



带窗口车辆路径 问题的研究

——基于蚁群算法和遗传算法求解

汇报人：葛昊

2024年4月29日





中国地质大学
CHINA UNIVERSITY OF GEOSCIENCES
武汉 · WUHAN



目录

01

问题描述

02

问题分析

03

蚁群算法求解

04

遗传算法求解

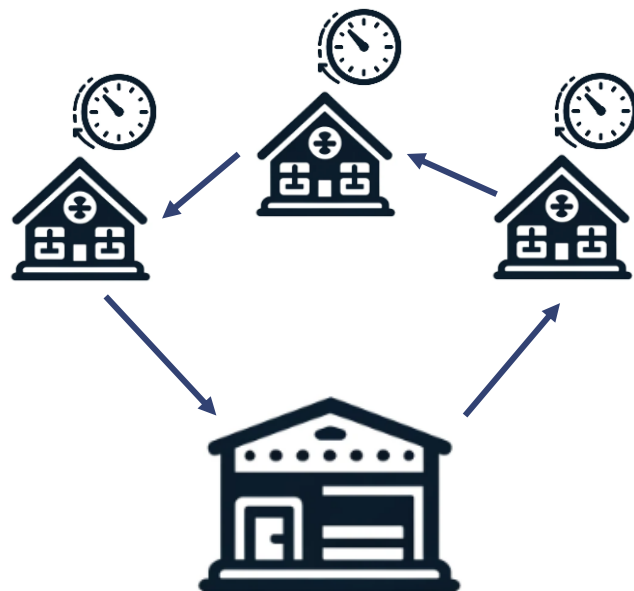
05

实验与总结

VRPTW (Vehicle Routing Problem with Time Windows) 是一种复杂的组合优化和数学规划问题，广泛应用于物流、配送和运输领域。该问题是经典的车辆路径问题 (VRP) 的一个扩展，它在考虑车辆路线最小化成本的同时，还引入了**服务时间窗**的概念，即每个配送点或客户都有特定的时间范围，在这个时间内必须开始服务。

主要特点：

1. 时间窗限制
2. 多车辆使用
3. 服务时间
4. 车辆装载量
5. 单配送中心



问题分析



参数:

$I = \{0, 1, 2, \dots, n\}$: 客户集合, 0表示配送中心

Q : 车辆最大装载量

$[a_i, b_i]$: 表示客户 i 的服务时间窗口

s_i : 表示服务第 i 位客户所需要的时间

d_{ij} : 表示客户 i, j 之间的距离, 即成本

q_i : 客户 i 的需求量

决策变量:

- x_{ij} : 如果车辆从客户 i 直接前往客户 j , 则 $x_{ij} = x_{ji}$; 否则为0。
- t_i : 车辆到达客户 i 的开始服务时间。

问题分析



优化目标: 最小化成本

$$\min \sum_{i=0}^n \sum_{j=0, j \neq i}^n d_{ij} x_{ij}$$

约束

1. 从配送中心出发, 返回配送中心

$$\sum_{j=1}^n x_{0j} = K, \quad \sum_{i=1}^n x_{i0} = K$$

2. 客户只被服务一次

$$\sum_{i=0, i \neq j}^n x_{ij} = 1, \quad \sum_{k=0, k \neq j}^n x_{jk} = 1 \quad \forall j \in I \setminus \{0\}$$

3. 时间窗约束

$$a_i \leq t_i \leq b_i \quad \forall i \in I$$

$$t_i + s_i + d_{ij} \leq t_j \quad \forall i, j \in I, x_{ij} = 1$$

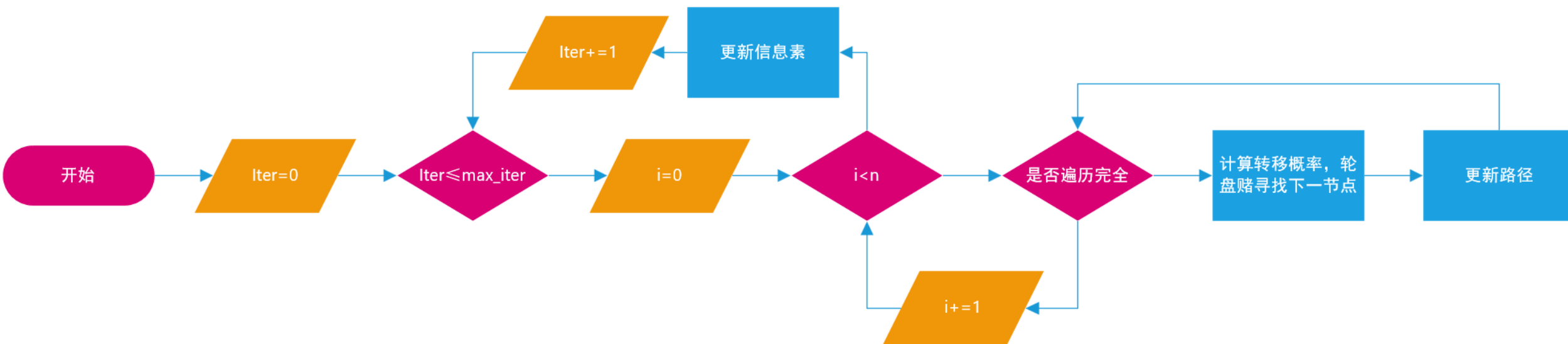
4. 容量约束

$$\sum_{i=1}^n q_i x_{ij} \leq Q \quad \forall j \in I$$

蚁群算法求解



中国地质大学
CHINA UNIVERSITY OF GEOSCIENCES
武汉 · WUHAN



$$p_{ij}^k = \frac{\tau_{ij}^{\alpha} \cdot \eta_{ij}^{\beta}}{\sum_{l \in allowed_k} \tau_{il}^{\alpha} \cdot \eta_{il}^{\beta}}$$

可见性函数 η 如何定义？

蚁群算法求解



中国地质大学
CHINA UNIVERSITY OF GEOSCIENCES
武汉 · WUHAN

由客户*i*走到客户*j*的四种情况：

• 完全合法 $\Rightarrow \frac{1}{d_{ij}}$

• 走到后还未达到客户*j*时间窗口 $\Rightarrow \frac{1}{a_j - t}$

$$\eta_{ij} = \begin{cases} \frac{1}{\max(d_{ij}, a_j - t)} & \text{完全合法或未到时间窗口} \\ 0 & \text{非法情况} \end{cases}$$

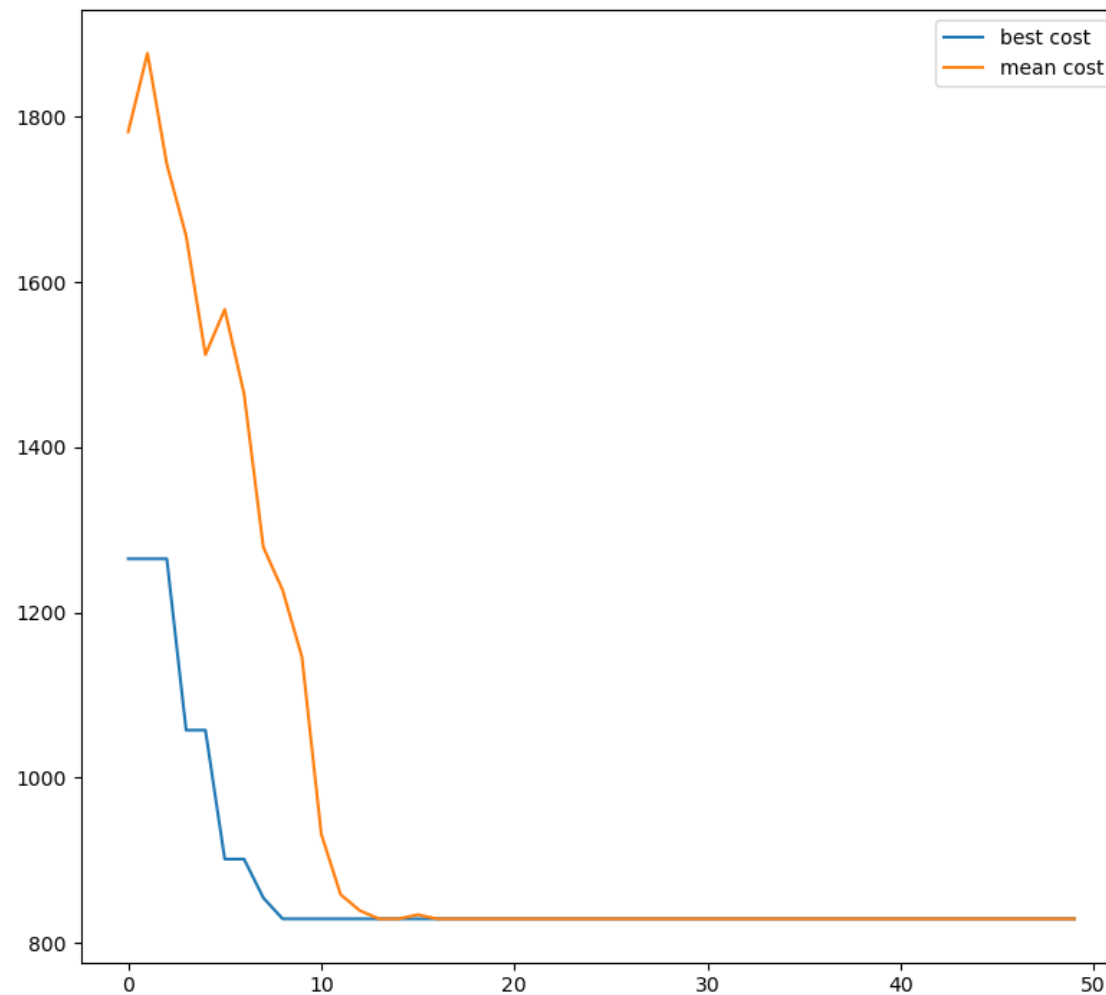
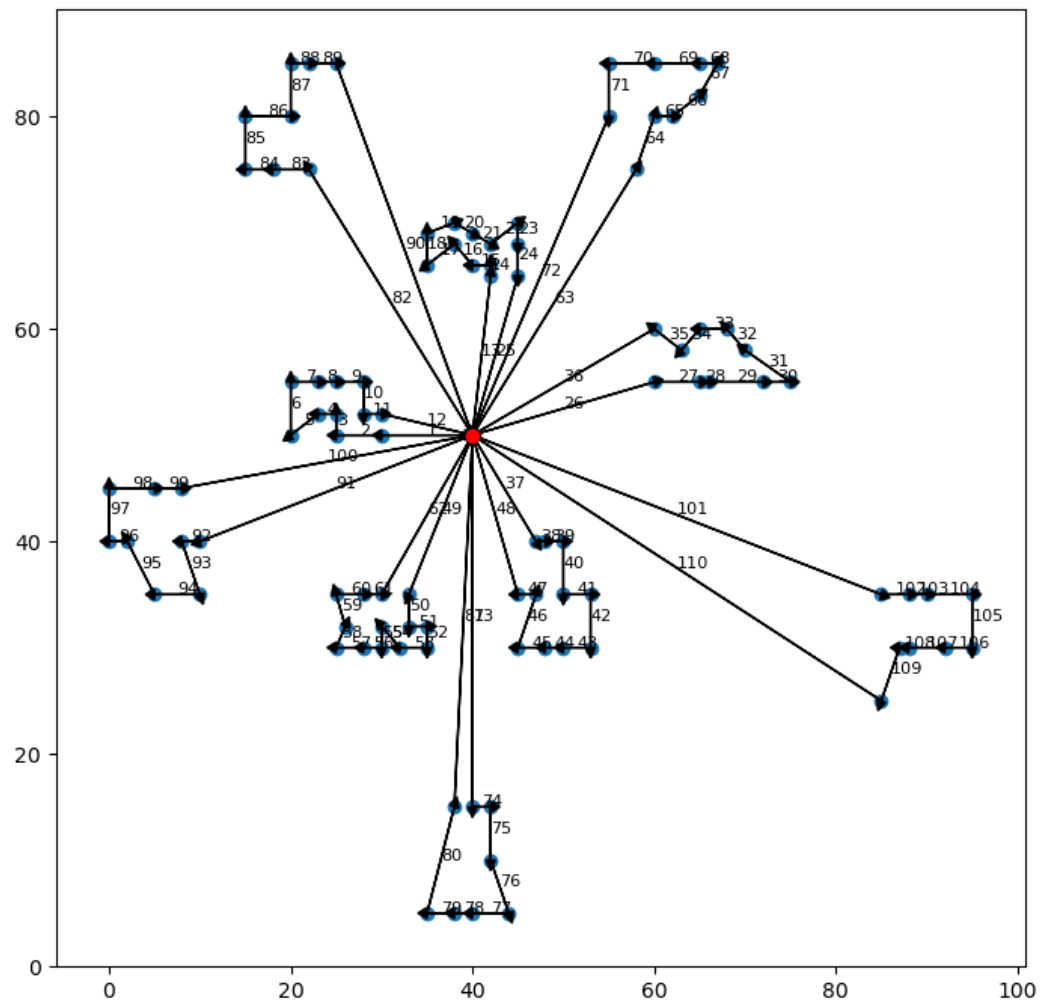
• 客户*j*时间窗口已过 $\Rightarrow 0$

• 超过车辆容量限制 $\Rightarrow 0$

蚁群算法求解结果



中國地質大學
CHINA UNIVERSITY OF GEOSCIENCES
武汉 · WUHAN

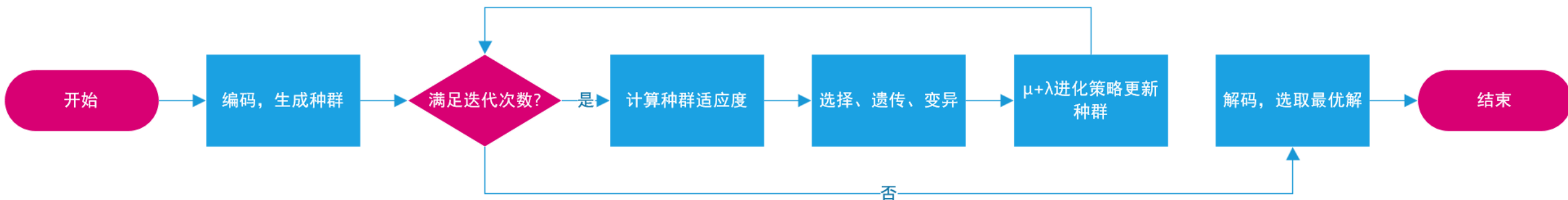


$$\alpha = 2, \beta = 3, \rho = 0.3$$

遗传算法求解



中國地質大學
CHINA UNIVERSITY OF GEOSCIENCES
武汉 · WUHAN



如何编/解码?

直观想法:

- 以遍历序列进行编码。
- 通过贪心的方式进行解码、求适应度值。
- 顺序交叉(Order Crossover)，随机变异

8,1,2,3,4,5,6,7

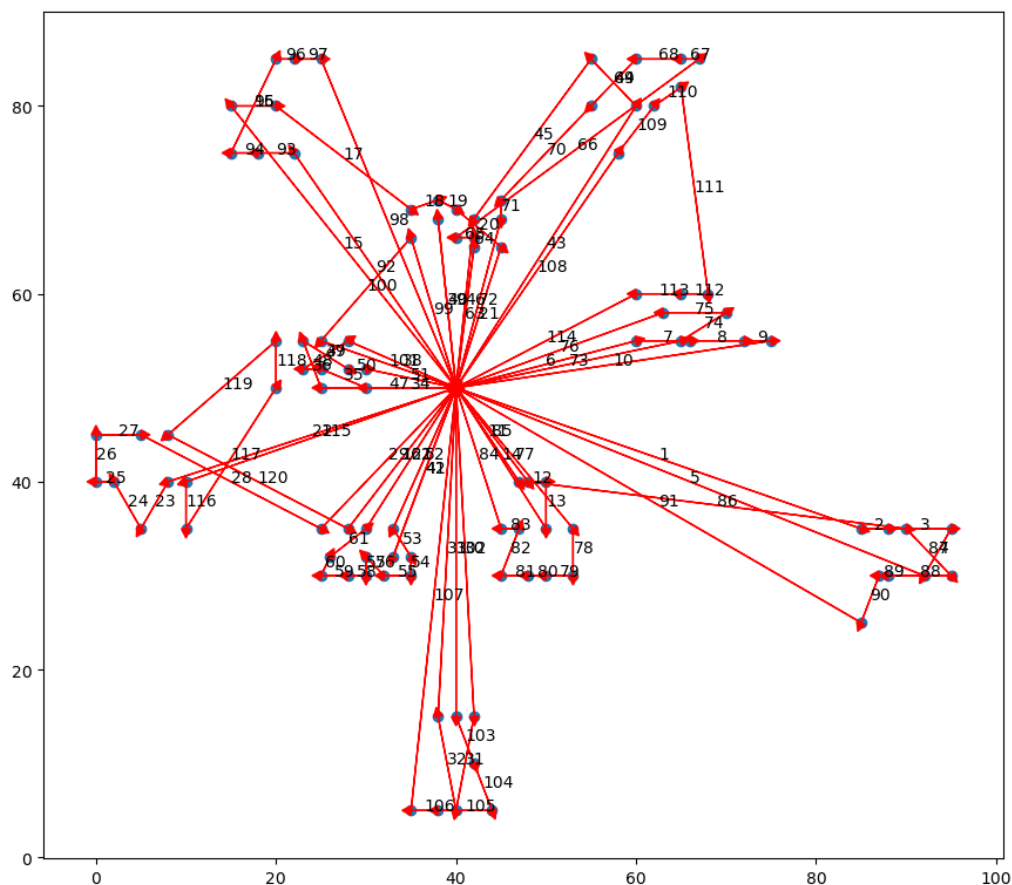
贪心解码

[8,1,2],[3,4,5],[6,7]

遗传算法运行结果



中国地质大学
CHINA UNIVERSITY OF GEOSCIENCES
武汉 · WUHAN



Cost: 1597 变异概率0.03, 杂交概率0.6

编码方式有局限性：

- 1、无法正确处理返回中心情况**
- 2、杂交、变异产生新解时随机性过强**
- 3、基于贪心的解码无法求得最优解**

- 1、通过DP的方式解码
- 2、LNS,2-opt等改进变异算子
- 3、将问题转换为车辆数目确定的VRPTW，配送中心加入编码中。
- 4、子路径杂交算子

改进方法



子路径交叉算子

亲本1: $[[8, 1, 2], [3, 4, 5], [6, 7]]$
亲本2: $[[3, 2, 1], [4, 8, 5], [7], [6]]$

随机挑选亲本1路径子集

亲本1: $[[3, 4, 5], [6, 7]]$
亲本2: $[[3, 2, 1], [4, 8, 5], [7], [6]]$

剔除亲本2中的重复元素

亲本1: $[[3, 4, 5], [6, 7]]$
亲本2: $[[2, 1], [8]]$

组合产生子代个体

子代个体: $[[8, 1, 2], [3, 4, 5], [6, 7]]$

改进变异算子

变异 1: 约束路线反转变异 (Constrained Route Reversal Mutation) 。

变异 2: 一种启发式引导操作。在每个子路线中，如果当前客户到下一个客户的距离大于预定义的阈值，从该客户开始切断子路线中的客户点。在完整路线的末尾添加一个被移除的客户作为一个子路线，并停止变异。这被称为通过检查客户点的距离阈值来添加额外的启发式，指导算法在大型解决方案空间中探索新的高效特征。

变异 3: 在完整路线中的每个客户点，根据合法随机概率，一次交换两个客户。

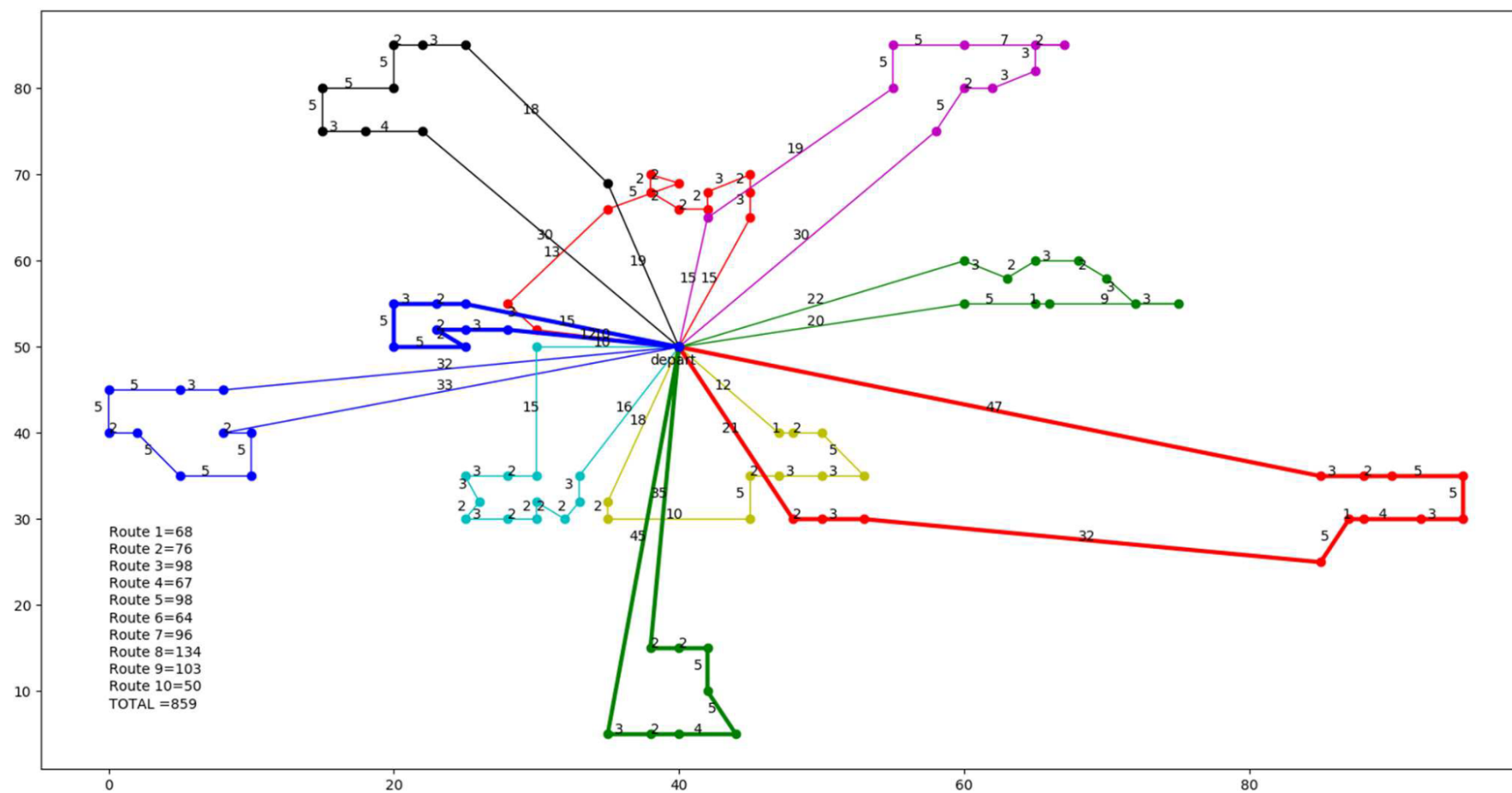
变异 4: 在完整路线中的每个客户点，根据合法随机概率，一次将当前客户移动到路线的末尾。

变异 5: 在每个子路线内部进行洗牌。

变异 6: 在每个子路线中的每个客户点，根据合法随机概率和特定指令，一次交换两个客户。

变异 7: 子路线的反转。

改进后结果



Solomon's VRPTW Benchmark Problems^[1]

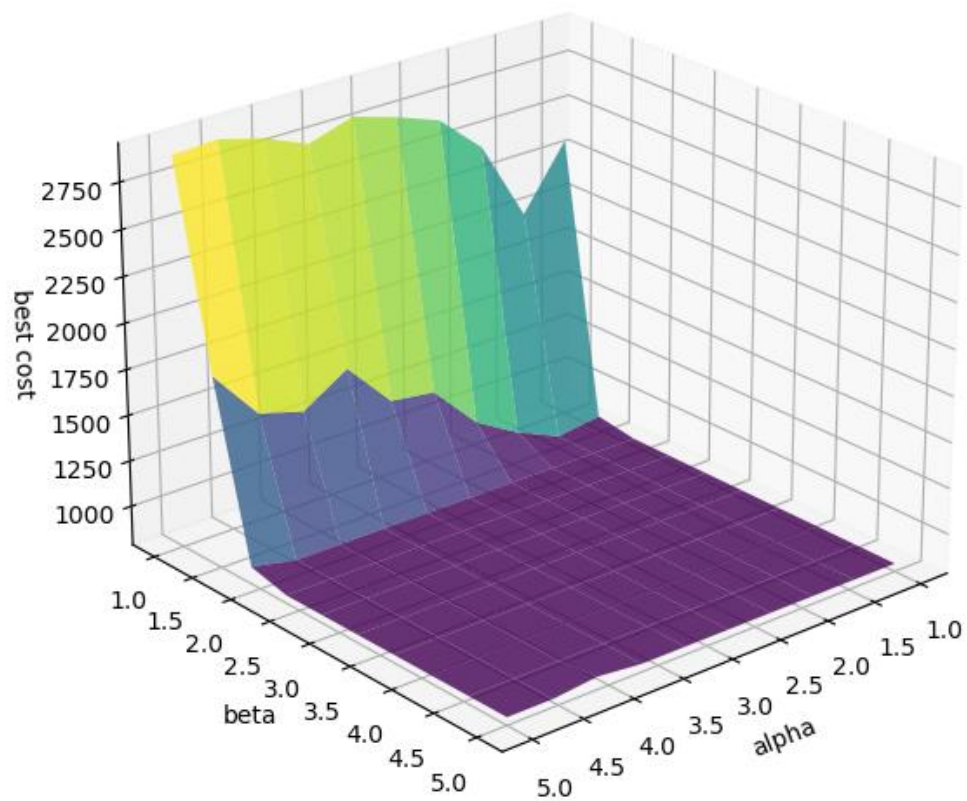
Problem Set	Random	Clustered	Random & Clustered
短调度窗口	R1-type	C1-type	RC1-type
长调度窗口	R2-type	C2-type	RC2-type

蚁群算法在具有明显聚类分布的数据上表现更优(C1,C2)

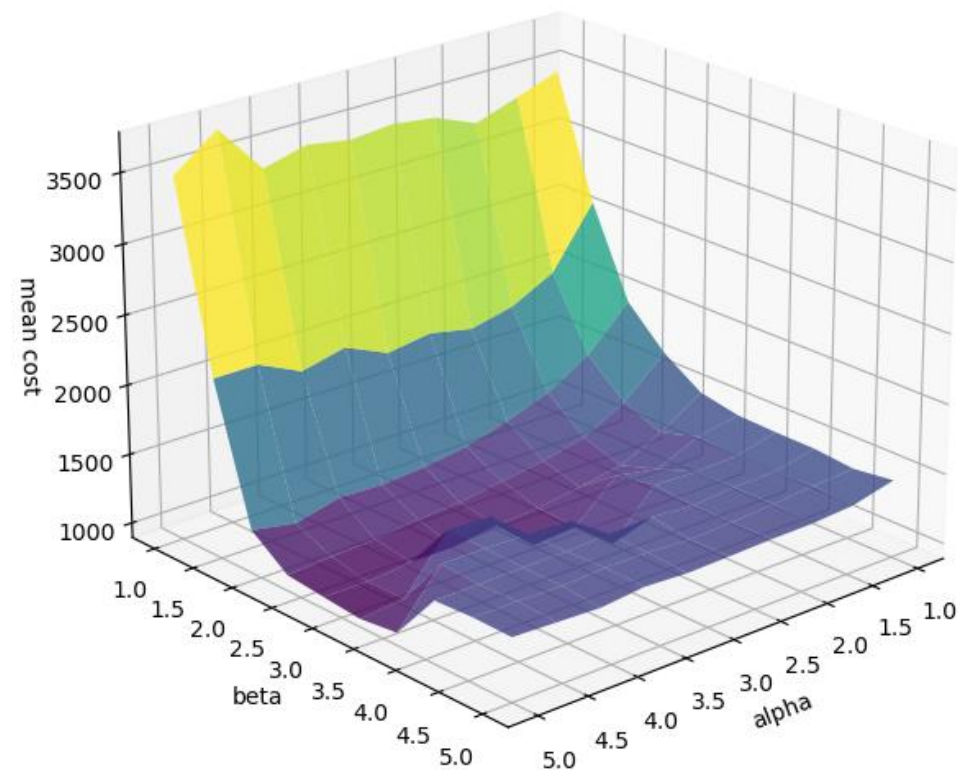
遗传算法则在随机分布数据上表现更优(R1,R2,RC1,RC2)

[1] <http://web.cba.neu.edu/~msolomon/problems.htm>

α, β 对蚁群算法在VRPTW问题的影响

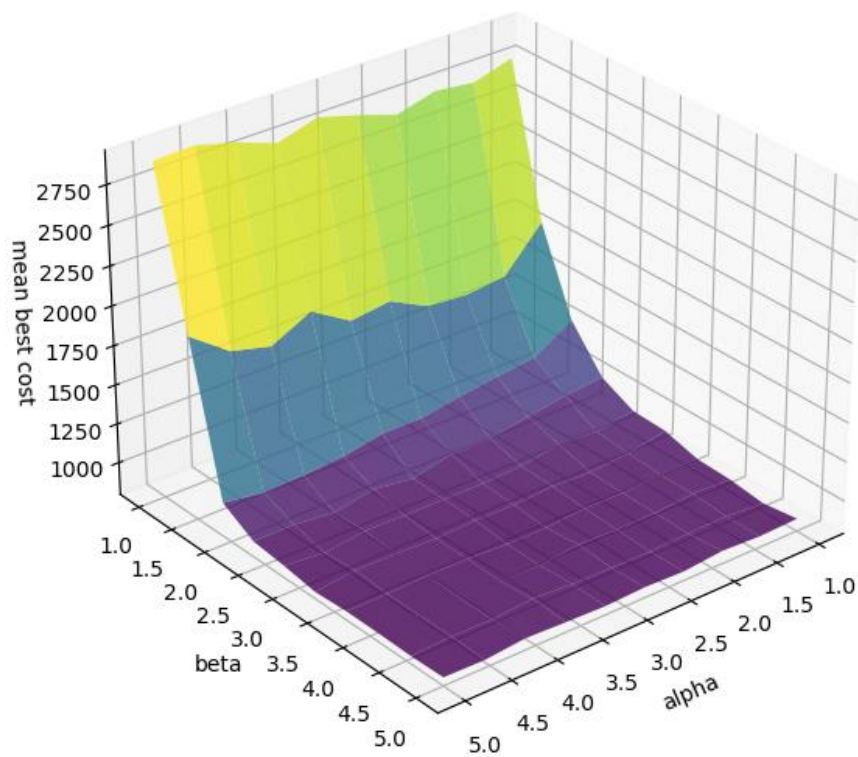


Best cost

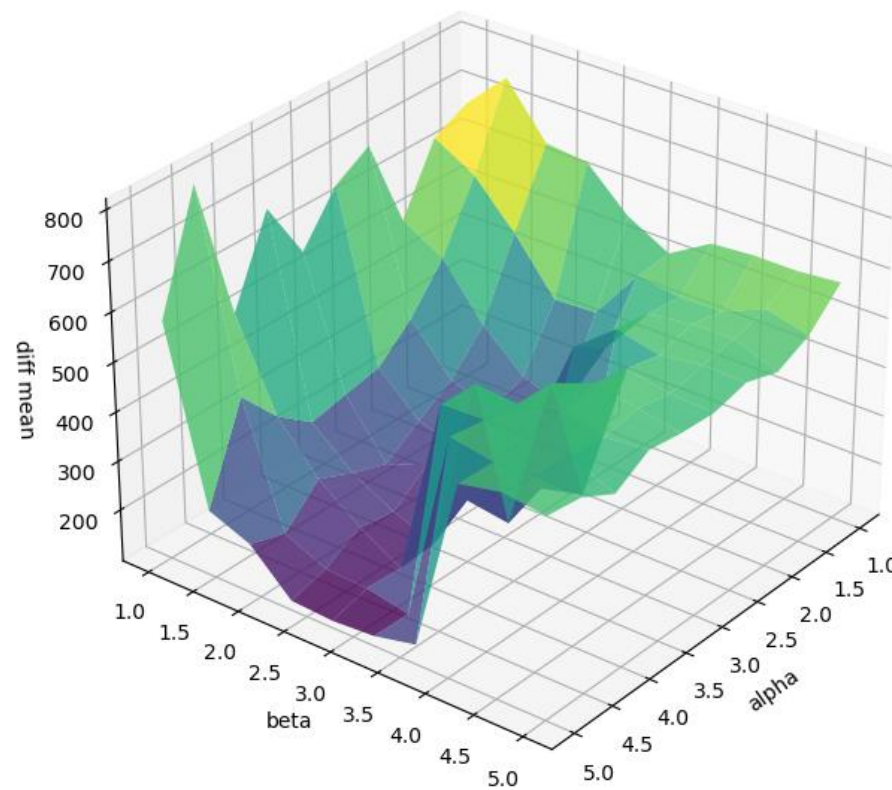


Mean cost

α, β 对蚁群算法在VRPTW问题的影响



Mean-Best cost



Mean difference

在VRPTW问题种，蚁群算法：

- 1、最优值对 β 较为敏感，对 α 和 ρ 不敏感
- 2、在 β 合适时， α 和 ρ 会影响收敛速度
- 3、该算法对于聚类情况明显的的数据表现优秀

对问题变种的思考



中國地質大學
CHINA UNIVERSITY OF GEOSCIENCES
武汉 · WUHAN

- 多中心VPR：难收敛，难以处理中心切换
- 多层次VPR：可转换为多中心
- 多中心多车型：实际为多层次

对算法改进的思考



中国地质大学
CHINA UNIVERSITY OF GEOSCIENCES
武汉 · WUHAN

- 蚁群算法缺点：搜索时间较长，算法容易停滞(收敛到局部最优解)，过度依赖可见性；
- 解决方法：精英策略、最大最小蚁群、自适应挥发系数、结合局部最优搜索
- 遗传算法缺点：需要更优的编\解码方式。



THANKS
