

基于多无人机协同的草原修复方法研究

国创项目答辩汇报

袁雨辰 林华康 王贤义 陈鑫安

兰州大学信息科学与工程学院

2023 年 9 月 28 日



① 项目背景

② 项目内容

③ 项目方案

④ 参考文献



① 项目背景

② 项目内容

③ 项目方案

④ 参考文献



项目背景

- 草原是地球上最重要的陆地生态系统之一，被誉为“地球的皮肤”。草原既是农牧业发展的基础，也是生态安全的主要屏障，它在维护生态和保障民生等方面都发挥着至关重要的作用。对于生态而言，草原具有防风固沙、涵养水源、固碳释氧、调节气候、美化环境及维护生物多样性等重要功能。
[?]

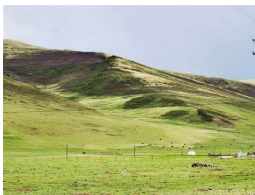


图 1: 草原修复前

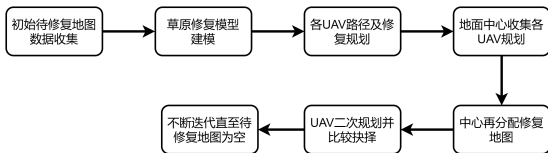


图 2: 草原修复后



项目背景

多UAV协同的草原修复方法是从草原修复的实际需求出发，结合草原生态环境特点和UAV发展的前沿技术提炼而成的。由于目前国内外针对多UAV协同的草原修复技术的研究工作尚不多见，本项目重点围绕草原信息化设备不完善、草原监测数据收集难度大等问题，尝试采用无人机作为移动数据收集设备，通过实时调度来实现监测数据收集。该项目为草原监测数据收集提供了切实可行的解决方案，有助于提升草原的智慧化水平，助力打造人、畜和自然和谐发展的生态系统。[?][?]



项目创新

- 求解方法：本项目借鉴强化学习指针网络求解PCTSP问题的思路，通过对网络结构的创新设计求出问题的较优解。
- 模型创新：本项目利用了无人机作为移动数据收集设备，设计了基于无人机的监测数据收集模型，实现了草原监测数据的实时调度和收集，避免了传统人工收集方式中可能存在的误差和盲区。
- 算法创新：该项目设计了一种新的路径规划算法，能够根据监测设备的地理位置信息、已经过路径，快速决策出一条可行的路径，进一步提高了算法的效率和准确性。



① 项目背景

② 项目内容

③ 项目方案

④ 参考文献



项目内容

本项目中，多个 UAV 携带种子、信号收发装置、充满电的电池和草原待修复区域的信息（包括面积和退化等级）等从基站出发，依次飞入事先规划的待修复区域访问每个待修复目标并进行修复作业，然后在保证有一定剩余能量时返回基站接受充电等服务，并为再次修复做准备，如图所示。

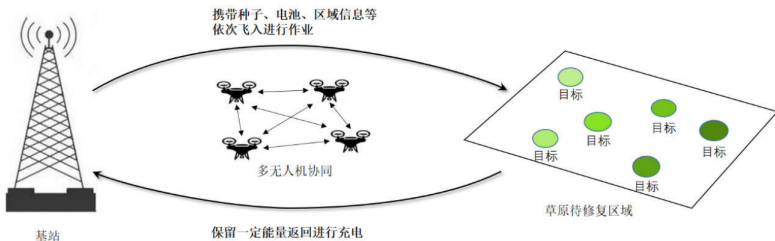


图 3: 多UAV协同的草原修复示意图



数学模型

通过文献调研与约束设置，本项目建立数学模型如下：

$$\min \sum_{j,k} r_k n_k \frac{V_j}{\theta_j} (x_{kj} - \theta_j)^2 + \sum_j p_j u_j - \lambda \sum_{j,k} r_k n_k x_{kj} c_{kj} \quad (??)$$

$$\text{s.t.} \quad \sum_{k \in \Gamma(j)} r_k n_k x_{kj} + u_j \geq d_j, \forall j \quad (\text{demand constraints}) \quad (1a)$$

$$\sum_{j \in \Gamma(k)} x_{kj} \leq 1, \forall k \quad (\text{supply constraints}) \quad (1b)$$

$$r_k x_{kj} \leq f_j, \forall k, j \quad (\text{frequency constraints}) \quad (1c)$$

$$n_k x_{kj} \leq 1, \forall k, j \quad (\text{slot constraints}) \quad (1d)$$

$$x_{kj}, u_j \geq 0, \forall k, j \quad (\text{non-negativity constraint}) \quad (1e)$$



① 项目背景

② 项目内容

③ 项目方案

④ 参考文献



项目方案

本项目拟围绕退化草原修复问题，通过研究UAV赋能的草原修复方法的机理和相应的优化算法，预期达到如下目标：

- 深入挖掘草原生态环境特性和UAV辅助技术的特点，研究切实可行的草原退化修复方法。
- 针对UAV电池能量受限约束，结合草原待修复区域的面积和退化程度等特性，结合UAV之间的信息共享机制，规划最优的UAV移动轨迹，提高UAV能量的使用效率，从而实现UAV修复尽可能大的退化面积而延长续航时间的目的。
- 针对较大范围内草原退化区域待修复的实际需求，充分考虑草原生态环境的特点和利用UAV修复退化区域的挑战，研究基于多智能体强化学习的多UAV协同的草原修复机制。



项目技术路线

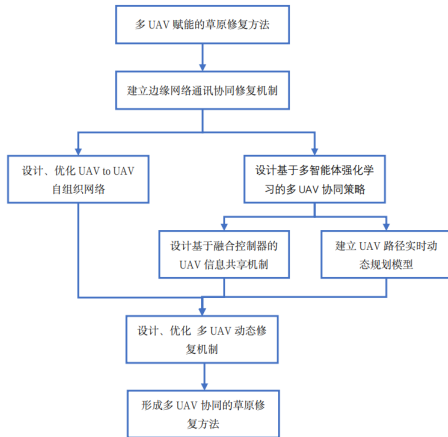


图 4: 项目技术路线



无人机信息共享机制

Algorithm 1: 多无人机协同调度算法

Input: 参数序列 $Parms$, 无人机修复地图集合 M_u , 无人机状态集合 S_u .

Output: 无人机访问的节点序列 O_p , 无人机修复的面积 O_a , 无人机剩余能量 O_e .

```

1  $P_u^{self} = FlyToPoint(P_u^{near0})$     /*---无人机飞往距起点最近的点---*/
2 while  $M_u \neq \emptyset$  do
3    $E_u^{r1} = PlaningPath(M_u, P_u^{self})$     /*---无人机群第一次路径规划---*/
4    $SendToCenter(S_u, M_u, E_u^{r1})$     /*---无人机第一次上报中心---*/
5    $M_u^{imp} = updateMap(M_u^{global}, P_u^{self})$     /*---中心更新地图---*/
6    $RecvToUAV(M_u^{imp})$     /*---中心给无人机下发新地图---*/
7    $E_u^{r2} = PlaningPath(M_u^{imp}, P_u^{self})$     /*---无人机群第二次路径规划---*/
8    $SendToCenter(E_u^{r2})$     /*---无人机第二次上报中心---*/
9   if  $\sum_{u=1}^U E_u^{r2} \geq \sum_{u=1}^U E_u^{r1}$  then
10     $RecvToUAV(M_u^{imp})$     /*---无人机选择剩余能量更多的地图---*/
11     $M_u = M_u^{imp}$ 
12  end
13   $\sigma_{iu} = DecideArea(E_u^r, M_u)$     /*---无人机决策修复面积---*/
14   $ActionUAV(\sigma_{ui}, c_i, P_u^{self})$     /*---无人机在当前点执行修复和信息采集---*/
15   $DropPointFromMap(M_u, P_u^{self})$ 
16   $P_u^{self} = FlyToPoint(P_u^{benefit})$     /*---无人机飞往下个最优优点---*/
17 end
18  $FlyToPoint(P_u^0)$     /*---无人机返回起点---*/

```

图 5: 无人机信息共享算法



Actor-Critic(行动者-评论家)网络

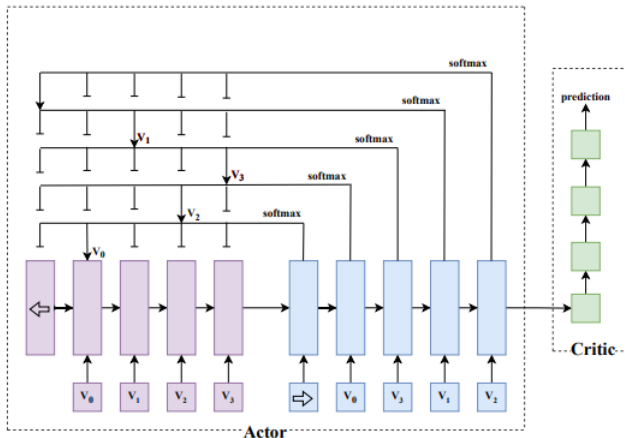


图 6: Actor-Critic网络结构



网络训练效果

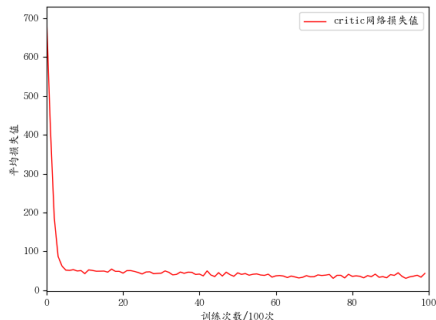
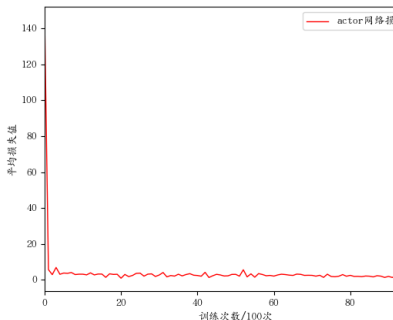


图 7: AC网络训练收敛效果



网络训练效果

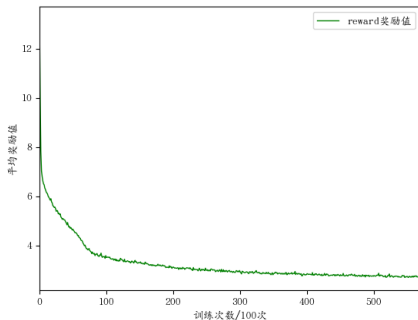


图 8: AC算法负收益收敛效果



模型可视化展示

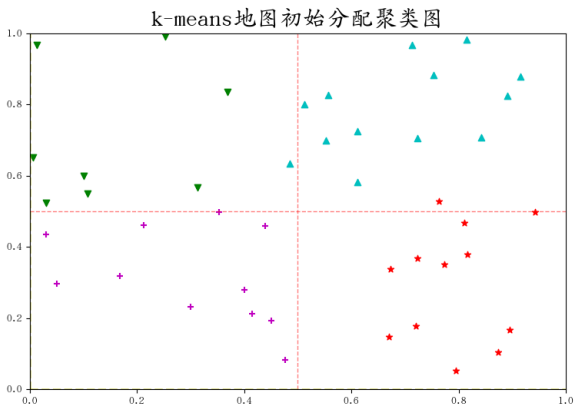


图 9: k-means聚类初始分配地图



模型可视化展示

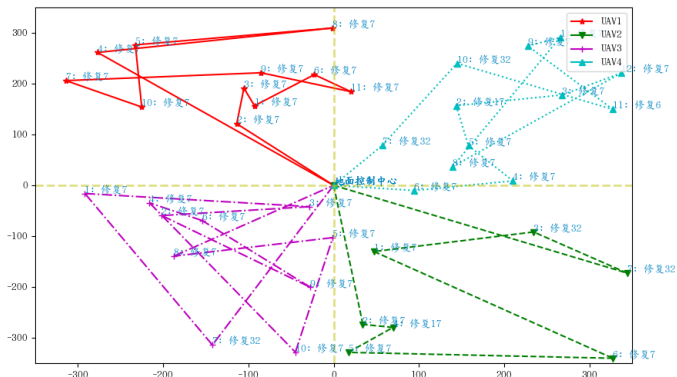


图 10: 无人机在700x700场地修复模拟



① 项目背景

② 项目内容

③ 项目方案

④ 参考文献





Thanks!

