

# 毕业论文答辩

## 模型性能改进

王贤义

2025 年 5 月 12 日

- 草原生态系统在环境保护中的重要性
  - 占全球陆地总面积 26% 至 40%
  - 防风固沙、涵养水源、调节气候、维持生物多样性
- 草原退化问题
  - 植被覆盖率下降、土壤沙化、水资源减少
  - 传统修复方法效率低、成本高
- 无人机技术优势
  - 机动性强、成本低、可远程操作
  - 适用于复杂地形和偏远区域

- 无人机能源限制
  - 电池续航能力有限
  - 载重能力受限
- 修复效率优化
  - 如何在有限能源条件下最大化修复面积
  - 播种负载与能耗之间的复杂关系
- 多无人机协同
  - 任务分配与路径规划问题
  - 动态调度与实时决策

- 草原建模为无向图  $G = (V, E)$ 
  - $V = \{v_0, v_1, \dots, v_N\}$  表示修复区域
  - $v_0$  为地面信息融合中心
  - 每个区域有位置、退化度、面积属性
- 无人机特性
  - 起飞能量:  $E_{max}$
  - 草种重量:  $Q$
  - 退化程度范围:  $[0.3, 0.8]$

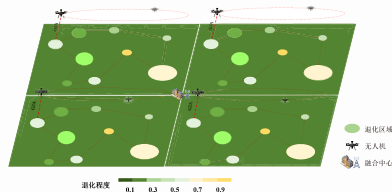


图 1: 无人机草原修复区域示意

$$P(\bar{q}_{ij}) = (M + \bar{q}_{ij})^{\frac{3}{2}} \sqrt{\frac{g^3}{2\rho\varsigma h}} \quad (\text{功率方程})$$

$$E_f = \sum_{i=0}^N \sum_{j \neq i}^N e_{ij}^f d_{ij} x_{ij} \quad (\text{飞行能耗})$$

$$E_s = \sum_{i=1}^N \sum_{j \neq i}^N \sigma_i e_i x_{ij} \quad (\text{播种能耗})$$

$$E_{ap} = e_{ap} \sum_{i=1}^N \sum_{j \neq i}^N x_{ij} \sigma_i \quad (\text{信息采集能耗})$$

- $M = W + m$ : 无人机框架与电池重量
- $\bar{q}_{ij}$ : 无人机当前载荷重量
- $\sigma_i$ : 在区域  $i$  修复的单位圆数量
- $x_{ij}$ : 0-1 变量, 表示路径选择

- 优化目标：最大化加权修复面积

$$C = \sum_{i=1}^N (l_i + 0.7) \cdot \sigma_i$$

- 核心约束条件

- 能量约束：总能耗不超过最大能量容量  $E_{max}$
  - 载荷约束：携带的草种必须在返回前全部播撒完毕
  - 路径约束：无人机最多进入每个区域一次
  - 面积约束：修复面积不超过区域最大面积
- 问题复杂性：多变量组合优化问题，直接求解困难

## 算法 1 多无人机协同调度算法

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

**Ensure:** 无人机访问的节点序列  $O_p$ , 修复面积  $O_a$ , 剩余能量  $O_e$

- 1:  $M_u^i \leftarrow$  初始化( $M_u$ )
  - 2:  $P_u^i \leftarrow$  初始化( $P_u$ )
  - 3: **while**  $M_u \neq \emptyset$  **do**
  - 4:    $E_u^{rel} \leftarrow$  路径规划( $M_u, P_u^{self}$ )
  - 5:   上报中心( $S_u, M_u, E_u^{rel}$ )
  - 6:    $M_u^{tmp} \leftarrow$  更新地图( $M_u^{global}, P_u^{self}$ )
  - 7:   下发新地图( $M_u^{tmp}$ )
  - 8:    $E_u^{r2} \leftarrow$  路径规划( $M_u^{tmp}, P_u^{self}$ )
  - 9:   上报中心( $E_u^{r2}, Area_u^{r2}$ )
  - 10:   **if**  $\sum_{u=1}^U Area_u^{r2} \geq \sum_{u=1}^U Area_u^{r1}$  **then**
  - 11:     下发新地图( $M_u^{tmp}$ )
  - 12:      $M_u \leftarrow M_u^{tmp}$
  - 13:   **end if**
  - 14:    $\sigma_u^{max\_p} \leftarrow$  决策修复面积( $E_u, M_u$ )
  - 15:   执行修复与采集( $\sigma_u^{max\_p}, C_{max\_p}, P_u^{max\_p}$ )
  - 16:   从地图移除( $M_u, P_u^{max\_p}$ )
  - 17:    $P_u^{max\_p} \leftarrow$  飞往下一个点( $P_u^{benefit}$ )
  - 18:   更新信号量( $P_u^{max\_p}$ )
  - 19: **end while**
  - 20: 返回起点( $P_u^0$ )
- ▷ 根据初始化方法 (如 K-means) 分配初始地图
  - ▷ 初始化无人机信号量以决定优先级
  - ▷ 第一次路径规划
  - ▷ 第一次上报中心
  - ▷ 下发新地图
  - ▷ 第二次路径规划
  - ▷ 选择修复面积更多的地图
  - ▷ 无人机返回起点

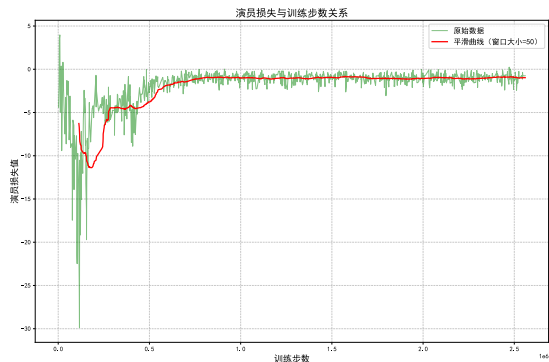


图 2: 训练过程中修复面积变化

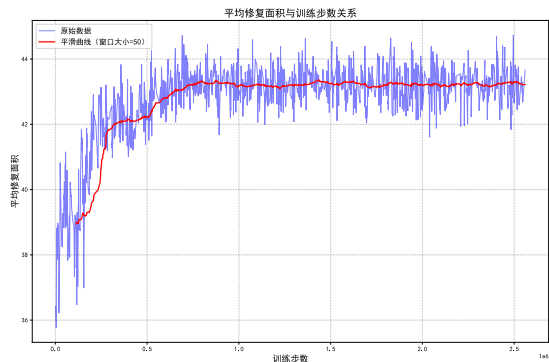
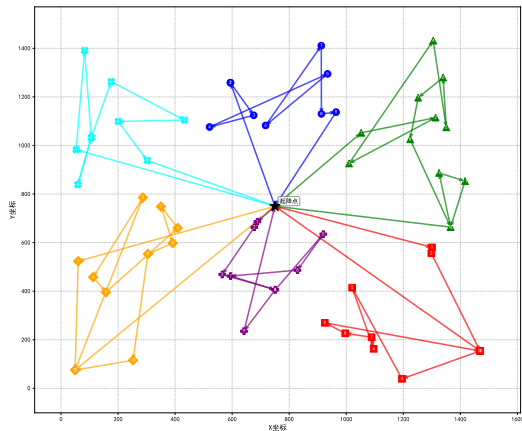


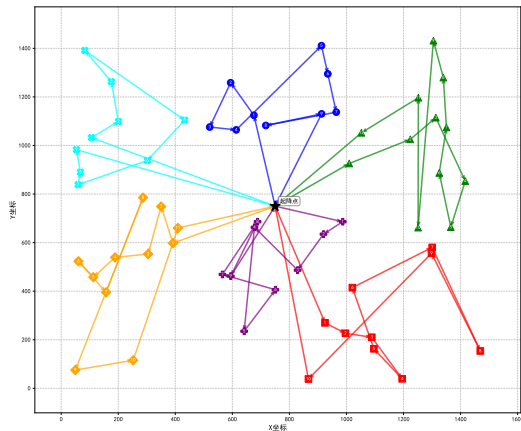
图 3: 训练过程中修复面积变化



# 实验结果 - 路径规划可视化



(a) DRL 方法



(b) SA 方法

图 4: 多无人机草原修复路径规划对比

表 1: 路径长度与修复面积对比 (DRL 与 CHAPBILM)

区域数	草原边长	无人机数	路径长度			修复面积		
			DRL	CHAPBILM	Gap(%)	DRL	CHAPBILM	Gap(%)
60	500	4	9396.35	12648.21	-25.68	267.00	194.00	37.63
		6	21348.69	19110.48	11.71	258.00	205.00	25.85
		8	26118.19	27145.66	-3.79	304.00	218.00	39.45
	600	4	13339.68	16255.96	-17.92	271.00	223.00	21.52
		6	26523.73	27174.68	-2.39	294.00	206.00	42.72
		8	31186.17	31494.13	-0.98	257.00	224.00	14.73
	700	4	17622.78	22103.46	-20.27	282.00	291.00	-3.09
		6	28252.23	28539.91	-1.01	270.00	218.00	23.85
		8	37585.42	36859.35	1.97	238.00	254.00	-6.30
80	500	4	10221.88	17217.03	-40.60	370.00	315.00	17.46
		6	22135.76	25252.45	-12.37	375.00	240.00	56.25
		8	30491.72	31922.23	-4.48	306.00	267.00	14.61
	600	4	15973.03	22825.91	-30.02	363.00	314.00	15.61
		6	29742.35	28044.73	6.05	406.00	282.00	44.00
		8	39943.98	40845.86	-2.21	399.00	269.00	48.33
	700	4	22577.68	26113.54	-13.56	335.00	267.00	25.47
		6	33566.63	34738.58	-3.38	380.00	298.00	27.52
		8	44308.24	42493.45	4.28	355.00	311.00	14.14

## ● 研究结论

- 提出基于深度强化学习的多无人机草原修复方法
- 构建 Transformer+ 指针网络架构，采用 Actor-Critic 训练
- 实验验证优于传统方法，修复面积提升最高可达 40%

## ● 未来展望

- 考虑地形、气候等环境因素对无人机性能的影响
- 进一步探索算法在更复杂环境下的适应性
- 结合实际场景验证，提高算法实用性
- 扩展至更多类型的生态修复任务

# Thanks for Listening!

*Questions & Comments Welcome*