i+1) = l_n^*(i)) = \frac{e^{\alpha u_{1n}(l_n^*(i))}}{e^{\alpha u_{1n}(l_n(i))} + e^{\alpha u_{1n}(l_n^*(i))}} \end{cases}$$

其中:

i 表示第i次迭代更新;

$l_n(i)$  表示第n个无人机在第i次迭代更新时当前位置状态所表征的位置；

$l_n^*(i)$  表示第n个无人机在第i次迭代更新时的当前预期位置；

$\alpha$  为自定义的学习参数；

$u1_n(l_n(i))$  为当前位置状态的覆盖效用信息；

$u1_n(l_n^*(i))$  为当前预期位置的覆盖效用信息；

$P(l_n(i+1) = l_n(i))$  为第一概率信息，表示了采用第一更新策略的概率；

$P(l_n(i+1) = l_n^*(i))$  为第二概率信息，表示了采用第二更新策略的概率。

11. 根据权利要求7至10任一项所述的多无人机合作的空基无线信号覆盖部署装置，其特征在于，所述覆盖效用信息是根据以下公式确定的：

$$u1_n(l_n, l_n) = \sum_{j \in I_n^*} \beta_j [1 - \prod_k (1 - q_j(l_k))] - \rho \cdot \beta_j;$$

其中：

$l_n$  表示了无人机n的三维位置  $(x_n, y_n, h_n)$ ；

$j$  表示了第j个地面用户；

$\beta_j$  为地面用户j的任务量；

$\rho$  为预设的表示任务收益和传输开销的重要性的参数；

$q_j(l_n)$  表示了无人机n在位置是 $l_n$ 时对地面用户j的覆盖成功的概率， $q_j(l_k)$  表示了其中n取k时，无人机k在位置是 $l_k$ 时对地面用户j的覆盖成功的概率。

12. 根据权利要求11所述的多无人机合作的空基无线信号覆盖部署装置，其特征在于，其中的 $q_j(l_n)$  是通过以下公式确定的：

$$q_j(l_n) = P_{Los,n} Q\left(\frac{P_{\min} + L_{dB} - p_n - G + \mu_{Los}}{\sigma_{Los}}\right) + P_{NLos,n} Q\left(\frac{P_{\min} + L_{dB} - p_n - G + \mu_{NLos}}{\sigma_{NLos}}\right);$$

其中：

$P_{Los,n}$  为无人机n的视距链路概率；

$P_{Los,n}$  表示为： $P_{Los,n} = 1/(1 + C \exp(-D(\varphi_n - C)))$

C和D是取决于环境的常量；

$\varphi_n$  为地面任务的区域与无人机n之间的仰角；

$P_{NLos,n}$  为无人机n的非视距链路概率；

$P_{NLos,n}$  表示为： $P_{NLos,n} = 1 - P_{Los,n}$ ；

$p_{\min}$  是无人机n一次成功探测所需要的最小传输功率；

$L_{dB} = 10 \cdot n_0 \log(4\pi f_c d_{n,j}/c)$  且 $L_{dB}$  表示无人机n的空对地通信传输的路径损耗；

$n_0$  为路径损耗系数；

$f_c$  为无人机n的工作载频；

$d_{n,j}$  为无人机n和地面用户j对应的任务区域点的直线距离；

$c$  为电磁波传输速率；

$p_n$  为无人机n的传输功率；

G为无人机<sub>n</sub>的天线增益；

( $\mu_{\text{LOS}}, \sigma_{\text{LOS}}$ ) 表示视距链路LOS下阴影衰落的均值与方差；

( $\mu_{\text{NLOS}}, \sigma_{\text{NLOS}}$ ) 表示非视距链路NLOS下阴影衰落的均值与方差；

$Q(\cdot)$  表示标准正态分布的右尾函数。

13. 一种电子设备, 其特征在于, 包括处理器与存储器,  
所述存储器, 用于存储代码和相关数据;  
所述处理器, 用于执行所述存储器中的代码用以实现权利要求1至6任一项所述的方法。

14. 一种存储介质, 其上存储有计算机程序, 该程序被处理器执行时实现权利要求1至6任一项所述的方法。

## 多无人机合作的空基无线信号覆盖部署方法及装置

### 技术领域

[0001] 本发明涉及无人机领域,尤其涉及一种多无人机合作的空基无线信号覆盖部署方法及装置。

### 背景技术

[0002] 随着无线通信技术的不断革新,无人机辅助通信网络迅速发展且拥有广阔应用前景,在高任务需求和高动态变化的通信场景中发挥着重要作用。在复杂飞行环境下,单机运作往往孤掌难鸣,很难应对复杂和动态变化的环境,故而,通常需采用多无人机联合覆盖的方式进行部署控制。

[0003] 现有相关技术中,在部署时考虑的因素较少,例如:未充分考虑无人机的传输开销、天线增益、空-地链路特性等实际物理因素,进而,无法准确描述空地状态变化对无人机效用的影响。

### 发明内容

[0004] 本发明提供一种多无人机合作的空基无线信号覆盖部署方法及装置,以解决无法准确描述空地状态变化对无人机效用的影响的问题。

[0005] 根据本发明的第一方面,提供了一种多无人机合作的空基无线信号覆盖部署方法,包括:

[0006] 确定N个无人机的实际位置;

[0007] 根据所述N个无人机的实际位置,确定所述N个无人机所有候选位置;

[0008] 在所述N个无人机的候选位置的部分或全部组合中,根据各种组合下无人机的覆盖效用信息,确定目标组合,所述目标组合中记载了所述N个无人机中每个无人机的目标位置,所述覆盖效用信息与对应无人机处于相应位置时所覆盖的任务量,以及满足其所覆盖的任务量所需消耗的传输开销相关联;

[0009] 根据所述N个无人机各自的目标位置,部署所述N个无人机。

[0010] 可选的,在所述N个无人机的候选位置的部分或全部组合中,根据各种组合下无人机的覆盖效用信息,确定目标组合,包括:

[0011] 随机在所述N个无人机中选择一个当前无人机;

[0012] 在所述当前无人机的所有候选位置中,随机选择一个当前预期位置;

[0013] 计算第一覆盖效用信息;所述第一覆盖效用信息为所述当前无人机当前位置状态的覆盖效用信息,其中的位置状态表征了对应的无人机当前被确定的位置,每个无人机初始的位置状态所表征的位置为其实际位置;

[0014] 计算第二覆盖效用信息,所述第二覆盖效用信息为所述当前无人机到达所述当前预期位置,且所述N个无人机中除所述当前无人机之外的其余无人机的位置均不变的情况下,所述当前无人机的覆盖效用信息;

[0015] 根据所述第一覆盖效用信息与所述第二覆盖效用信息,更新所述当前无人机的位

置状态；

[0016] 多次重复以上过程，以在每次重复后更新一次所述N个无人机的位置状态；

[0017] 确定所述N个无人机最终的位置状态所表征的位置为所述目标位置。

[0018] 可选的，根据所述第一覆盖效用信息与所述第二覆盖效用信息，更新所述当前无人机的位置状态，包括：

[0019] 若根据所述第一覆盖效用信息与所述第二覆盖效用信息确定当前的更新策略为第一更新策略，则：确定所述当前无人机的位置状态保持不变；

[0020] 若根据所述第一覆盖效用信息与所述第二覆盖效用信息确定当前的更新策略为第二更新策略，则：确定所述当前无人机的位置状态所表征的位置变化为所述当前预期状态。

[0021] 可选的，所述当前的更新策略是根据以概率信息确定的，其中的概率信息是根据以下函数确定的：

$$[0022] \quad \begin{cases} P(l_n(i+1) = l_n(i)) = \frac{e^{\alpha u_{1n}(l_n(i))}}{e^{\alpha u_{1n}(l_n(i))} + e^{\alpha u_{1n}(l_n^*(i))}}; \\ P(l_n(i+1) = l_n^*(i)) = \frac{e^{\alpha u_{1n}(l_n^*(i))}}{e^{\alpha u_{1n}(l_n(i))} + e^{\alpha u_{1n}(l_n^*(i))}}; \end{cases}$$

[0023] 其中：

[0024] i表示第i次迭代更新；

[0025]  $l_n(i)$ 表示第n个无人机在第i次迭代更新时当前位置状态所表征的位置；

[0026]  $l_n^*(i)$ 表示第n个无人机在第i次迭代更新时的当前预期位置；

[0027]  $\alpha$ 为自定义的学习参数；

[0028]  $u_{1n}(l_n(i))$ 为当前位置状态的覆盖效用信息；

[0029]  $u_{1n}(l_n^*(i))$ 为当前预期位置的覆盖效用信息；

[0030]  $P(l_n(i+1) = l_n(i))$ 为第一概率信息，表示了采用第一更新策略的概率；

[0031]  $P(l_n(i+1) = l_n^*(i))$ 为第二概率信息，表示了采用第二更新策略的概率。

[0032] 可选的，所述覆盖效用信息是根据以下公式确定的：

$$[0033] \quad u_{1n}(l_n, l_{L_n}) = \sum_{j \in I_n^*} \beta_j [1 - \prod_k (1 - q_j(l_n))] - \rho \cdot \beta_j;$$

[0034] 其中：

[0035]  $l_n$ 表示了无人机n的三维位置  $(x_n, y_n, h_n)$ ；

[0036] j表示了第j个地面用户；

[0037]  $\beta_j$ 为地面用户j的任务量；

[0038]  $\rho$ 为预设的表示任务收益和传输开销的重要性的参数；

[0039]  $q_j(l_n)$ 表示了无人机n在位置是 $l_n$ 时对地面用户j的覆盖成功的概率， $q_j(l_k)$ 表示了其中n取k时，无人机k在位置是 $l_k$ 时对地面用户j的覆盖成功的概率。

[0040] 可选的，其中的 $q_j(l_n)$ 是通过以下公式确定的：



$$q_j(l_n) = P_{Los,n} Q\left(\frac{p_{\min} + L_{dB} - p_n - G + \mu_{Los}}{\sigma_{Los}}\right) + P_{NLos,n} Q\left(\frac{p_{\min} + L_{dB} - p_n - G + \mu_{NLos}}{\sigma_{NLos}}\right);$$

[0042] 其中：

[0043]  $P_{Los,n}$ 为无人机n的视距链路概率；

[0044]  $P_{Los,n}$ 表示为： $P_{Los,n} = 1/(1 + C \exp(-D(\varphi_n - C)))$

[0045] C和D是取决于环境的常量；

[0046]  $\varphi_n$ 为地面任务的区域与无人机n之间的仰角；

[0047]  $P_{NLos,n}$ 为无人机n的非视距链路概率；

[0048]  $P_{NLos,n}$ 表示为： $P_{NLos,n} = 1 - P_{Los,n}$ ；

[0049]  $p_{\min}$ 是无人机n一次成功探测所需要的最小传输功率；

[0050]  $L_{dB} = 10 \cdot n_0 \log(4\pi f_c d_{n,j}/c)$  且 $L_{dB}$ 表示无人机n的空对地通信传输的路径损耗；

[0051]  $n_0$ 为路径损耗系数；

[0052]  $f_c$ 为无人机n的工作载频；

[0053]  $d_{n,j}$ 为无人机n和地面用户j对应的任务区域点的直线距离；

[0054]  $c$ 为电磁波传输速率；

[0055]  $p_n$ 为无人机n的传输功率；

[0056]  $G$ 为无人机n的天线增益；

[0057]  $(\mu_{Los}, \sigma_{Los})$ 表示视距链路LOS下阴影衰落的均值与方差；

[0058]  $(\mu_{NLos}, \sigma_{NLos})$ 表示非视距链路NLOS下阴影衰落的均值与方差；

[0059]  $Q(\cdot)$ 表示标准正态分布的右尾函数。

[0060] 根据本发明的第二方面，提供了一种多无人机合作的空基无线信号覆盖部署装置，包括：

[0061] 实际位置确定模块，用于确定N个无人机的实际位置；

[0062] 候选位置确定模块，用于根据所述N个无人机的实际位置，确定所述N个无人机所有候选位置；

[0063] 目标位置确定模块，用于在所述N个无人机的候选位置的部分或全部组合中，根据各种组合下无人机的覆盖效用信息，确定目标组合，所述目标组合中记载了所述N个无人机中每个无人机的目标位置，所述覆盖效用信息与对应无人机处于相应位置时所覆盖的任务量，以及满足其所覆盖的任务量所需消耗的传输开销相关联；

[0064] 部署模块，用于根据所述N个无人机各自的目标位置，部署所述N个无人机。

[0065] 可选的，所述目标位置确定模块，具体用于：

[0066] 随机在所述N个无人机中选择一个当前无人机；

[0067] 在所述当前无人机的所有候选位置中，随机选择一个当前预期位置；

[0068] 计算第一覆盖效用信息；所述第一覆盖效用信息为所述当前无人机当前位置状态的覆盖效用信息，其中的位置状态表征了对应的无人机当前被确定的位置，每个无人机初始的位置状态所表征的位置为其实际位置；

[0069] 计算第二覆盖效用信息,所述第二覆盖效用信息为所述当前无人机到达所述当前预期位置,且所述N个无人机中除所述当前无人机之外的其余无人机的位置均不变的情况下,所述当前无人机的覆盖效用信息;

[0070] 根据所述第一覆盖效用信息与所述第二覆盖效用信息,更新所述当前无人机的位置状态;

[0071] 多次重复以上过程,以在每次重复后更新一次所述N个无人机的位置状态;

[0072] 确定所述N个无人机最终的位置状态所表征的位置为所述目标位置。

[0073] 可选的,所述目标位置确定模块,具体用于:

[0074] 若根据所述第一覆盖效用信息与所述第二覆盖效用信息确定当前的更新策略为第一更新策略,则:确定所述当前无人机的位置状态保持不变;

[0075] 若根据所述第一覆盖效用信息与所述第二覆盖效用信息确定当前的更新策略为第二更新策略,则:确定所述当前无人机的位置状态所表征的位置变化为所述当前预期状态。

[0076] 可选的,所述当前的更新策略是根据以概率信息确定的,其中的概率信息是根据以下函数确定的:

$$[0077] \quad \begin{cases} P(l_n(i+1) = l_n(i)) = \frac{e^{\alpha u_{1n}(l_n(i))}}{e^{\alpha u_{1n}(l_n(i))} + e^{\alpha u_{1n}(l_n^*(i))}}; \\ P(l_n(i+1) = l_n^*(i)) = \frac{e^{\alpha u_{1n}(l_n^*(i))}}{e^{\alpha u_{1n}(l_n(i))} + e^{\alpha u_{1n}(l_n^*(i))}} \end{cases};$$

[0078] 其中:

[0079] i表示第i次迭代更新;

[0080]  $l_n(i)$  表示第n个无人机在第i次迭代更新时当前位置状态所表征的位置;

[0081]  $l_n^*(i)$  表示第n个无人机在第i次迭代更新时的当前预期位置;

[0082]  $\alpha$  为自定义的学习参数;

[0083]  $u_{1n}(l_n(i))$  为当前位置状态的覆盖效用信息;

[0084]  $u_{1n}(l_n^*(i))$  为当前预期位置的覆盖效用信息;

[0085]  $P(l_n(i+1) = l_n(i))$  为第一概率信息,表示了采用第一更新策略的概率;

[0086]  $P(l_n(i+1) = l_n^*(i))$  为第二概率信息,表示了采用第二更新策略的概率。

[0087] 可选的,所述覆盖效用信息是根据以下公式确定的:

$$[0088] \quad u_{1n}(l_n, l_{L_n}) = \sum_{j \in l_n^*} \beta_j [1 - \prod_k (1 - q_j(l_n))] - \rho \cdot \beta_j;$$

[0089] 其中:

[0090]  $l_n$  表示了无人机n的三维位置  $(x_n, y_n, h_n)$ ;

[0091] j表示了第j个地面用户;

[0092]  $\beta_j$  为地面用户j的任务量;

[0093]  $\rho$  为预设的表示任务收益和传输开销的重要性的参数;

[0094]  $q_j(l_n)$  表示了无人机n在位置是  $l_n$  时对地面用户j的覆盖成功的概率,  $q_j(l_k)$  表示了其中n取k时,无人机k在位置是  $l_k$  时对地面用户j的覆盖成功的概率。

[0095] 可选的,其中的  $q_j(l_n)$  是通过以下公式确定的:

$$q_j(l_n) = P_{Los,n} Q\left(\frac{p_{\min} + L_{dB} - p_n - G + \mu_{Los}}{\sigma_{Los}}\right) + P_{NLos,n} Q\left(\frac{p_{\min} + L_{dB} - p_n - G + \mu_{NLos}}{\sigma_{NLos}}\right);$$

[0097] 其中：

[0098]  $P_{Los,n}$ 为无人机n的视距链路概率；

[0099]  $P_{Los,n}$ 表示为： $P_{Los,n} = 1/(1 + C \exp(-D(\varphi_n - C)))$

[0100] C和D是取决于环境的常量；

[0101]  $\varphi_n$ 为地面任务的区域与无人机n之间的仰角；

[0102]  $P_{NLos,n}$ 为无人机n的非视距链路概率；

[0103]  $P_{NLos,n}$ 表示为： $P_{NLos,n} = 1 - P_{Los,n}$ ；

[0104]  $p_{\min}$ 是无人机n一次成功探测所需要的最小传输功率；

[0105]  $L_{dB} = 10 \cdot n_0 \log(4\pi f_c d_{n,j}/c)$  且 $L_{dB}$ 表示无人机n的空对地通信传输的路径损耗；

[0106]  $n_0$ 为路径损耗系数；

[0107]  $f_c$ 为无人机n的工作载频；

[0108]  $d_{n,j}$ 为无人机n和地面用户j对应的任务区域点的直线距离；

[0109]  $c$ 为电磁波传输速率；

[0110]  $p_n$ 为无人机n的传输功率；

[0111]  $G$ 为无人机n的天线增益；

[0112]  $(\mu_{Los}, \sigma_{Los})$ 表示视距链路LOS下阴影衰落的均值与方差；

[0113]  $(\mu_{NLos}, \sigma_{NLos})$ 表示非视距链路NLOS下阴影衰落的均值与方差；

[0114]  $Q(\cdot)$ 表示标准正态分布的右尾函数。

[0115] 根据本发明的第三方面，提供了一种电子设备，包括处理器与存储器，

[0116] 所述存储器，用于存储代码和相关数据；

[0117] 所述处理器，用于执行所述存储器中的代码用以实现第一方面及其可选方案涉及的方法。

[0118] 根据本发明的第四方面，提供了一种存储介质，其上存储有计算机程序，该程序被处理器执行时实现第一方面及其可选方案涉及的方法。

[0119] 本发明提供的多无人机合作的空基无线信号覆盖部署方法及装置中，在选择所部署的目标位置时，能够以各种候选位置的组合可能性下无人机的覆盖效用信息为依据确定该目标位置，进而，可基于所确定的目标位置来部署多无人机，其中，由于覆盖效用信息与对应无人机处于相应位置时所覆盖的任务量，以及满足其所覆盖的任务量所需消耗的传输开销相关联，本发明部署时能够充分考虑实际可能的任务量与传输开销，准确描述了空地状态变化对无人机效用的影响。

## 附图说明

[0120] 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，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地介绍，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性的前提下,还可以根据这些附图获得其他的附图。

[0121] 图1是本发明一实施例中多无人机合作的空基无线信号覆盖部署方法的流程示意图;

[0122] 图2是本发明一实施例中无人机的覆盖场景示意图;

[0123] 图3是本发明一实施例中无人机的部署示意图;

[0124] 图4是本发明一实施例中步骤S13的流程示意图;

[0125] 图5是本发明一实施例中步骤S135的流程示意图;

[0126] 图6是本发明一实施例中多无人机合作的空基无线信号覆盖部署装置的程序模块示意图;

[0127] 图7是本发明一实施例中电子设备的构造示意图。

### 具体实施方式

[0128] 下面将结合本发明实施例中的附图,对本发明实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述,显然,所描述的实施例仅仅是本发明一部分实施例,而不是全部的实施例。基于本发明中的实施例,本领域普通技术人员在没有做出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例,都属于本发明保护的范围。

[0129] 本发明的说明书和权利要求书及上述附图中的术语“第一”、“第二”、“第三”“第四”等(如果存在)是用于区别类似的对象,而不必用于描述特定的顺序或先后次序。应该理解这样使用的数据在适当情况下可以互换,以便这里描述的本发明的实施例能够以除了在这里图示或描述的那些以外的顺序实施。此外,术语“包括”和“具有”以及他们的任何变形,意图在于覆盖不排他的包含,例如,包含了一系列步骤或单元的过程、方法、系统、产品或设备不必限于清楚地列出的那些步骤或单元,而是可包括没有清楚地列出的或对于这些过程、方法、产品或设备固有的其它步骤或单元。

[0130] 下面以具体地实施例对本发明的技术方案进行详细说明。下面这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。

[0131] 图1是本发明一实施例中多无人机合作的空基无线信号覆盖部署方法的流程示意图,图2是本发明一实施例中无人机的覆盖场景示意图。图3是本发明一实施例中无人机的部署示意图。

[0132] 本发明实施例提供的多无人机合作的空基无线信号覆盖部署方法可应用于对无人机进行部署的设备,例如中心控制设备,也可以是能够与无人机进行通信的任意设备,还可以是其中的无人机。

[0133] 其中的无人机,可理解为能够直接或间接受控的不载人飞行器。

[0134] 其中的部署,可理解为包括对无人机的位置进行部署,进一步方案中,还可包括对无人机的工作方式进行部署的内容。

[0135] 请参考图1,并结合图2与图3,本发明实施例提供的多无人机合作的空基无线信号覆盖部署方法,包括:

[0136] S11:确定N个无人机的实际位置;

[0137] S12:根据所述N个无人机的实际位置,确定所述N个无人机所有候选位置;

[0138] S13:在所述N个无人机的候选位置的部分或全部组合中,根据各种组合下无人机的覆盖效用信息,确定目标组合;

[0139] 其中,所述目标组合中记载了所述N个无人机中每个无人机的目标位置,所述覆盖效用信息与对应无人机处于相应位置时所覆盖的任务量,以及满足其所覆盖的任务量所需消耗的传输开销相关联;

[0140] S14:根据所述N个无人机各自的目标位置,部署所述N个无人机。

[0141] 针对于其中的覆盖效用信息,因与覆盖的任务量,以及传输开销相关联,其可在一定程度上表征出所覆盖的任务量与传输开销的实际情况,进而,任意可在一定程度上表征出这两部分内容的信息,不论其是单个数值还是多个数值的组合,均不脱离本发明实施例的范围。

[0142] 其中的任务量,可理解为地面需与该无人机通信或可以与该无人机通信的地面用户的数量,具体可利用该数量来表征,也可利用与该数量相关的其他数值来表征。传输开销是随任务量的增加而增加的。

[0143] 基于以上方案,本发明实施例部署时能够充分考虑实际可能的任务量与传输开销,准确描述了空地状态变化对无人机效用的影响。

[0144] 同时,任务量的多少实际表征了地面用户的需求量,其也可在一定程度上表征出任务收益,例如:实际执行的任务量越多,任务收益越高,进而,以表征任务量与传输开销的覆盖效用信息为依据,还可有利于更好地兼顾任务收益与传输开销。

[0145] 其中的候选位置,可理解为基于无人机的飞行能力(或结合具体的飞行环境)所确定的无人机可能飞行到达的位置。

[0146] 一种实施方式中,覆盖效用信息可以利用其所覆盖的任务量与表征传输开销的参数或参数的组合所组成的数组来表征。

[0147] 另一实施方式中,也可采用单个数值来表征,具体的,单个数值的覆盖效用信息可以是根据具体的公式来确定。进而,可结合更多的因素来确定该覆盖效用信息。

[0148] 由于无人机的工作特点,受到视距传输条件、信道衰落、路径损耗等因素影响,每架无人机并不能百分百地成功覆盖每个用户,会有一定的覆盖成功概率。但是,通过相互之间的合作覆盖,能够提高任务目标的被覆盖概率,从而提高对整个任务区域的覆盖效果。单架无人机只要改变自身位置状态,就会改变对任务区域的覆盖成功概率,从而改变其覆盖收益。同时考虑无人机所携带的能量有限,执行任务所需的传输开销不容忽视。因此,无人机的效用是由其覆盖收益和传输开销共同决定的。在一些现有技术中,关于无人机覆盖问题并没有考虑多无人机协同覆盖场景,因为要描述局部变动会影响整体性能这样的合作关系很难。此外,部分现有技术中,也未能充分考虑到考虑无人机的传输开销、天线增益、空-地链路特性等实际物理因素。

[0149] 以下实施方式可有效解决以上情况。

[0150] 请参考图2,针对于所需使用的公式,可先定义无人机群中的所有无人机组成的集合为 $\mathcal{N}$ ,对于任意无人机 $n \in \mathcal{N}$ ,其中, $n$ 为正整数且表示无人机的编号。将无人机覆盖最大化问题构建为合作覆盖博弈模型,设置 $I_n^*$ 为无人机 $n$ 的侦测范围, $L_n$ 为与无人机 $n$ 侦查范围有重叠的邻居无人机集合,即 $I_n^* \cap I_{L_n} \neq \emptyset$ 。

[0151] 其中的公式具体为公式一：

$$[0152] \quad u1_n(l_n, l_{L_n}) = \sum_{j \in I_n^*} \beta_j [1 - \prod_k (1 - q_j(l_k))] - \rho \cdot \beta_j;$$

[0153] 进一步的,其可以为:

$$[0154] \quad u1_n(l_n, l_{L_n}) = \sum_{j \in I_n^*} \beta_j [1 - \prod_{k \in L1_n} (1 - q_j(l_k))] - \rho \cdot \beta_j;$$

[0155] 其中:

[0156]  $l_n$ 表示了无人机 $n$ 的三维位置  $(x_n, y_n, h_n)$ ;

[0157]  $j$ 表示了第 $j$ 个地面用户;

[0158]  $\beta_j$ 为地面用户 $j$ 的任务量; $\beta_j$ 值越大,代表地面用户需求量越高,传输开销越大;

[0159]  $\rho$ 为预设的表示任务收益和传输开销的重要性的参数;

[0160]  $q_j(l_n)$ 表示了无人机 $n$ 在位置是 $l_n$ 时对地面用户 $j$ 的覆盖成功的概率,具体的,  $n \in L1_n$ ;对应的,  $q_j(l_k)$ 表示了无人机 $k$ 在位置是 $l_n$ 时对地面用户 $j$ 的覆盖成功的概率,具体的,  $k \in L1_n$ ;

$$[0161] \quad L1_n = \{n, L_n \cup J_n^*\};$$

[0162]  $J_n^*$ 表示了无人机 $n$ 选择期望位置后的新邻居无人机集合。

[0163] 具体实施过程中,其中的 $q_j(l_n)$ 是通过以下公式确定的:

$$[0164] \quad q_j(l_n) = P_{Los,n} Q\left(\frac{P_{\min} + L_{dB} - p_n - G + \mu_{Los}}{\sigma_{Los}}\right) + P_{NLos,n} Q\left(\frac{P_{\min} + L_{dB} - p_n - G + \mu_{NLos}}{\sigma_{NLos}}\right);$$

[0165] 其中:

[0166]  $P_{Los,n}$ 为无人机 $n$ 的视距链路概率;

$$[0167] \quad P_{Los,n} \text{表示为: } P_{Los,n} = 1/(1 + C \exp(-D(\varphi_n - C)))$$

[0168]  $C$ 和 $D$ 是取决于环境的常量;

[0169]  $\varphi_n$ 为地面任务的区域(即图2所示的任务区域)与无人机 $n$ 之间的仰角;

[0170]  $P_{NLos,n}$ 为无人机 $n$ 的非视距链路概率;

[0171]  $P_{NLos,n}$ 表示为:  $P_{NLos,n} = 1 - P_{Los,n}$ ;

[0172]  $p_{\min}$ 是无人机 $n$ 一次成功探测所需要的最小传输功率;

[0173]  $L_{dB} = 10 \cdot n_0 \log(4\pi f_c d_{n,i}/c)$ 且 $L_{dB}$ 表示无人机 $n$ 的空对地通信传输的路径损耗;

[0174]  $n_0$ 为路径损耗系数;

[0175]  $f_c$ 为无人机 $n$ 的工作载频;

[0176]  $d_{n,j}$ 为无人机 $n$ 和地面用户 $j$ 对应的任务区域点的直线距离;

[0177]  $c$ 为电磁波传输速率;

[0178]  $p_n$ 为无人机 $n$ 的传输功率;

[0179]  $G$ 为无人机 $n$ 的天线增益;当无人机 $n$ 的通信信号在天线波束宽度 $\theta$ 内时,天线增益由主瓣增益 $G \approx 29000/\theta^2$ 决定,当无人机 $n$ 的通信超过天线的波束宽度时,天线增益由旁瓣增益 $G = 1/\sin^2(3\pi/2\sqrt{N_0})$ 决定, $N_0$ 代表无人机天线数量

[0180]  $(\mu_{\text{LOS}}, \sigma_{\text{LOS}})$  表示视距链路LOS下阴影衰落的均值与方差;

[0181]  $(\mu_{\text{NLOS}}, \sigma_{\text{NLOS}})$  表示非视距链路NLOS下阴影衰落的均值与方差;

[0182]  $Q(\cdot)$  表示标准正态分布的右尾函数。

[0183] 进而, 可将无人机覆盖收益与开销折中问题转化为优化无人机 $n$ 的位置策略  $(x_n, y_n, h_n)$ , 通过约束传输开销, 从而寻找覆盖效用最大解。

[0184] 在一种实现过程中, 可根据所得到的无人机的效用以及预期位置下的效用值, 利用对数线性学习算法更新此时的位置, 直到算法收敛。以下将结合图4和图5所示的步骤对该实现过程进行举例。

[0185] 图4是本发明一实施例中步骤S13的流程示意图; 图5是本发明一实施例中步骤S135的流程示意图。

[0186] 请参考图4与图5, 请参考图4, 步骤S13可以包括:

[0187] S131: 随机在所述 $N$ 个无人机中选择一个当前无人机;

[0188] S132: 在所述当前无人机的所有候选位置中, 随机选择一个当前预期位置;

[0189] S133: 计算第一覆盖效用信息;

[0190] 其中的第一覆盖效用信息为所述当前无人机当前位置状态的覆盖效用信息, 其中的位置状态表征了对应的无人机当前被确定的位置, 每个无人机初始的位置状态所表征的位置为其实际位置;

[0191] S134: 计算第二覆盖效用信息;

[0192] 其中的第二覆盖效用信息为所述当前无人机到达所述当前预期位置, 且所述 $N$ 个无人机中除所述当前无人机之外的其余无人机的位置均不变的情况下, 所述当前无人机的覆盖效用信息;

[0193] S135: 根据所述第一覆盖效用信息与所述第二覆盖效用信息, 更新所述当前无人机的位置状态;

[0194] 其中的更新, 可例如包括更新为保持不变, 也可以更新为发生变化。

[0195] 进而, 可多次重复以上过程, 即多次重复以上步骤S131至步骤S135, 以在每次重复后更新一次所述 $N$ 个无人机的位置状态; 并在多次迭代更新后, 确定所述 $N$ 个无人机最终的位置状态所表征的位置为所述目标位置。

[0196] 一种举例中, 步骤S135之后, 可以包括:

[0197] S136: 是否结束迭代更新;

[0198] 若步骤S136的判断结果为是, 则可实施步骤S137: 确定所述 $N$ 个无人机最终的位置状态所表征的位置为所述目标位置, 反之, 则可返回至步骤S131, 继续下次迭代更新。

[0199] 其中步骤S136的判断可根据算法是否收敛来判断, 例如是否达到最大迭代次数, 再例如迭代后得到的相关数值是否收敛至所需的目标数值, 例如可通过表征全局覆盖效用信息的数值作为该相关数值。

[0200] 在步骤S131中, 具体可在每次迭代时从无人机集合 $\mathcal{N}$ 中随机选择一个无人机 $n$ , 将其载波传输功率 $p_n$ 调整到最大。

[0201] 在步骤S132中, 具体可从无人机 $n$ 的可选位置集 $S_{1n}$ 中随机选一个位置策略 $l_n$ , 更新此时的无人机位置状态  $(x_n, y_n, h_n)$ , 其他无人机位置状态不变。

[0202] 在步骤S132与步骤S133中, 具体可根据前文所提及的公式一计算所选无人机当前

位置下的效用 $u_{1n}(l_n(i), l_{-n}(i))$ 和预期位置下的效用

[0203]  $u_{1n}(l_n^*(i), l_{-n}(i)), \forall l_n(i), l_n^*(i) \in S_{1n}$ 。

[0204] 具体实施过程中,步骤S135,可包括:

[0205] 若根据所述第一覆盖效用信息与所述第二覆盖效用信息确定当前的更新策略为第一更新策略,则:确定所述当前无人机的位置状态保持不变;

[0206] 若根据所述第一覆盖效用信息与所述第二覆盖效用信息确定当前的更新策略为第二更新策略,则:确定所述当前无人机的位置状态所表征的位置变化为所述当前预期状态。

[0207] 请参考图5,步骤S135的过程具体可例如:

[0208] S1351:根据所述第一覆盖效用信息与所述第二覆盖效用信息确定当前的更新策略;

[0209] S1352:当前的更新策略是否为第一更新策略;

[0210] 若步骤S1352的判断结果为是,则可实施步骤S1353:确定所述当前无人机的位置状态保持不变;

[0211] 若步骤S1353的判断结果为否,则可实施步骤S1354:当前的更新策略是否为第二更新策略;

[0212] 若步骤S1354的判断结果为是,则可实施步骤S1355:确定所述当前无人机的位置状态所表征的位置变化为所述当前预期状态。

[0213] 步骤S1351中当前的更新策略是根据以概率信息确定的,其中的概率信息是根据以下函数确定的:

$$[0214] \quad \begin{cases} P(l_n(i+1) = l_n(i)) = \frac{e^{\alpha u_{1n}(l_n(i))}}{e^{\alpha u_{1n}(l_n(i))} + e^{\alpha u_{1n}(l_n^*(i))}}; \\ P(l_n(i+1) = l_n^*(i)) = \frac{e^{\alpha u_{1n}(l_n^*(i))}}{e^{\alpha u_{1n}(l_n(i))} + e^{\alpha u_{1n}(l_n^*(i))}} \end{cases}$$

[0215] 其中:

[0216]  $i$ 表示第 $i$ 次迭代更新;

[0217]  $l_n(i)$ 表示第 $n$ 个无人机在第 $i$ 次迭代更新时当前位置状态所表征的位置;

[0218]  $l_n^*(i)$ 表示第 $n$ 个无人机在第 $i$ 次迭代更新时的当前预期位置;

[0219]  $\alpha$ 为自定义的学习参数;通过设定其大小,可以使得算法在探索和选择中有所折中,这样既保证了收敛的效果,也提升了收敛的速度;

[0220]  $u_{1n}(l_n(i))$ 为当前位置状态的覆盖效用信息;

[0221]  $u_{1n}(l_n^*(i))$ 为当前预期位置的覆盖效用信息;

[0222]  $P(l_n(i+1) = l_n(i))$ 为第一概率信息,表示了采用第一更新策略的概率;

[0223]  $P(l_n(i+1) = l_n^*(i))$ 为第二概率信息,表示了采用第二更新策略的概率。

[0224] 一种举例中,可通过比较第一概率信息与第二概率信息的大小来选择当前的更新策略,例如:若第一概率信息大于第二概率信息,则选择第一更新策略,反之,则选择第二更新策略;再一举例中,也可结合第一概率信息与第二概率信息的差值来选择当前的更新策略,例如:若第一概率信息大于第二概率信息,且差值大于一定阈值,则选择第一更新策略,



反之,则选择第二更新策略;又例如:若第二概率信息大于第一概率信息,且差值大于一定阈值,则选择第二更新策略,反之,则选择第一更新策略。

[0225] 其他举例中,也可结合以上概率信息计算出其他用于选择更新策略的判断数值。

[0226] 以上函数的公式可视为概率公式,也可视为依概率更新的判别函数。

[0227] 可见,在以上步骤S135中,可根据两个效用值建立策略选择概率公式,根据该概率进行位置更新至下一状态 $s_n(i+1)$ 。

[0228] 可见,对于无人机群的覆盖收益与开销折中问题进行博弈求解,设计了基于对数线性学习的无人机群节能部署算法。在传输开销的约束下,通过部署无人机群的飞行位置,提高无人机之间高效覆盖的合作收益,从而寻找到无人机群覆盖效用最大位置解。

[0229] 综上,本发明实施例提供的多无人机合作的空基无线信号覆盖部署方法中,在选择所部署的目标位置时,能够以各种候选位置的组合可能性下无人机的覆盖效用信息为依据确定该目标位置,进而,可基于所确定的目标位置来部署多无人机,其中,由于覆盖效用信息与对应无人机处于相应位置时所覆盖的任务量,以及满足其所覆盖的任务量所需消耗的传输开销相关联,本发明部署时能够充分考虑实际可能的任务量与传输开销,准确描述了空地状态变化对无人机效用的影响。

[0230] 图6是本发明一实施例中多无人机合作的空基无线信号覆盖部署装置的程序模块示意图。

[0231] 请参考图6,多无人机合作的空基无线信号覆盖部署装置200,包括:

[0232] 实际位置确定模块201,用于确定N个无人机的实际位置;

[0233] 候选位置确定模块202,用于根据所述N个无人机的实际位置,确定所述N个无人机所有候选位置;

[0234] 目标位置确定模块203,用于在所述N个无人机的候选位置的部分或全部组合中,根据各种组合下无人机的覆盖效用信息,确定目标组合,所述目标组合中记载了所述N个无人机中每个无人机的目标位置,所述覆盖效用信息与对应无人机处于相应位置时所覆盖的任务量,以及满足其所覆盖的任务量所需消耗的传输开销相关联;

[0235] 部署模块204,用于根据所述N个无人机各自的目标位置,部署所述N个无人机。

[0236] 可选的,所述目标位置确定模块203,具体用于:

[0237] 随机在所述N个无人机中选择一个当前无人机;

[0238] 在所述当前无人机的所有候选位置中,随机选择一个当前预期位置;

[0239] 计算第一覆盖效用信息;所述第一覆盖效用信息为所述当前无人机当前位置状态的覆盖效用信息,其中的位置状态表征了对应的无人机当前被确定的位置,每个无人机初始的位置状态所表征的位置为其实际位置;

[0240] 计算第二覆盖效用信息,所述第二覆盖效用信息为所述当前无人机到达所述当前预期位置,且所述N个无人机中除所述当前无人机之外的其余无人机的位置均不变的情况下,所述当前无人机的覆盖效用信息;

[0241] 根据所述第一覆盖效用信息与所述第二覆盖效用信息,更新所述当前无人机的位置状态;

[0242] 多次重复以上过程,以在每次重复后更新一次所述N个无人机的位置状态;

[0243] 确定所述N个无人机最终的位置状态所表征的位置为所述目标位置。

[0244] 可选的,所述目标位置确定模块203,具体用于:

[0245] 若根据所述第一覆盖效用信息与所述第二覆盖效用信息确定当前的更新策略为第一更新策略,则:确定所述当前无人机的位置状态保持不变;

[0246] 若根据所述第一覆盖效用信息与所述第二覆盖效用信息确定当前的更新策略为第二更新策略,则:确定所述当前无人机的位置状态所表征的位置变化为所述当前预期状态。

[0247] 可选的,所述当前的更新策略是根据以概率信息确定的,其中的概率信息是根据以下函数确定的:

$$[0248] \quad \begin{cases} P(l_n(i+1) = l_n(i)) = \frac{e^{\alpha u_{1n}(l_n(i))}}{e^{\alpha u_{1n}(l_n(i))} + e^{\alpha u_{1n}(l_n^*(i))}}; \\ P(l_n(i+1) = l_n^*(i)) = \frac{e^{\alpha u_{1n}(l_n^*(i))}}{e^{\alpha u_{1n}(l_n(i))} + e^{\alpha u_{1n}(l_n^*(i))}} \end{cases};$$

[0249] 其中:

[0250] i表示第i次迭代更新;

[0251]  $l_n(i)$ 表示第n个无人机在第i次迭代更新时当前位置状态所表征的位置;

[0252]  $l_n^*(i)$ 表示第n个无人机在第i次迭代更新时的当前预期位置;

[0253]  $\alpha$ 为自定义的学习参数;

[0254]  $u_{1n}(l_n(i))$ 为当前位置状态的覆盖效用信息;

[0255]  $u_{1n}(l_n^*(i))$ 为当前预期位置的覆盖效用信息;

[0256]  $P(l_n(i+1) = l_n(i))$ 为第一概率信息,表示了采用第一更新策略的概率;

[0257]  $P(l_n(i+1) = l_n^*(i))$ 为第二概率信息,表示了采用第二更新策略的概率。

[0258] 可选的,所述覆盖效用信息是根据以下公式确定的:

$$[0259] \quad u_{1n}(l_n, l_n) = \sum_{j \in l_n^*} \beta_j [1 - \prod_k (1 - q_j(l_n))] - \rho \cdot \beta_j;$$

[0260] 其中:

[0261]  $l_n$ 表示了无人机n的三维位置  $(x_n, y_n, h_n)$ ;

[0262] j表示了第j个地面用户;

[0263]  $\beta_j$ 为地面用户j的任务量;

[0264]  $\rho$ 为预设的表示任务收益和传输开销的重要性的参数;

[0265]  $q_j(l_n)$ 表示了无人机n在位置是 $l_n$ 时对地面用户j的覆盖成功的概率, $q_j(l_k)$ 表示了其中n取k时,无人机k在位置是 $l_k$ 时对地面用户j的覆盖成功的概率。

[0266] 可选的,其中的 $q_j(l_n)$ 是通过以下公式确定的:

$$[0267] \quad q_j(l_n) = P_{Los,n} Q\left(\frac{P_{\min} + L_{dB} - p_n - G + \mu_{Los}}{\sigma_{Los}}\right) + P_{NLos,n} Q\left(\frac{P_{\min} + L_{dB} - p_n - G + \mu_{NLos}}{\sigma_{NLos}}\right);$$

[0268] 其中:

[0269]  $P_{Los,n}$ 为无人机n的视距链路概率;

[0270]  $P_{\text{Los},n}$ 表示为:  $P_{\text{Los},n} = 1/(1 + C \exp(-D(\varphi_n - C)))$

[0271] C和D是取决于环境的常量;

[0272]  $\varphi_n$ 为地面任务的区域与无人机n之间的仰角;

[0273]  $R_{\text{NLos},n}$ 为无人机n的非视距链路概率;

[0274]  $P_{\text{NLos},n}$ 表示为:  $P_{\text{NLos},n} = 1 - P_{\text{Los},n}$ ;

[0275]  $p_{\text{min}}$ 是无人机n一次成功探测所需要的最小传输功率;

[0276]  $L_{\text{dB}} = 10 \cdot n_0 \log(4\pi f_c d_{n,i}/c)$  且  $L_{\text{dB}}$  表示无人机n的空对地通信传输的路径损耗;

[0277]  $n_0$ 为路径损耗系数;

[0278]  $f_c$ 为无人机n的工作载频;

[0279]  $d_{n,j}$ 为无人机n和地面用户j对应的任务区域点的直线距离;

[0280] c为电磁波传输速率;

[0281]  $p_n$ 为无人机n的传输功率;

[0282] G为无人机n的天线增益;

[0283]  $(\mu_{\text{Los}}, \sigma_{\text{Los}})$  表示视距链路LOS下阴影衰落的均值与方差;

[0284]  $(\mu_{\text{NLos}}, \sigma_{\text{NLos}})$  表示非视距链路NLOS下阴影衰落的均值与方差;

[0285]  $Q(\cdot)$  表示标准正态分布的右尾函数。

[0286] 综上,本发明实施例提供的多无人机合作的空基无线信号覆盖部署装置中,在选择所部署的目标位置时,能够以各种候选位置的组合可能性下无人机的覆盖效用信息为依据确定该目标位置,进而,可基于所确定的目标位置来部署多无人机,其中,由于覆盖效用信息与对应无人机处于相应位置时所覆盖的任务量,以及满足其所覆盖的任务量所需消耗的传输开销相关联,本发明部署时能够充分考虑实际可能的任务量与传输开销,准确描述了空地状态变化对无人机效用的影响。

[0287] 图7是本发明一实施例中电子设备的构造示意图。

[0288] 请参考图7,提供了一种电子设备30,包括:

[0289] 处理器31;以及,

[0290] 存储器32,用于存储所述处理器的可执行指令;

[0291] 其中,所述处理器31配置为经由执行所述可执行指令来执行以上所涉及的方法。

[0292] 处理器31能够通过总线33与存储器32通讯。

[0293] 本发明实施例还提供了一种计算机可读存储介质,其上存储有计算机程序,该程序被处理器执行时实现以上所涉及的方法。

[0294] 本领域普通技术人员可以理解:实现上述各方法实施例的全部或部分步骤可以通过程序指令相关的硬件来完成。前述的程序可以存储于一计算机可读取存储介质中。该程序在执行时,执行包括上述各方法实施例的步骤;而前述的存储介质包括:ROM、RAM、磁碟或者光盘等各种可以存储程序代码的介质。

[0295] 最后应说明的是:以上各实施例仅用以说明本发明的技术方案,而非对其限制;尽管参照前述各实施例对本发明进行了详细的说明,本领域的普通技术人员应当理解:其依然可以对前述各实施例所记载的技术方案进行修改,或者对其中部分或者全部技术特征进行等同替换;而这些修改或者替换,并不使相应技术方案的本质脱离本发明各实施例技术

方案的范围。

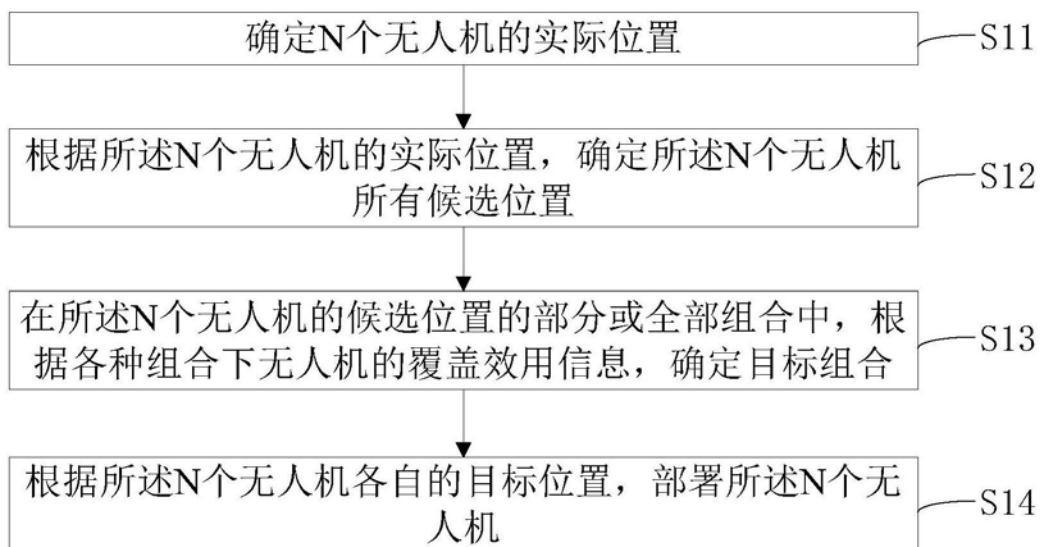


图1

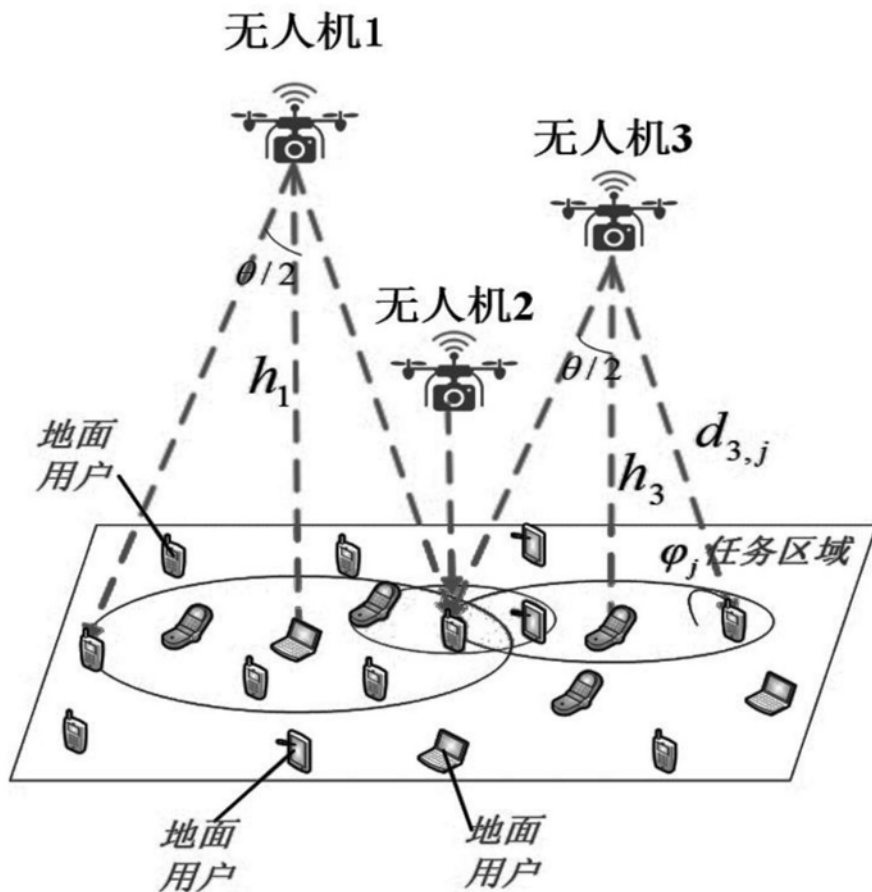


图2

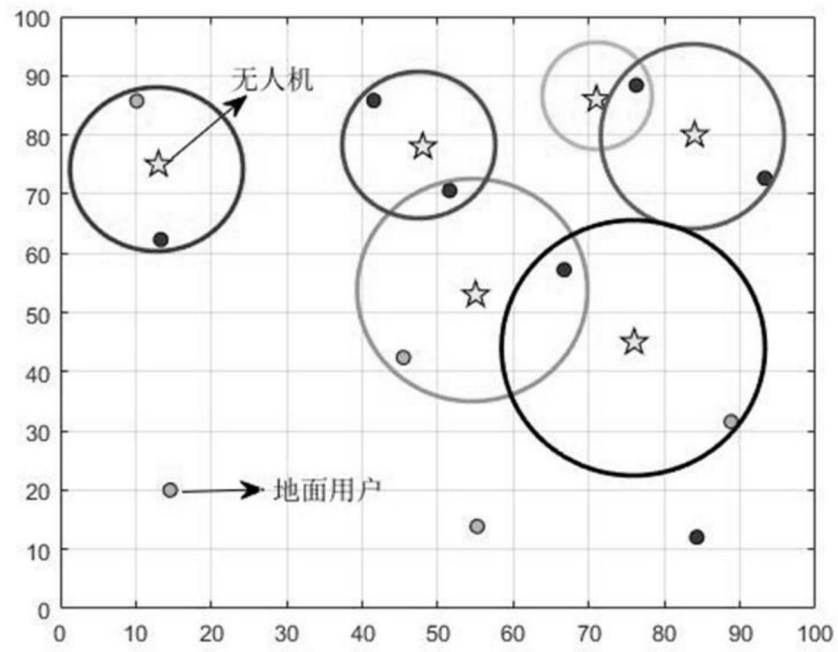


图3

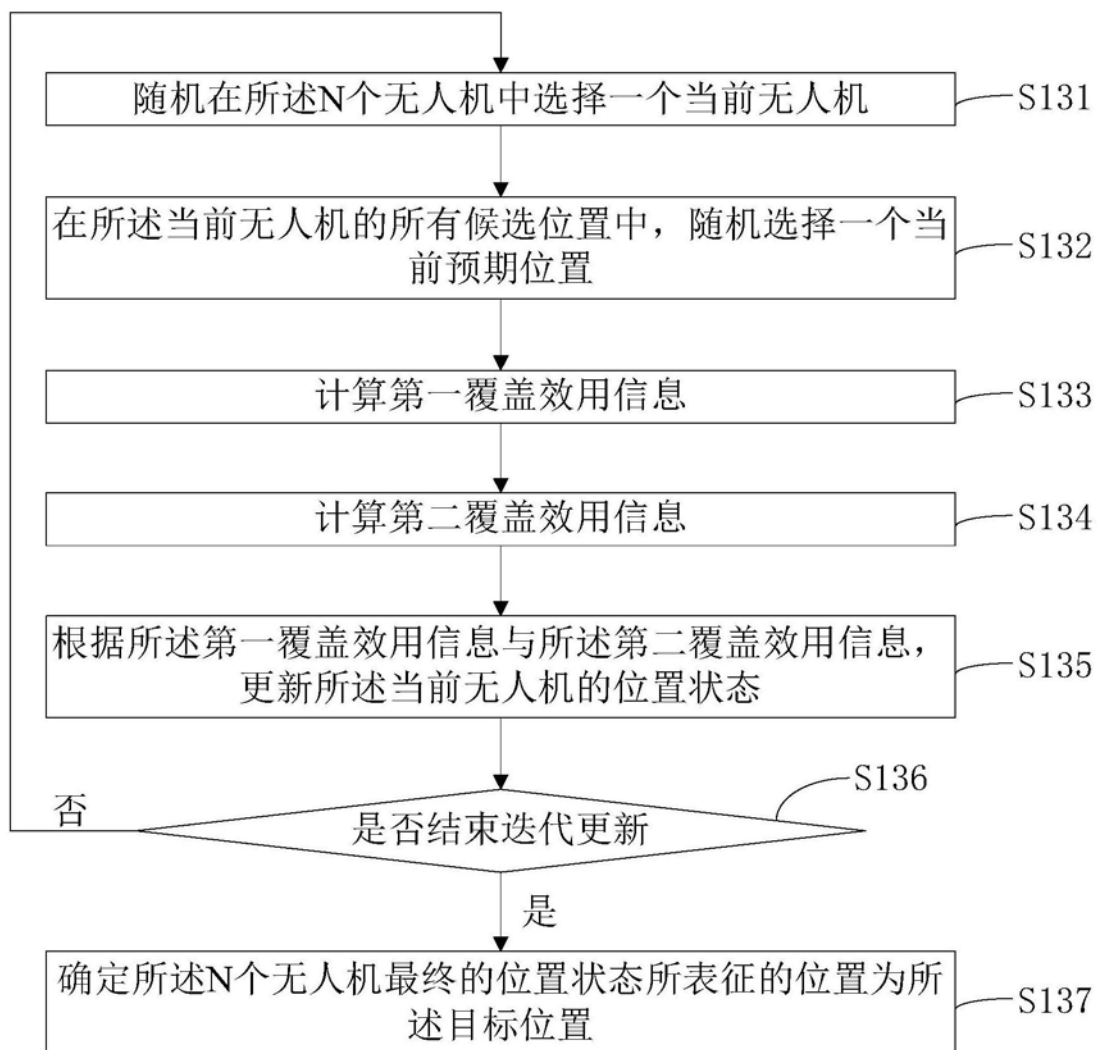


图4

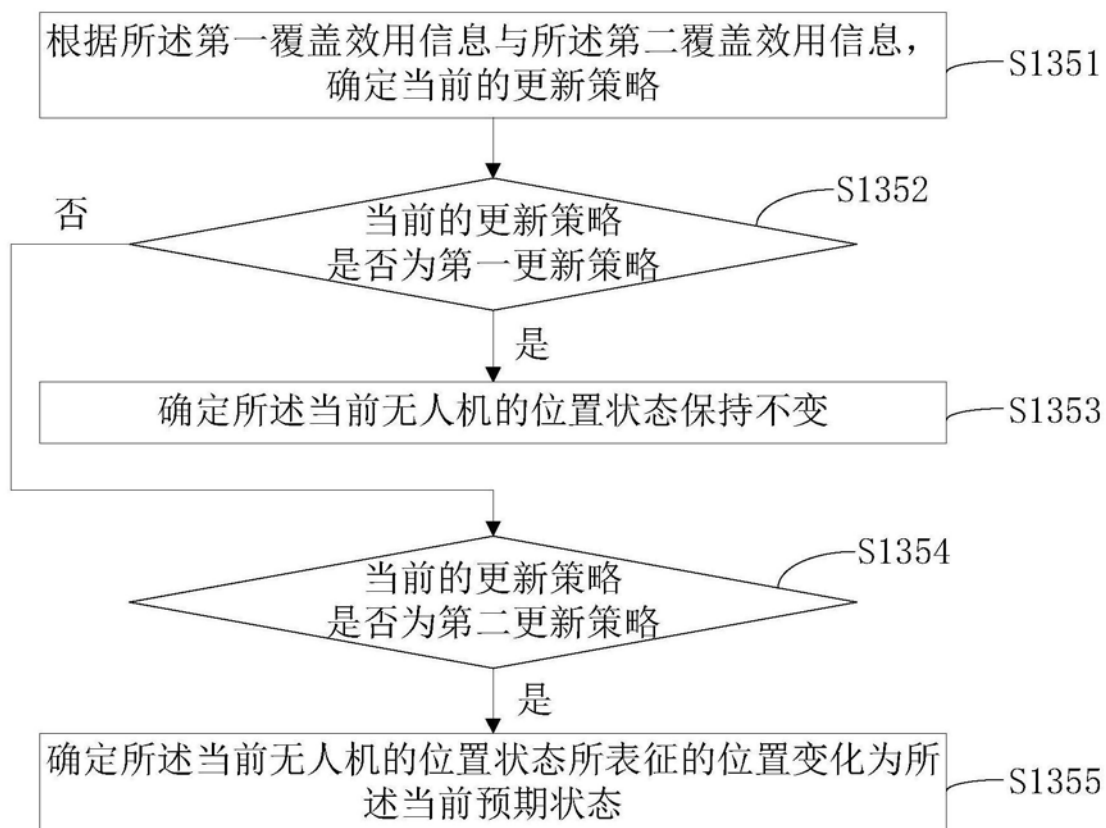


图5

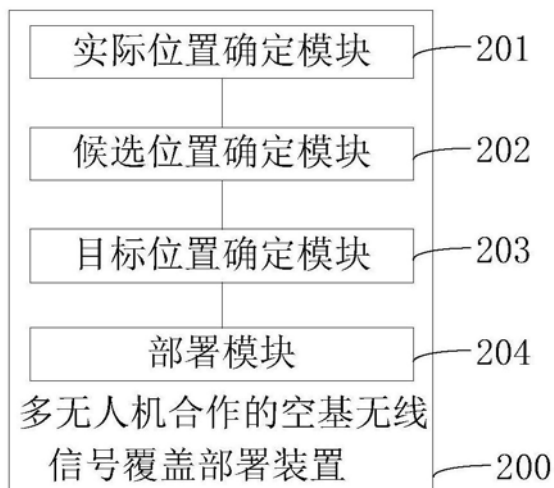


图6



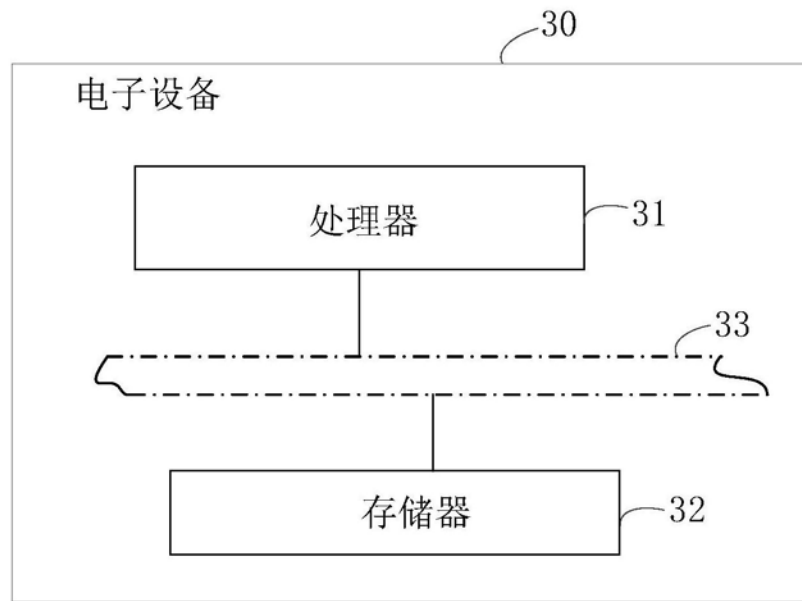


图7