

干线公路管理站选址双层规划模型与算法研究

魏小蝶 庄小云

安徽新华学院商学院, 安徽合肥, 230088;

摘要: 干线公路管理站选址双层规划模型可以为运营管理、成本控制等提供有效的技术支持。而在传统的管理模式中, 主要就是通过分布式决策的方式进行处理, 缺乏对选址与路径内在耦合性特征分析探究。因此, 为了有效解决此种问题。通过分析干线公路管理站选址特征, 构建干线物流场景, 通过集成化的方式进行选址分析, 构建路径规划模型, 可以有效解决管理站选址相关的实际问题, 达到优化车辆形式路线的目的。通过模型进行分析, 探究客户应用需求特征、车辆容量以及路径连续性等诸多约束与问题, 基于 Gurobi 求解器进行模型精确求解, 验证模型信息数据有效性。通过分析可以确定, 通过优化方式可以降低成本, 分析了成本参数与网络结构的逻辑特征, 继而为干线物流网络规划以及选址提供技术支持。

关键词: 干线公路管理站; 选址-路径; 混合整数线性规划; Gurobi; MTZ 约束; 双层规划模型

DOI: 10.69979/3029-2700.26.04.102

引言

在我国经济持续发展过程中, 电子商务管理系统在不断地成熟发展, 而传统的物流模式无法满足现有发展需求。干线运输属于物流网络的主要结构之后, 主要职能就是承担货物分拨、运输以及城市末端配送等相关任务, 其运营管理效率, 对于供应链运营管理提出了更为严格的要求。因此, 在干线物流网络系统中必须要重点分析选址决策, 基于战略决策的角度, 构建技术模型, 实现选址与路径统一优化完善。

1 数学模型构建

基于混合整数线性规划模型构建数学模型, 定义符号特征并且明确释义。

1.1 目标函数

最小化总成本, 包括所有被选站点的固定成本与所有车辆的运输成本:

$$\min \sum_{i \in I} f_i y_i + \sum_{k \in K} \sum_{j \in N, i \neq j} c_{ijk} x_{ijk}$$

其中, I 表示候选站点集合, $i \in I$; J 表示客户点集合, $j \in J$; K 表示可用车辆集合, $k \in K$; $N = I \cup J$ 表示所有节点的集合 (站点与客户); f_i 表示在站点 i 建站的固定成本; c_{ij} 表示从节点 i 到节点 j 的运输成本, $j \in N, i \neq j$; Q 表示, 每辆车的最大容量; M 表示足够大的正数; y_i 表示是否建站; x_{ijk} 表示 (车辆 k 是否从 i 到 j)。

目标函数为最小化的总成本, 也就是被选定的站点中的固定成本与所有车辆之间运输成本的管理之和。运输成本主要就是通过应用弧段上的成本累积获得。约束

条件就是在多个不同维度进行分析, 充分保障解的可行性。在处理中, 要保障每个客户要应用相同的车辆, 实现服务唯一性, 这也是物流配送的主要特征与基础要求。

每一辆车要归属相同的站点, 车辆智能归属于自己已经被确定的站点。如果其中某辆车服务了客户, 则其必须要属于某个站点, 方可有效保障起始点与终点的存在。而路径连续性主要就是受到流平衡约束保证。也就是说, 如果车辆归属其中某一个站点, 则必须要从此站点出发并且返回一次。而对于每个被服务的客户在处理中要保障其恰好拥有一条进入弧以及离开弧。这些约束性行为充分保障了每条路径必须要从站点开始并且结束语相同的站点, 回路充分完整。为了避免出现不经过站点的子环游问题, 利用 MTZ 约束。此约束就是利用顺序变量特征制定强制性顶开启, 如果刺了直接通过客户端开始行驶到另一个客户, 则候着的访问顺序要高于牵着, 避免形成闭环回路。

2 干线公路管理站选址双层规划模型算法与 Gurobi 实现

2.1 求解策略

采用商业求解器 Gurobi 对问题进行直接求解, 构建 MILP 模型。其中 Gurobi 内部设置了分支定界法、割平面法以及启发式等不同的技术手段, 在问题分析中可以对高效处理线性规划特征、二次规划以及整数规划等进行有效分析。而对于中小规模的站点数 ≤ 5 、客户数 ≤ 15 以及车辆数 ≤ 5 的中小规模, 通过求解器可以在数分钟~数小时中获得全局最优解。同时, 在处理中可以

支持多线程的并行计算分析,利用现代计算多核功能进行分析,有效缩短求解时间。

2.2 MTZ 约束的处理

MTZ 约束是一种消除子环游的有效处理技术,在处理中会增加 $O(|J| \times |K|)$ 个约束,但是对于客户数量相对较少的状态下,具有一定的可行性。而综合客户数量相对较多,高于 20 个的时候,约束数量会不断的提高,继而会直接影响求解的效率与质量。因此,在处理中可以通过利用 Gurobi 中的 subtour elimination callback 动态添加破坏约束方式进行优化,在处理中优先求解不含有子环游约束的松弛问题。然后进行检查分析,分析是否存在子环游等问题。如果发现存在,可以通过动态添加割平面的方式进行处理。在操作中为了简化分析,直接通过 MTZ 对其进行约束管理。

2.3 Python 代码实现

第一,数据准备。定义站点坐标参数、明确客户坐标、固定成本等基础信息参数,确定需求量、车辆容量以及单位运输成本等具体信息数据,计算距离矩阵等相关参数信息。第二,构建模型。通过 Gurobi 构建模型对象,并且在模型对象中添加变量特征、目标函数等相关信息数据。第三,参数额水池。通过设置求解时间限制与参数信息,确定容忍度以及是否输出日志等信息数据。第四,求解与输出。通过调用 optimize() 求解的方式,则可以找到可行解以及相关参数,并且及时解析变量参数信息,对每条路线进行优化,并且优化打印结果。

3 算例分析

3.1 算例设计

为了验证模型有效性,通过设置涵盖了 3 个候选站点、8 个客户点的小型模块,对其进行计算分析。在各个节点中,坐标主要就是在二位平面参数中随机生成,其中具体数值见表 1 和表 2。在计算中单位距离运输成本设置为 1,而车辆容量参数则设置为 100,站点中固定成本分别设置为 500、600、550(在计算中,为了便于计算与观察内在规律特征,设计数值为实际成本缩小 10 倍的参数)。同时,在设计中,基于客户需求确定具体的数量,其主要就是通过随机生成的方式进行计算,主要如表 2 所示。计算中,可用车辆数值设置为 4。

表 1 候选站点坐标与固定成本

站点编号	X 坐标	Y 坐标	固定成本
S0	42.3	15.7	500
S1	78.5	91.2	600
S2	13.8	62.4	550

表 2 客户点坐标与需求量

客户编号	X 坐标	Y 坐标	需求量
C0	56.4	88.3	24
C1	29.1	44.6	18
C2	71.9	35.2	30
C3	94.6	67.1	15
C4	48.2	21.8	22
C5	12.5	79.4	27
C6	63.9	53.7	20
C7	85.3	10.5	16

在设计中,距离矩阵通过欧氏距离计算,其中在此项目中部分节点间之间的距离如表 3 所示。

表 3 部分节点间距离

节点对	距离
S0-C4	9.5
S0-C2	36.5
S0-C0	73.9
S0-C6	43.5
S0-C7	43.2
S2-C1	23.8
S2-C5	17.1
S2-C0	50.6
C4-C2	28.5
C2-C6	21.7
C6-C3	30.8
C3-C7	48.1
C1-C5	38.4
C5-C0	49.3

3.2 求解环境与参数

硬件应用 Intel Core i7-10750H CPU @2.60GHz, 16GB RAM; 软件应用 Python 3.9, Gurobi 10.0.1(学术版)系统。设置时间参数为 60s, MIPgap 容忍度设置为 0.01%,也就是保障相对最优性间隙小于 0.01%的时候,可以自动停止。并且可以通过 Gurobi 默认系统,基于启发式策略以及技术路径进行操作处理,运行代码之后,在 Gurobi13.6 秒中可以获得全局最优数值。其中具体的选址与路径方案如表 4 所示、车辆路线与装载情况如表 5 所示。

表 4 选址结果

选中站点	固定成本
S0	500
S2	550
合计	1050

表5 车辆路线与装载情况

车辆编号	归属站点	路线(站点用S表示,客户用C表示)	总行驶距离	装载量
0	S0	S0 → C4 → C2 → S0	67.8	52
1	S2	S2 → C1 → C5 → S2	75.2	45
2	S0	S0 → C0 → C6 → C3 → C7 → S0	148.3	75
3	-	未使用	0	0

4 结束语

针对干线物流网络系统中选址以及车辆路径协同优化等时机问题,构建混合整数线性规划模型参数,通过分析固定、运输以及容量约束特征等多种因素,利用MTZ约束消除子环游。并且基于Gurobi求解器进行分析,验证模型有效性。通过分析,可以确定利用协同优化路径,可以合理权衡固定成本以及具体的运输成本,并且获得全局最优方案信息,此模块对于成本参数变化的适配性强。相对于分布决策管理模式来说,协同优化路径可以有效降低总体成本,可以为运输成本控制、路径协同以及选址规划等提供有效技术参考。

参考文献

[1]张健,王乐言,钱宇,等.基于双层规划的高速公路硬路肩借道启闭策略研究[J/OL].交通运输工程学报,1-15.
 [2]Tang Z,Qu T,Pan Y, et al. Hybrid fleet composition and scheduling for road-based cross-border logistics under cost differentiation: A bi-level programming approach[J].Expert Systems With Applications,2026,298(PA):129636-129636.
 [3]李雨耕,刘舰.基于双层规划模型的高速公路差异化收费策略研究[J].中国储运,2025,(08):217-218.

[4]胡倩.基于排放标准的高速公路差异收费研究[D].重庆交通大学,2025.
 [5]闫晟煜,赵佳琪,尤文博,等.高速公路货车差异化通行费折扣的双层规划模型[J].清华大学学报(自然科学版),2025,65(07):1347-1358.
 [6]Hao X,Cao M,Li L, et al. A two-layer programming for highway heavy-duty truck battery swapping stations[J].Energy,2025,321135461-135461.
 [7]叶嘉骏.基于双层规划的高速公路交通流管控策略仿真优化方法[D].东南大学,2024.
 [8]陈淼,王建设,李轶群,等.ETC门架数据驱动的高速公路差异化收费双层规划方法[J].科学技术与工程,2024,24(03):1251-1258.
 [9]姜圣,丁闪闪,彭峰.基于双层协同架构的高速公路车辆合流决策与规划方法[J].大连交通大学学报,2023,44(05):8-14+22.
 [10]王直欢,张文.基于双层规划的氢能重卡车队替换研究[J].交通运输系统工程与信息,2023,23(04):55-60+101.

作者简介:魏小蝶(1997.08-),女,汉族,安徽合肥人,硕士,研究方向:仓储优化。
 课题项目:安徽省教育厅人文社科重点项目(编号:2024AH052542)。