

基于贪心算法解决校园图书的智慧配送问题

翟家辉 19720212203881

摘要

在某正在进行智慧校园系统建设的大学中，校图书馆上线了智慧图书配送模块，通过配送机器人进行图书的归还回收和借阅发放。要求配送机器人分别从充电驻地出发，分别在只考虑还书的情况和考虑还书和借书的情况下建立数学模型，指导配送机器人尽快完成回收还书（和发放借书任务），最终返回初始驻地。

针对配送机器人在当前书籍借还情况下的路径选择决策问题，本文首先综合分析了**基于当前书籍借还情况的静态因素**如何影响配送机器人效率，并基于**贪心算法**针对上述静态因素对当前待选择路径进行评估。接着对**配送机器人决策的执行次序**进行规定，通过及时更新当前书籍借还情况以避免可能出现的因配送机器人同时决策造成的相互干扰。在完成配送机器人决策的模型之后，通过调整上述各静态因素的取舍权重寻找相对用时更短的配送机器人路径选择方案。最终得到第一问情景下只回收还书的总路径用时为 **5.1625h**，第二问情景下回收还书同时发放借书的总路径用时为 **5.9625h**。

针对任务 1：经过分析论证，本文所采取的评估函数包含以下四个主要的基于当前书籍借还情况的静态因素：到下一楼栋可获取的最大书目数、到下一楼栋的行走距离、从下一楼栋直接返回图书馆的最短行走距离、下一楼栋周围的书籍密度。每当行走到新楼栋或图书馆时，结合校园当前书籍借还情况对**邻近路径**进行判定取舍。在调整上述各静态因素的取舍权重得出较优结果后，对该取舍的合理性进行说明。

针对任务 2：两个问题模型的不同之处在于任务 2 需要综合考虑回收还书和发放借书两个任务。因此，任务 2 需要考虑发放借书对配送机器人的装载量的影响，以便修正机器人的路线和行动，最大限度地减少配送时间和成本。相比之下，任务 2 的评估函数添加考虑了到下一楼栋的最大容量增长值即可放置的最大书目数，每次从图书馆出发为发放借书而准备的书目数。通过对两个任务执行结果的分析，解释了添加发放借书任务对配送机器人的最优路径选择的制约机制。

综上所述，基于贪心算法的智慧图书配送模块可以有效提高图书馆的配送效率和服务质量，减轻工作负担，并增强师生的使用体验。对于不同大小的校园和不同复杂度的书籍借还任务，可以配置不同的模型参数来针对性优化配送机器人的路线和行动，以在较短的时间内提高规划效率，减少决策成本。

关键字： 决策判定 贪心算法 评估函数

目录

| | |
|------------------|-----------|
| 一、问题重述 | 3 |
| 1.1 问题背景 | 3 |
| 1.2 已知条件 | 3 |
| 1.3 有待解决问题 | 4 |
| 二、任务分析 | 4 |
| 2.1 决策响应判定 | 4 |
| 2.2 决策执行次序规定 | 5 |
| 2.3 路径决策过程分析 | 5 |
| 三、模型假设 | 6 |
| 四、符号说明 | 7 |
| 五、模型建立与优化 | 7 |
| 5.1 决策因素选择 | 7 |
| 5.2 任务一规划结果 | 9 |
| 5.3 任务二规划结果 | 12 |
| 六、总结 | 15 |

一、问题重述

1.1 问题背景

智慧图书配送场景下，配送机器人需要基于大学校园现有路径和图书馆的借还书需求，通过选择合适的路径进行图书的归还回收和借阅发放。任务一只考虑还书情况，任务二综合考虑还书和借书的情况，任务涉及楼宇位置、配送机器人行驶速度、每个配送机器人可装载的书本数量等因素。本文旨在通过寻找合适的评估函数，利用贪心算法优化配送机器人的行驶路线和时间，提高图书馆的服务效率。

1.2 已知条件

在该需求场景下，通过读取下图图示楼宇名称及相应位置，对照附件表格所给的各楼宇的还书和借书的需求数量和实际路径长度，下述信息已知：

- **楼宇和图书馆位置：**读取图示信息和所附表格可知楼宇的位置信息与相邻楼宇距离。
- **楼宇借还图书需求：**所附表格给出了各楼宇的借还图书需求数。
- **最大装载数：**每个配送机器人最多可装载 10 本书。
- **配送机器人速度：**配送机器人 A 的平均行驶速度是 8km/h，配送机器人 B 的平均行驶速度是 10km/h。
- **配送机器人起始点：**配送机器人 A 的充电驻点和配送机器人 B 的充电驻点分别位于地图左上角和右下角。



图1 学校各建筑与交通路线示意图

1.3 有待解决问题

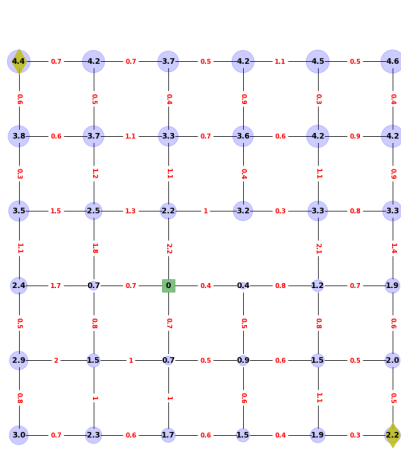
基于上述问题要求和已知条件，在处理给定任务的过程中，需要建立相应的数学模型解决以下问题：

1. **配送机器人决策响应和执行次序**：在考虑当前书籍借还情况的情况下，确定配送机器人进行路径选择决策的执行前提，以及调整两机器人的执行次序以避免可能出现的因配送机器人同时决策造成的相互干扰，以最大化配送机器人的效率和服务质量。
2. **贪心算法的价值评估函数**：利用前述问题所确定的执行条件，基于当前书籍借还情况，选择合适的静态因素参与路径选择的价值评估。确定合理的价值评估函数，通过改变取舍权重影响所选静态因素对当前待选择路径评效果，以便在配送机器人决策中使用贪心算法进行路径选择时兼顾当前收益和未来收益。
3. **动态规划路径时的因素取舍权重**：调整各静态因素的取舍权重，以寻找相对用时更短的配送机器人路径选择方案，并结合校园借还书情况，解释该取舍权重数值设置的合理性。
4. **智慧图书配送模型的可迁移性**：通过改变给定校园地图的大小和任务复杂程度，验证基于贪婪算法实现的智慧图书配送模型的可迁移性。对模型配置的各静态因素的取舍权重参数进行初步便历检验系统鲁棒性。

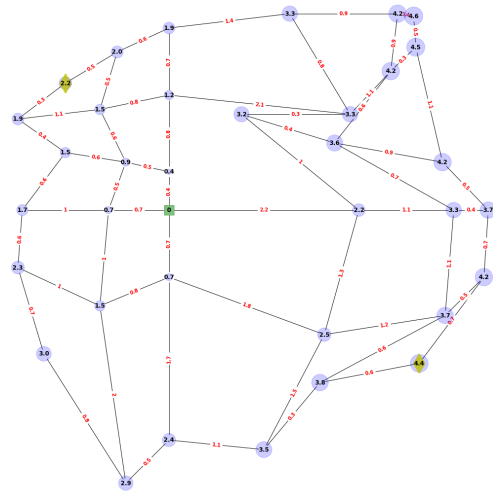
二、任务分析

2.1 决策响应判定

为直接观察校园地图内的楼宇位置分布状况，本文对校园地图进行真实化处理。图 2 左右图分别是真实化处理前后的状态，图中格点值是应用 Dijkstra 算法求得的该点对应楼栋到图书馆的最短路径。格点值之间的链接段反映的是该段路径的真实距离。图中绿色标记点为图书馆，黄色标记点为两配送机器人的充电驻地。通过对校院内楼宇位置状况的观察，速度较慢的 A 型机器人所在的西北方位楼栋分布较为密集，速度较慢的 B 型机器人所在的东南方位楼栋以及其他方位分布较为稀疏，但考虑到每次借还书完毕都必须回到图书馆，配送机器人行走速度的不同和路径长度的不均匀分布不会影响从图书馆出发再回到图书馆的环路判定，因此也就无需对楼栋进行预分区操作。在处理具体何时进行决策的问题上，我们将在每次行走到新一楼栋或图书馆时，结合当前校园内的借书还书需求和配送机器人自身属性，利用基于贪心算法的评估函数对下一步的路径选择进行决策。



(a) 象征距离



(b) 真实距离

图 2 真实化处理前后示例

2.2 决策执行次序规定

在确定了执行决策判定的时机后，仍可能出现一些问题对决策逻辑的判据造成干扰。现简单列举如下：

- 两配送机器人的行走速度不同，影响模型对配送机器人何时到达楼栋的判定，会产生计时误差影响后续对静态因素取舍权重的选择。
- 两配送机器人的决策需要依据当前校园内的借书还书需求，并在执行决策后更改对应楼栋的借书还书需求。若两配送机器人同时决策，在两机器人行驶在同一路径时会对同一楼栋重复执行取书操作，从而造成数据异常。
- 两配送机器人的决策执行结果均会对当前校园内的借书还书需求造成更改，这要求两配送机器人的决策次序要在同时间步内以一定优先级进行。

为解决上述问题对决策逻辑的干扰，我们将当前系统总时间与配送机器人行走用时分开考虑，其中配送机器人行走用时仅记录配送机器人已完成路径的用时。两时间的差值反映了配送机器人在当前道路的行驶时长，进而判据配送机器人何时到达楼栋。循环所用时间步的规定为 $1/[v_A, v_B]h$ ，表示单位时间除以 v_A, v_B 的最小公倍数，即 **0.0025h**。每一时间步内以较快的配送机器人 B 的决策为第一优先级。

2.3 路径决策过程分析

在路径决策过程流程中，配送机器人主要依据校园内现有图书借还需求和配送机器人的可用容载量进行判据。判据流程如下图所示，其中橙色飘带代表对邻表书目的判据结果；绿色飘带代表对场中待取（放）书目的整体判据结果；绿色飘带代表对配送机器

人自身可用容载量的判据结果。完整的路径决策过程流程如下图所示：

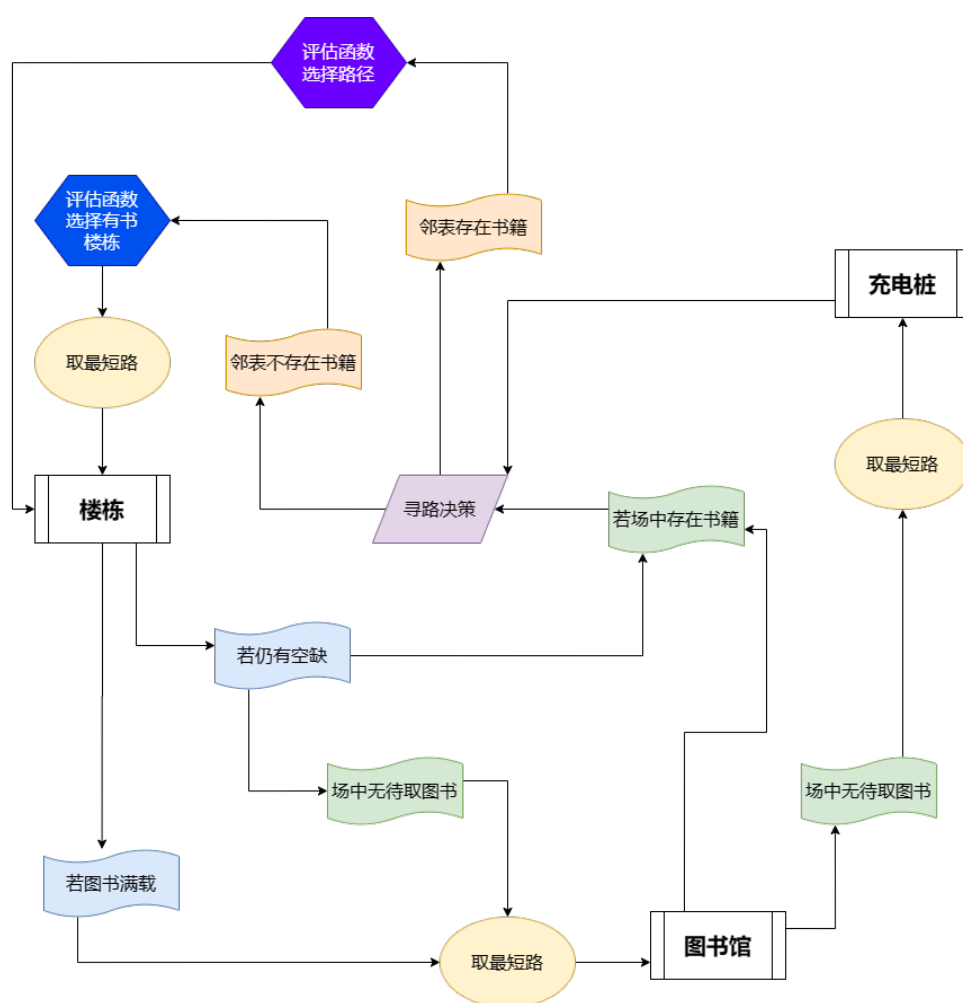


图3 路径决策过程流程分析图

三、模型假设

为使任务需求可编程化实现，本文根据实际情况做出以下合理的假设或条件约束：

1. 配送机器人在到达楼栋后拿取自身所能拿取的最大书目数再向下目标点行走。
2. 配送机器人在满载或到达图书馆准备返回充电驻地时，均沿 Dijkstra 算法求得的最短路行走。
3. 配送机器人在实现发放借书任务时无需考虑不同楼栋之间的书籍种类差别。
4. 两配送机器人在实现发放借书任务时从图书馆携带同样初始数目的图书。
5. 各楼宇的图书存放处只允许存放本楼宇的还书或借书。
6. 每个配送机器人单独行动，不考虑行驶途中因为相遇而互换图书。
7. 配送机器人到达楼栋后不做停留，不考虑回收还书和发放借书的所需时间。

8.整个模型系统中，时间单位制为小时 (h)，距离单位制为千米 (km)。

四、符号说明

| 符号 | 意义 |
|---------------------------------|-----------------------|
| $x_{i,n}$ | 节点 i 的第 n 个邻表节点 |
| R_i | 机器人在第 i 点的取书数 |
| B_i | 机器人在第 i 点的放书数 |
| $l_{m,n}$ | 节点 m 到节点 n 的最短路距离 |
| L_i | 节点 i 到图书馆的最短路距离 |
| $N_{r,i}$ | 节点 i 的待取书数 |
| $N_{b,i}$ | 节点 i 的待放书数 |
| T_{all} | 当前系统记录的总时间 |
| T_A | 配送机器人 A 记录时间 |
| T_B | 配送机器人 B 记录时间 |
| r_m | 配送机器人 m 携带的还书数 |
| b_m | 配送机器人 m 携带的借书数 |
| C_m | 配送机器人 m 的书籍容量 |
| V_m | 配送机器人 m 的速度 |
| $b_{initial}$ | 配送机器人初始携带书目数 |
| $\alpha, \beta, \gamma, \delta$ | 配送机器人各决策因素的评估权重 |

五、模型建立与优化

5.1 决策因素选择

为了在路径决策过程流程中建立起合适的评估函数，对机器人下一步行走方向进行判据，我们选用了如下四个不同权重的决策因素组成评估函数。注意机器人仅在**每次行走走到新一楼栋或图书馆时**，结合当前校园内的借书还书需求和配送机器人自身属性，参考下述决策因素组成的线性评估函数选择**当前环境下评估函数值最大的路径**作为下一

步的路径。

- **路径的单位还书收益**：该要素包括下一楼栋可获取的最大书目数（即当前机器人 i 的可用容量 $C_i - r_i$ 或在第二问中为 $C_i - r_i - b_i$ ）与路径终点 n 的待取书数 $N_{r,n}$ 的最大值 $\max[(C_i - r_i - b_i), (N_{r,n})]$ ，在第一问中 $b_i = 0$ 。以及当前路径起点 m 到路径终点 n 的最短路距离 $l_{m,n}$ 。路径的单位还书收益定义为两者之比，评估权重系数为 α ，恒为正值，表示路径的单位还书收益越高，配送机器人越倾向于选择该条路。
- **路径的单位借书收益**：在第二问中该要素由下一楼栋可放置的最大书目数（即当前机器人 i 的携带的借书数 b_i ）与路径终点 n 的待放书数 $N_{b,n}$ 的最大值 $\max[b_i, N_{b,n}]$ 。以及当前路径起点 m 到路径终点 n 的最短路距离 $l_{m,n}$ 。路径的单位借书收益定义为两者之比，评估权重系数为 β ，恒为正值，表示路径的单位借书收益越高，配送机器人越倾向于选择该条路。
- **路径终点距图书馆的距离**：该要素为利用 Dijkstra 算法从路径终点 n 直接返回图书馆的最短行走距离 $l_{n,0}$ ，评估权重系数为 γ ，可正可负，表示配送机器人在选择路径时倾向就远或就近原则。
- **路径终点附近的书籍密度**：该要素为路径终点 n 的邻表节点 $x_{n,h}$ 中，所有节点的待取书籍总数 $\sum_{k=x_{n,h}} N_{r,k}$ ，评估权重系数为 δ ，恒为正值，表示路径终点附近的书籍密度越高，配送机器人越倾向于选择该条路。

根据上述分析，我们可以得到以下评估函数。配送机器人 i 从当前所在楼栋编号 m （即路径起点），前往路径终点 n ，对路径 m 到 n 的评估函数结果为：

$$f(i, m, n) = \alpha \frac{\max[(C_i - r_i - b_i)/(N_{r,n})]}{l_{m,n}} + \beta \frac{\max[b_i, N_{b,n}]}{l_{m,n}} + \gamma l_{n,0} + \delta \sum_{k=x_{n,h}} N_{r,k}$$

为使评估函数的判据权重标准化，规定 $\delta = 1$ 。在第一问条件下，无需考虑借书情况 $\beta = 0$ 。在具体决策流程中，注意机器人编号 $i \rightarrow T_i \in \min(T_A, T_B)$ 。若邻表节点 $x_{i,n}$ 中待取书数均为零，则配送机器人沿由 Dijkstra 算法确定的最短路行进到最近的有书节点。具体流程判据循环可参考图三（路径决策过程流程分析图）。下图展示了我们选择的组成评估函数的四个决策因素分别所需的信息。

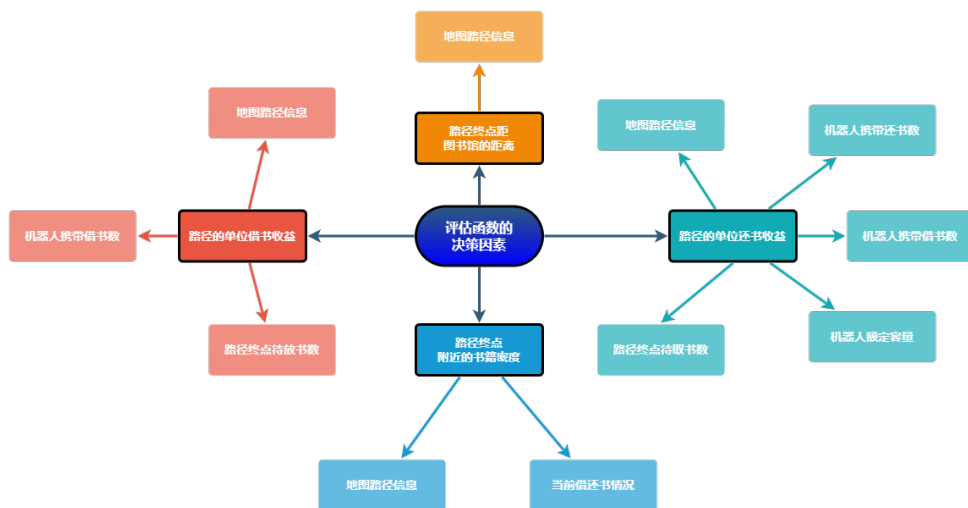


图 4 四个决策因素的依赖信息

5.2 任务一规划结果

通过建立评估函数并执行循环模拟，该基于贪心算法的路径决策过程在如下参数下得到的的第一问执行结果为 5.1625h，配送机器人 A 评估权重为 $\alpha = 3, \beta = 0, \gamma = 1, \delta = 1$ 。配送机器人 B 评估权重为 $\alpha = 7, \beta = 0, \gamma = -4, \delta = 1$ 。具体路径如下表所示。

表 1 任务一规划结果（机器人 A, 总用时 5.1625h）

| 路径用时 | 路径还书数 | 具体路径 |
|---------|---------------------|---|
| 0.6125h | 6-4-0-0 | 充电驻地 A -> 北辰楼 -> 弥津楼 -> 映雪楼 -> 高洁楼 -> 图书馆 |
| 0.8250h | 0-3-7-0-0 | 图书馆-> 分岔路-> 俊采楼-> 流丹楼-> 俊采楼-> 分岔路-> 图书馆 |
| 1.1000h | 0-0-1-2-0-4-3-0-0-0 | 图书馆-> 分岔路-> 俊采楼-> 流丹楼-> 朱华楼-> 耸翠楼-> 朝晖楼-> 耸翠楼-> 朱华楼-> 十字路口-> 图书馆 |
| 1.1500h | 0-0-1-2-4-3-0-0-0-0 | 图书馆-> 分岔路-> 俊采楼-> 东隅楼-> 万千楼-> 星耀楼-> 郁青楼-> 星耀楼-> 万千楼-> 东隅楼-> 俊采楼-> 分岔路-> 图书馆 |
| 0.9250h | 0-2-5-1-0-0-0 | 图书馆-> 高洁楼-> 凌云楼-> 远山楼-> 重霄楼-> 远山楼-> 凌云楼-> 高洁楼-> 图书馆 |
| 0.5500h | — | 图书馆-> 高洁楼-> 凌云楼-> 芳邻楼-> 四美楼-> 充电驻地 A |

表 2 任务一规划结果（机器人 B, 总用时 5.02h）

| 路径用时 | 路径还书数 | 具体路径 |
|---------|-------------------|---|
| 0.2500h | 5-5-0-0 | 充电驻地 B-> 长风楼-> 汀兰楼-> 绿竹楼-> 分岔路-> 图书馆 |
| 0.2100h | 6-4-0 | 图书馆-> 景明楼-> 绿竹楼-> 分岔路-> 图书馆 |
| 0.4800h | 4-3-3-0-0 | 图书馆-> 高洁楼-> 南溟楼-> 长洲楼-> 清风楼-> 景明楼-> 图书馆 |
| 0.4500h | 0-1-6-2-1-0-0 | 图书馆-> 分岔路-> 绿竹楼-> 沉璧楼-> 兰亭楼-> 汀兰楼-> 绿竹楼-> 分岔路-> 图书馆 |
| 0.8400h | 0-3-4-3-0-0-0 | 图书馆-> 十字路口-> 临川楼-> 秋水楼-> 皓月楼-> 秋水楼-> 临川楼-> 十字路口-> 图书馆 |
| 0.6000h | 0-2-3-5-0-0-0 | 图书馆-> 景明楼-> 清风楼-> 长洲楼-> 重霄楼-> 长洲楼-> 清风楼-> 景明楼-> 图书馆 |
| 0.9600h | 0-2-4-3-1-0-0 | 图书馆-> 十字路口-> 映雪楼-> 芳邻楼-> 四美楼-> 弥津楼-> 映雪楼-> 高洁楼-> 图书馆 |
| 1.0100h | 0-0-0-4-5-0-0-0-0 | 图书馆-> 十字路口-> 朱华楼-> 耸翠楼-> 皓月楼-> 雅望楼-> 朝晖楼-> 耸翠楼-> 朱华楼-> 十字路口-> 图书馆 |
| 0.220h | — | 图书馆-> 分岔路-> 绿竹楼-> 沉璧楼-> 兰亭楼-> 充电驻地 B |

我们可以借助热力图直观观察两配送机器人行走范围的分布。左侧两图分别是配送机器人 A, B 的行走轨迹分布，右图是两配送机器人一共的轨迹分布。

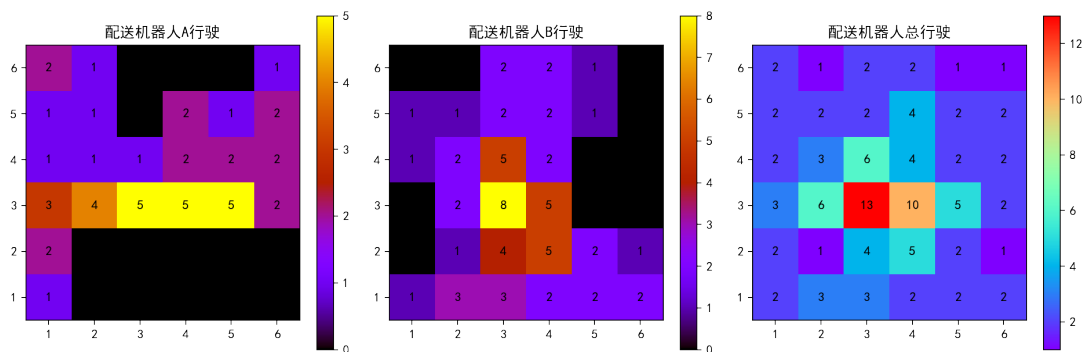


图 5 任务 1 配送机器人行走范围热力图

通过热力图我们发现两配送机器人实现了自动分区划行走。配送机器人 A 主要在横向东西方位行走，在图书馆附近行走路径相对单一，多次经过“图书馆-分岔路-俊采楼”这条路（安徽路和江西路）。配送机器人 B 主要在纵向南北方位行走，在图书馆附近行走路径更加多样。

通过绘制任务一结果不同路径的还书数和用时，比较不同配送机器人之间的差异，我们可以获知机器人 A 路径用时大致相同，随路径序数增加，机器人 A 还书的时点不断后移。机器人 B 路径用时具有很大的差别，但总体来说先增后减。随路径序数增加，机器人 B 还书的时点略微后移，整体仍保持在前半部分。两机器人路径结果的不同可通过其评估函数权重因子的取值来解释。

在任务一中，配送机器人 A 评估权重为 $\alpha = 3, \beta = 0, \gamma = 1, \delta = 1$ ，这表明行驶速度较慢的配送机器人 A 遵循就远原则，这使其还书的时点整体更显均匀分布，总路径数少。配送机器人 B 评估权重为 $\alpha = 7, \beta = 0, \gamma = -4, \delta = 1$ ，这表明行驶速度较快的配送机器人 B 遵循就近原则，且路径的单位还书收益吸引力较大，这使其还书时先就近搜索，在拿满 10 本书后再返回，总路径数多。还书的时点因此基本保持在前半部分，后半部分通过最短路回到图书馆。

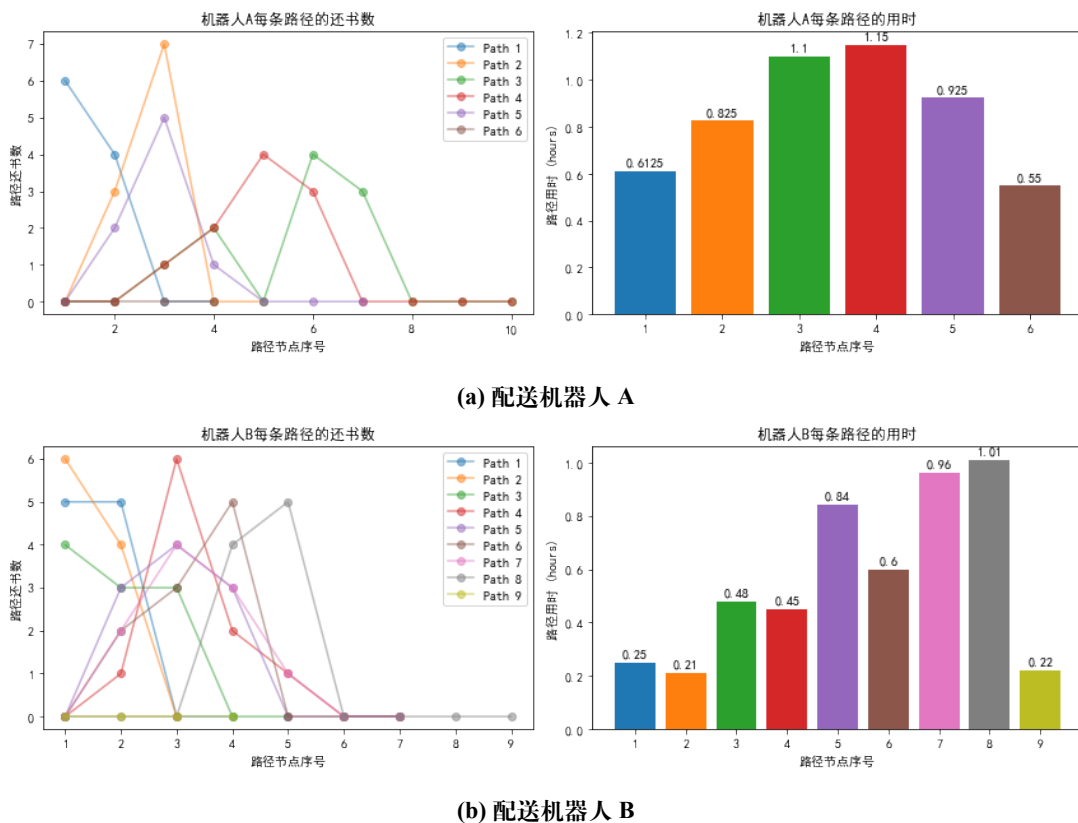


图 6 任务一结果路径差异

5.3 任务二规划结果

任务二需要引入路径的单位借书收益和配送机器人初始携带书目数 $b_{initial}$ ，通过部分遍历评估函数权重的参数空间，我们得到了其中一个可行解： $b_{initial} = 3$ ，配送机器人 A 评估权重为 $\alpha = 5, \beta = 4, \gamma = -1, \delta = 1$ 。配送机器人 B 评估权重为 $\alpha = 1, \beta = 4, \gamma = -5, \delta = 1$ 。在上述参数下得到的任务二的执行结果为 5.9625h。具体路径和每路径的借还书数如下表所示。

表 3 任务二规划结果（机器人 A, 总用时 5.9625h）

| 路径用时 | 路径还书数 | 路径借书数 | 具体路径 |
|---------|-------------------|-----------------|---|
| 0.6125h | 6-4-0-0 | — | 充电驻地 A-> 北辰楼-> 弥津楼-> 映雪楼-> 高洁楼-> 图书馆 |
| 0.4375h | 0-5-1-3-0 | 0-0-2-0-0 | 图书馆-> 分岔路-> 绿竹楼-> 汀兰楼-> 俊采楼-> 分岔路-> 图书馆 |
| 0.4750h | 0-0-6-1-0 | 0-0-0-0-0 | 图书馆-> 分岔路-> 绿竹楼-> 沉璧楼-> 清风楼-> 景明楼-> 图书馆 |
| 0.6250h | 0-1-6-0-0 | 0-0-0-0-0 | 图书馆-> 景明楼-> 南溟楼-> 长洲楼-> 清风楼-> 景明楼-> 图书馆 |
| 1.0500h | 0-3-4-3-0-0-0 | 0-0-3-0-0-0-0 | 图书馆-> 十字路口-> 临川楼-> 秋水楼-> 皓月楼-> 秋水楼-> 临川楼-> 十字路口-> 图书馆 |
| 1.2625h | 0-0-4-4-2-0-0-0-0 | 0-0-0-2-1-0-0-0 | 图书馆-> 十字路口-> 朱华楼-> 耸翠楼-> 皓月楼-> 雅望楼-> 朝晖楼-> 耸翠楼-> 朱华楼-> 十字路口-> 图书馆 |
| 0.9500h | 0-1-0-6-1-0-0-0-0 | — | 图书馆-> 景明楼-> 清风楼-> 长洲楼-> 重霄楼-> 远山楼-> 重霄楼-> 长洲楼-> 清风楼-> 景明楼-> 图书馆 |
| 0.5500h | — | — | 图书馆-> 高洁楼-> 凌云楼-> 芳邻楼-> 四美楼-> 充电驻地 A |

表 4 任务二规划结果（机器人 B, 总用时 5.6400h）

| 路径用时 | 路径还书数 | 路径借书数 | 具体路径 |
|---------|-----------------------------------|-----------------------------------|--|
| 0.2500h | 5-5-0-0 | — | 充电驻地 B-> 长风楼-> 汀兰楼-> 绿竹楼-> 分岔路-> 图书馆 |
| 0.3200h | 6-2-0 | 0-1-0 | 图书馆-> 景明楼-> 南溟楼-> 高洁楼-> 图书馆 |
| 0.5800h | 4-2-3-0-0 | 0-0-2-0-0 | 图书馆-> 高洁楼-> 凌云楼-> 远山楼-> 凌云楼-> 高洁楼-> 图书馆 |
| 0.6800h | 0-2-8-0-0 | 0-3-0-0-0 | 图书馆-> 十字路口-> 朱华楼-> 流丹楼-> 俊采楼-> 分岔路-> 图书馆 |
| 0.9300h | 0-0-1-2-4-2-0-0-0 | 0-0-0-2-0-0-0-0-0 | 图书馆-> 分岔路-> 俊采楼-> 东隅楼-> 万千楼-> 星耀楼-> 朝晖楼-> 耸翠楼-> 朱华楼-> 十字路口-> 图书馆 |
| 0.9100h | 0-2-4-2-0-0-0 | 0-0-1-0-0-0-0 | 图书馆-> 十字路口-> 映雪楼-> 芳邻楼-> 四美楼-> 芳邻楼-> 凌云楼-> 高洁楼-> 图书馆 |
| 1.3700h | 0-0-0-1-3-3-0-0-0-0-1-1-0-0-1-0-0 | 0-0-0-0-1-0-0-0-0-2-0-0-0-0-0-0-0 | 图书馆-> 十字路口-> 朱华楼-> 耸翠楼-> 朝晖楼-> 雅望楼-> 郁青楼-> 雅望楼-> 皓月楼-> 秋水楼-> 北辰楼-> 弥津楼-> 四美楼-> 芳邻楼-> 凌云楼-> 远山楼-> 凌云楼-> 高洁楼-> 图书馆 |

表 5 任务二规划结果（机器人 B, 总用时 5.6400h）[续表]

| 路径用时 | 路径还书数 | 路径借书数 | 具体路径 |
|---------|---------------|-------|---|
| 0.3800h | 0-0-0-2-0-0-0 | — | 图书馆-> 分岔路-> 绿竹楼-> 沉璧楼-> 兰亭楼-> 沉璧楼-> 绿竹楼-> 分岔路-> 图书馆 |
| 0.2200h | — | — | 图书馆-> 分岔路-> 绿竹楼-> 沉璧楼-> 兰亭楼-> 充电驻地 B |

同样的，在任务二中我们可以借助热力图直观观察两配送机器人行走范围的分布。左侧两图分别是配送机器人 A，B 的行走轨迹分布，右图是两配送机器人一共的轨迹分布。

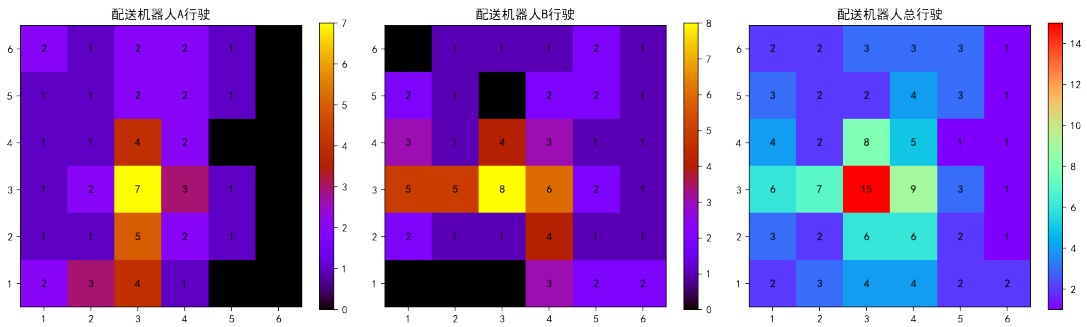
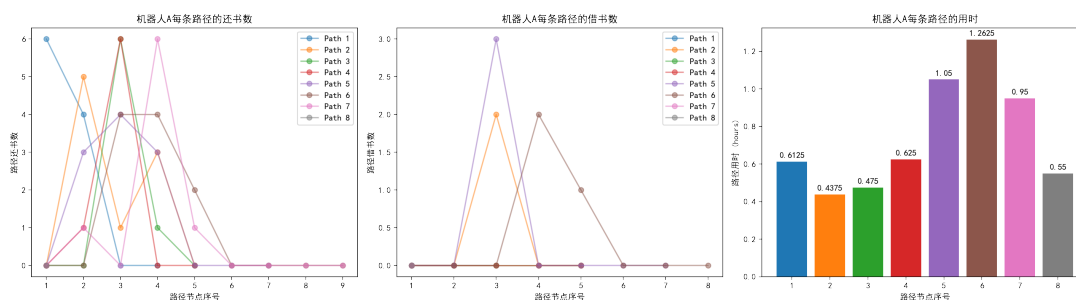


图 7 任务 2 配送机器人行走范围热力图

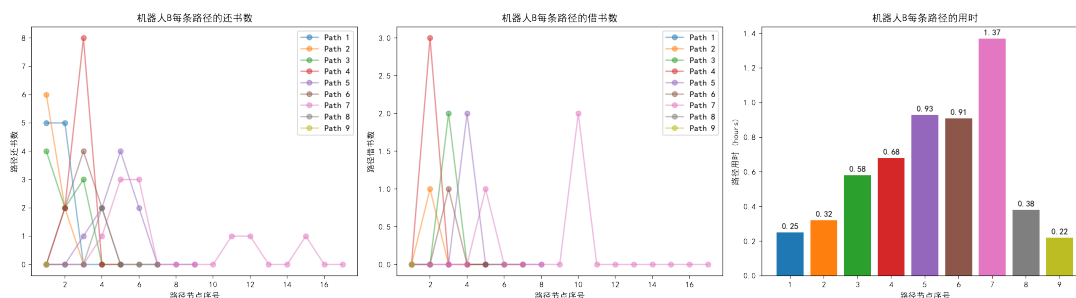
通过热力图我们发现两配送机器人实现了和任务一中不同的自动分区划行走。配送机器人 A 没有经过东方。配送机器人 B 主要在横向东西方位行走，两机器人在图书馆附近行走路径均比较多样，没有特别固定的路径。

通过绘制任务二结果不同路径的借还书数和用时，比较不同配送机器人之间的差异，我们可以获知机器人 A 和 B 路径用时总体来说先增后减。随路径序数增加，机器人 A 借还书的时点略微后移，而机器人 B 借还书的时点变化比较强烈。两机器人路径结果的不同可通过其评估函数权重因子的取值来部分解释。

在任务二中，配送机器人 A 评估权重为 $\alpha = 5, \beta = 10, \gamma = -1, \delta = 1$ ，这表明行驶速度较慢的配送机器人 A 遵循就远原则，这使其还书的时点整体更显均匀分布，而且会优先执行借书操作。配送机器人 B 评估权重为 $\alpha = 0.2, \beta = 4, \gamma = -5, \delta = 1$ ，这表明行驶速度较快的配送机器人 B 遵循更强的就远原则，且路径的单位还书收益吸引力较小，路径的单位借书收益吸引力较大。但值得注意的是配送机器人在前几次路中并不执行借书操作，这造成了一定程度上的时间浪费。而且在第七条路径中出现了较长的无操作行走，通过分析这是由于该条路上的判据存在邻表节点无书籍的情况。



(a) 配送机器人 A



(b) 配送机器人 B

图 8 任务二结果路径差异

六、总结

该基于贪心算法的智慧图书配送模块具有以下几个优异特征：

- 模型可迁移性强，该方法可移植到更大节点数量和更高复杂度的网络之中，可通过接入更多的配送机器人，改变评估函数权重来提高运送效率。
- 评估函数权重鲁棒性好，在一定区间内调整评估函数权重不会影响运行结果。
- 运算速度快，当前任务仅需 126mm 即可模拟完成。

同样的，该基于贪心算法的智慧图书配送模块具有以下几个问题有待解决：

- 配送机器人在前几次路中并不执行借书操作，需要调整初始携带书目可变。
- 评估函数权重调整很难取得全局最优解，而再引入更多参数可能得不偿失。
- 模型模拟结构要求配送机器人时刻保持网络连接，可能在现实中难以实现。