

我对泊位-岸桥集成调度恢复计划构建了数学模型，详见 BandP Algorithm.pdf 文件。在 BandP Algorithm.pdf 文件中，最后在“2.4 Dantzig-Wolfe 分解数学模型——算法设计”节中，我构建了 Dantzig-Wolfe 分解数学模型，其中包含“2.4.1 Dantzig-Wolfe 分解主问题数学模型——算法设计”的主问题（目标（112），约束（113）~（115））和“2.4.2 Dantzig-Wolfe 分解子问题数学模型——算法设计”的子问题（目标（116），约束（117）~（156））。

本次需求是：基于分支定价算法(branch and price, B&P) 求解以上 Dantzig-Wolfe 分解数学模型（主问题（目标（112），约束（113）~（115））；子问题（目标（116），约束（117）~（156）））。

具体框架如下：

(1) 初始列生成启发式算法

分支定价算法是列生成和分支定界的结合，在列生成之前，需要先给出一个初始可行列，初始可行列的启发式算法为离港时间优先启发式算法，算法满足混合整数规划模型（MIPM-II）的所有约束（(6)~(42)、(44)~(48)、(50)~(51)）。

启发式算法详见 HAlgorithm.txt 文件，设计分支定价算法时需要在 HAlgorithm.txt 文件中的启发式算法基础上进行。

(2) 分支策略

本文对原问题（混合整数规划模型（MIPM-II））变量进行分支，将约束条件加入子问题中。步骤如下所示：

1) 针对子节点或者根节点计算得到的最优解，判断其是否为原问题的整数解（整数决策变量需要时 0 或 1），如果不是，则按照船舶编号从小到大的次序，找到第一艘含有非整数解的船舶  $i$ 。

2) 以下顺序遍历 0-1 决策变量：

a) 当  $\sum_{h_v \in H_v} DWX_{bj}^{h_v} \cdot s_{h_v} = X_{vbj}$  不为整数时，分支，其中一支为  $\sum_{h_v \in H_v} DWX_{bj}^{h_v} \cdot s_{h_v} = X_{vbj} \leq 0$ ，

另外一支为  $\sum_{h_v \in H_v} DWX_{bj}^{h_v} \cdot s_{h_v} = X_{vbj} \geq 1$ ；

b) 当  $\sum_{h_v \in H_v} DWX_{bj}^{h_v} \cdot s_{h_v} = X_{vbj}$  为整数时，当  $\sum_{h_v \in H_v} DWY_{qj}^{h_v} \cdot s_{h_v} = Y_{vqj}$  不为整数时，分支，其中

一支为  $\sum_{h_v \in H_v} DWY_{qj}^{h_v} \cdot s_{h_v} = Y_{vqj} \leq 0$ ，另外一支为  $\sum_{h_v \in H_v} DWY_{qj}^{h_v} \cdot s_{h_v} = Y_{vqj} \geq 1$ ；

c) 当  $\sum_{h_v \in H_v} DWY_{qj}^{h_v} \cdot s_{h_v} = Y_{vqj}$  为整数时，当  $\sum_{h_v \in H_v} DWZ_{vb}^{h_v} \cdot s_{h_v} = Z_{vb}$  不为整数时，分支，其中

一支为  $\sum_{h_v \in H_v} DWZ_{vb}^{h_v} \cdot s_{h_v} = Z_{vb} \leq 0$ ，另外一支为  $\sum_{h_v \in H_v} DWZ_{vb}^{h_v} \cdot s_{h_v} = Z_{vb} \geq 1$ ；

d) 当  $\sum_{h_v \in H_v} DWZ_{vb}^{h_v} \cdot s_{h_v} = Z_{vb}$  为整数时，当  $\sum_{h_v \in H_v} DWO_{bb'}^{h_v} \cdot s_{h_v} = O_{vbb'}$  不为整数时，分支，其中

一支为  $\sum_{h_v \in H_v} DWO_{bb'}^{h_v} \cdot s_{h_v} = O_{vbb'} \leq 0$ ，另外一支为  $\sum_{h_v \in H_v} DWO_{bb'}^{h_v} \cdot s_{h_v} = O_{vbb'} \geq 1$ ；

e) 当  $\sum_{h_v \in H_v} DWO_{bb'}^{h_v} \cdot s_{h_v} = O_{vbb'}$  为整数时，当  $\sum_{h_v \in H_v} DWSB_{bt}^{h_v} \cdot s_{h_v} = SB_{vb}^t$  不为整数时，分支，其

中一支为  $\sum_{h_v \in H_v} DWSB_{bt}^{h_v} \cdot s_{h_v} = SB_{vb}^t \leq 0$  , 另外一支为  $\sum_{h_v \in H_v} DWSB_{bt}^{h_v} \cdot s_{h_v} = SB_{vb}^t \geq 1$  ;

f) 当  $\sum_{h_v \in H_v} DWSB_{bt}^{h_v} \cdot s_{h_v} = SB_{vb}^t$  为整数时, 当  $\sum_{h_v \in H_v} DWSBJ_{bjt}^{h_v} \cdot s_{h_v} = SBJ_{vbj}^t$  不为整数时, 分支,

其中一支为  $\sum_{h_v \in H_v} DWSBJ_{bjt}^{h_v} \cdot s_{h_v} = SBJ_{vbj}^t \leq 0$  , 另外一支为  $\sum_{h_v \in H_v} DWSBJ_{bjt}^{h_v} \cdot s_{h_v} = SBJ_{vbj}^t \geq 1$  ;

g) 当  $\sum_{h_v \in H_v} DWSBJ_{bjt}^{h_v} \cdot s_{h_v} = SBJ_{vbj}^t$  为整数时, 当  $\sum_{h_v \in H_v} DWSQJ_{qjt}^{h_v} \cdot s_{h_v} = SQJ_{vqj}^t$  不为整数时,

分支, 其中一支为  $\sum_{h_v \in H_v} DWSQJ_{qjt}^{h_v} \cdot s_{h_v} = SQJ_{vqj}^t \leq 0$  , 另外一支为

$\sum_{h_v \in H_v} DWSQJ_{qjt}^{h_v} \cdot s_{h_v} = SQJ_{vqj}^t \geq 1$  ;

h) 当  $\sum_{h_v \in H_v} DWSQJ_{qjt}^{h_v} \cdot s_{h_v} = SQJ_{vqj}^t$  为整数时, 当  $\varphi_{vbj}$  不为整数时, 分支, 其中一支为

$\varphi_{vbj} \leq 0$  , 另外一支为  $\varphi_{vbj} \geq 1$  ;

i) 当  $\varphi_{vbj}$  为整数时, 当  $\gamma_{vqj}$  不为整数时, 分支, 其中一支为  $\gamma_{vqj} \leq 0$  , 另外一支为  $\gamma_{vqj} \geq 1$  ;

j) 当  $\gamma_{vqj}$  为整数时, 当  $\alpha_{vbt}$  不为整数时, 分支, 其中一支为  $\alpha_{vbt} \leq 0$  , 另外一支为  $\alpha_{vbt} \geq 1$  ;

k) 当  $\alpha_{vbt}$  为整数时, 当  $\beta_{vbt}$  不为整数时, 分支, 其中一支为  $\beta_{vbt} \leq 0$  , 另外一支为  $\beta_{vbt} \geq 1$  ;

l) 当  $\beta_{vbt}$  为整数时, 当  $\chi_{vqjt}$  不为整数时, 分支, 其中一支为  $\chi_{vqjt} \leq 0$  , 另外一支为  $\chi_{vqjt} \geq 1$  ;

m) 当  $\chi_{vqjt}$  为整数时, 当  $\psi_{vqjt}$  不为整数时, 分支, 其中一支为  $\psi_{vqjt} \leq 0$  , 另外一支为

$\psi_{vqjt} \geq 1$  ;

### (3) 搜索策略

广度优先策略

### (4) 列选取策略

在列生成过程中, 当存在检验数小于 0 的列时, 在限制性主问题中加入一条检验数小于 0 且绝对值最大的列。

输入数据情况: 与 HAlgorithm.txt 文件中启发式算法的数据及其处理方式一样。

输出结果格式形式如下 (以下是形式的一个例子, 这个例子的结果是原问题混合整数规划模型 (MIPM-II) 的运行结果):

目标函数值: 27200.00

求解时间: 147.31 秒

各目标分量值:

F1 (资源偏离惩罚): 18000.00

F2 (速率提升成本): 0.00

F3 (移泊惩罚成本): 40000.00

F4 (延迟惩罚成本): 60000.00

验证加权目标值: 27200.00

GUROBI 报告目标值: 27200.00

船舶调度方案:

船舶 v1:

完成时间: 15.00, 预期离港: 9.0, 延迟: 6.00

任务 j1: 开始=10.50, 结束=13.50, 速率=100.00

泊位: b1 (基线: b1) [符合]

任务 j2: 开始=8.00, 结束=10.00, 速率=20.00

泊位: b4 (基线: b3) [偏离]

岸桥: q1 (基线: q1) [符合]

任务 j4: 开始=14.00, 结束=15.00, 速率=70.00

泊位: b8 (基线: b8) [符合]

任务 j7: 开始=9.00, 结束=10.00, 速率=100.00

泊位: b4 (基线: b4) [符合]

船舶 v2:

完成时间: 12.00, 预期离港: 12.0, 延迟: 0.00

任务 j2: 开始=8.33, 结束=9.33, 速率=20.00

泊位: b5 (基线: b4) [偏离]

岸桥: q2 (基线: q2) [符合]

任务 j3: 开始=10.17, 结束=11.17, 速率=20.00

泊位: b5 (基线: b3) [偏离]

岸桥: q2 (基线: q2) [符合]

任务 j6: 开始=10.17, 结束=11.17, 速率=150.00

泊位: b5 (基线: b5) [符合]

船舶 v3:

完成时间: 16.00, 预期离港: 17.5, 延迟: 0.00

任务 j1: 开始=10.50, 结束=13.50, 速率=100.00

泊位: b2 (基线: b2) [符合]

任务 j2: 开始=14.00, 结束=15.00, 速率=20.00

泊位: b6 (基线: b6) [符合]

岸桥: q3 (基线: q3) [符合]

任务 j3: 开始=15.00, 结束=16.00, 速率=20.00

泊位: b6 (基线: b6) [符合]

岸桥: q3 (基线: q3) [符合]  
任务 j5: 开始=14.00, 结束=16.00, 速率=45.00  
泊位: b6 (基线: b6) [符合]  
任务 j6: 开始=14.00, 结束=14.67, 速率=150.00  
泊位: b6 (基线: b6) [符合]  
任务 j7: 开始=14.00, 结束=15.00, 速率=100.00  
泊位: b6 (基线: b6) [符合]

船舶 v4:

完成时间: 16.00, 预期离港: 18.0, 延迟: 0.00  
任务 j2: 开始=11.83, 结束=13.83, 速率=20.00  
泊位: b5 (基线: b6) [偏离]  
岸桥: q1 (基线: q1) [符合]  
任务 j3: 开始=13.83, 结束=15.83, 速率=20.00  
泊位: b5 (基线: b5) [符合]  
岸桥: q1 (基线: q1) [符合]

船舶 v5:

完成时间: 16.00, 预期离港: 16.5, 延迟: 0.00  
任务 j2: 开始=9.33, 结束=10.33, 速率=20.00  
泊位: b7 (基线: b7) [符合]  
岸桥: q2 (基线: q2) [符合]  
任务 j3: 开始=11.17, 结束=12.67, 速率=20.00  
泊位: b7 (基线: b6) [偏离]  
岸桥: q2 (基线: q2) [符合]  
任务 j5: 开始=8.17, 结束=10.17, 速率=45.00  
泊位: b7 (基线: b7) [符合]  
任务 j6: 开始=8.17, 结束=8.83, 速率=150.00  
泊位: b7 (基线: b7) [符合]  
任务 j7: 开始=8.17, 结束=9.17, 速率=100.00  
泊位: b7 (基线: b7) [符合]

船舶 v6:

完成时间: 16.00, 预期离港: 17.0, 延迟: 0.00  
任务 j2: 开始=9.33, 结束=10.33, 速率=20.00  
泊位: b8 (基线: b8) [符合]  
岸桥: q3 (基线: q3) [符合]  
任务 j3: 开始=12.00, 结束=14.00, 速率=20.00  
泊位: b8 (基线: b4) [偏离]  
岸桥: q3 (基线: q3) [符合]

船舶 v7:

完成时间: 16.00, 预期离港: 43.0, 延迟: 0.00  
任务 j2: 开始=9.83, 结束=10.83, 速率=20.00

泊位: b9 (基线: b9) [符合]  
岸桥: q1 (基线: q1) [符合]  
任务 j3: 开始=11.00, 结束=12.00, 速率=20.00  
泊位: b9 (基线: b8) [偏离]  
岸桥: q1 (基线: q1) [符合]

船舶 v8:  
完成时间: 16.00, 预期离港: 39.5, 延迟: 0.00  
任务 j2: 开始=12.67, 结束=13.67, 速率=20.00  
泊位: b4 (基线: b3) [偏离]  
岸桥: q2 (基线: q2) [符合]  
任务 j3: 开始=13.83, 结束=15.83, 速率=20.00  
泊位: b4 (基线: b9) [偏离]  
岸桥: q2 (基线: q2) [符合]  
任务 j6: 开始=12.17, 结束=12.67, 速率=150.00  
泊位: b4 (基线: b4) [符合]

船舶 v9:  
完成时间: 16.00, 预期离港: 38.0, 延迟: 0.00  
任务 j1: 开始=13.50, 结束=15.00, 速率=100.00  
泊位: b1 (基线: b1) [符合]  
任务 j2: 开始=10.17, 结束=12.17, 速率=20.00  
泊位: b4 (基线: b4) [符合]  
岸桥: q3 (基线: q3) [符合]

移泊情况:  
船舶 v1: 从泊位 b1 移泊到 b8  
船舶 v1: 从泊位 b4 移泊到 b1  
船舶 v1: 从泊位 b4 移泊到 b8  
船舶 v3: 从泊位 b2 移泊到 b6  
船舶 v9: 从泊位 b4 移泊到 b1

=====

泊位视角任务执行情况

=====

泊位 b1:

船舶	任务	开始时间	结束时间	持续时间
-----				
v1	j1	10.50	13.50	3.00
v9	j1	13.50	15.00	1.50

泊位 b2:

船舶	任务	开始时间	结束时间	持续时间
----	----	------	------	------

-----  
v3    j1    10.50    13.50    3.00

泊位 b4:

船舶	任务	开始时间	结束时间	持续时间
-----				
v1	j2	8.00	10.00	2.00
v1	j7	9.00	10.00	1.00
v9	j2	10.17	12.17	2.00
v8	j6	12.17	12.67	0.50
v8	j2	12.67	13.67	1.00
v8	j3	13.83	15.83	2.00

泊位 b5:

船舶	任务	开始时间	结束时间	持续时间
-----				
v2	j2	8.33	9.33	1.00
v2	j3	10.17	11.17	1.00
v2	j6	10.17	11.17	1.00
v4	j2	11.83	13.83	2.00
v4	j3	13.83	15.83	2.00

泊位 b6:

船舶	任务	开始时间	结束时间	持续时间
-----				
v3	j2	14.00	15.00	1.00
v3	j5	14.00	16.00	2.00
v3	j6	14.00	14.67	0.67
v3	j7	14.00	15.00	1.00
v3	j3	15.00	16.00	1.00

泊位 b7:

船舶	任务	开始时间	结束时间	持续时间
-----				
v5	j5	8.17	10.17	2.00
v5	j6	8.17	8.83	0.67
v5	j7	8.17	9.17	1.00
v5	j2	9.33	10.33	1.00
v5	j3	11.17	12.67	1.50

泊位 b8:

船舶	任务	开始时间	结束时间	持续时间
-----				
v6	j2	9.33	10.33	1.00

v6	j3	12.00	14.00	2.00
v1	j4	14.00	15.00	1.00

泊位 b9:

船舶	任务	开始时间	结束时间	持续时间
-----				
v7	j2	9.83	10.83	1.00
v7	j3	11.00	12.00	1.00

=====

岸桥视角任务执行情况

=====

岸桥 q1:

船舶	任务	泊位	开始时间	结束时间	持续时间
-----					
v1	j2	b4	8.00	10.00	2.00
v7	j2	b9	9.83	10.83	1.00
v7	j3	b9	11.00	12.00	1.00
v4	j2	b5	11.83	13.83	2.00
v4	j3	b5	13.83	15.83	2.00

岸桥 q2:

船舶	任务	泊位	开始时间	结束时间	持续时间
-----					
v2	j2	b5	8.33	9.33	1.00
v5	j2	b7	9.33	10.33	1.00
v2	j3	b5	10.17	11.17	1.00
v5	j3	b7	11.17	12.67	1.50
v8	j2	b4	12.67	13.67	1.00
v8	j3	b4	13.83	15.83	2.00

岸桥 q3:

船舶	任务	泊位	开始时间	结束时间	持续时间
-----					
v6	j2	b8	9.33	10.33	1.00
v9	j2	b4	10.17	12.17	2.00
v6	j3	b8	12.00	14.00	2.00
v3	j2	b6	14.00	15.00	1.00
v3	j3	b6	15.00	16.00	1.00

=====

其中求解中的要求：

- (1) 语言和软件: python、PyCharm 2022.1.2 和 Gurobi 12.0.1; 重要!!!! 重要!!!!
- (2) 给出十分十分十分十分十分详细的编码的 Demo 和伪代码; 重要!!!!
- (3) 代码需要给出十分十分十分十分十分详细的中文注释, 方便理解; 重要!!!!
- (4) 请输出完整代码, 一定一定一定不要省略代码; 重要!!!! 重要!!!! 重要!!!! 重要!!!!
- (5) 一定要遵循分支定价算法框架, 分支策略、搜索策略和列选取策略一定要详细完整; 重要!!!! 重要!!!! 重要!!!!
- (6) 一定一定一定要严格遵循主问题和子问题的目标和约束, 主问题 (目标 (112), 约束 (113) ~ (115)) 和子问题 (目标 (116), 约束 (117) ~ (156)), 不要省略目标和约束; 十分十分十分重要!!!!
- (7) 输出结果严格按照给的形式。输出结果包含启发式算法后的结果和最后分支定价算法的结果。重要!!!!
- (8) 初始列一定要满足混合整数规划模型 (MIPM- II) 的所有约束 (约束 (6) ~ (42))!!!!!! 重要重要!!!!!!!!!!!!!!
- (9) 输出结果包含初始列的输出结果和最后分支定价算法求解后的输出结果!!!!!! 重要!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!