

基于节约里程法的物流低碳配送路径优化

郝一琢^{1,*}, 刘雅韵¹

(1. 济南大学, 管理科学与工程学院, 山东济南, 250002; * 1035731430@qq.com)

摘要: 为了响应国家节能减排的号召, 推动物流配送的低碳化发展, 需要对物流低碳配送路径进行优化。本文以 C 企业熟食产品配送为具体案例, 运用节约里程法对其配送路径进行了优化设计。结果表明: 经过优化后的配送路径不仅更短, 而且碳排放量显著降低, 有效提升了企业的经济效益。本研究不仅有助于推动物流行业的绿色可持续性发展, 同时也为其他物流企业在解决实际配送问题时提供了有效的参考依据。

关键词: 节约里程法; 低碳; 路径优化

随着全球气候变暖的日益严重, 低碳环保已经成为社会各界的共识。在物流领域, 传统的配送模式往往伴随着大量的能源消耗和碳排放, 为了响应国家节能减排的号召, 推动物流配送的低碳化发展势在必行。在此背景下, 优化配送路径对于实现物流低碳发展具有重要意义。本文运用节约里程法, 以 C 企业连锁超市熟食产品的物流配送路径为研究对象, 对其配送路径进行优化研究, 以降低企业运营成本, 促进企业绿色发展[1]。

1 问题描述

在物流领域中, 配送路径问题本质上被归类为车辆路径问题 (Vehicle Routing Problem, VRP), 是运筹学和物流管理领域的重要研究内容。在解决 VRP 时, 尽管存在多种方法和技术, 但对于小规模配送场景, 节约里程法 (Saving Algorithm) 因其高效实用性和操作简便性而备受推崇。

在熟食产品配送的过程中, 企业需统筹调度时间和车辆资源, 以实现向多个客户点的货物配送。鉴于熟食产品对配送时间的要求相对较为灵活, 本文在模型构建过程中忽略了时间窗的约束, 转而以最小化运输里程作为主要优化目标。同时考虑碳排放量因素, 促进熟食产品物流配送的环保性。最终在模型构建中, 以满足客户需求为基本前提, 以最小化配送里程为目标。此外, 为了确保配送过程的顺利进行, 设置了车辆不超载和运输车的配送总里程不超过预定上限的约束条件。

2 节约里程法概述

2.1 概述

节约里程法, 正式称为节约算法, 由 Clarke 和 Wright 于 1964 年提出, 是一种被广泛认可并用于解决车辆路径问题 (VRP) 的启发式方法, 特别是在运输车辆数目不确定的情境下。该算法的核心功能在于, 通过计算和分析, 能够精确确定配送过程中所需的最少车辆数量, 以及每辆车应遵循的最优行驶路径[2]。

2.2 节约里程法基本原理

节约里程法在满足预设约束条件的前提下, 逐步合并配送网络中的回路, 使每次合并后总运输距离的减少量达最大化。当某一车辆的装载能力达到其极限时, 转向下一辆车的配送路径规划, 并持续此过程直至所有客户的货物均得到配送。

如图 1 所示，考虑一个配送中心 P 对两个客户点 M 和 N 的配送场景。其中，配送中心 P 到客户点 M 和客户点 N 的最短距离分别为 L_M 和 L_N ，而客户点 M 与客户点 N 之间的最短距离为 L_{MN} 。设定客户点 M 和客户点 N 的货物需求量分别为 Q_M 和 Q_N ，且两者之和 (Q_N+Q_M) 不超过配送车辆的额定装载量 Q [3]。

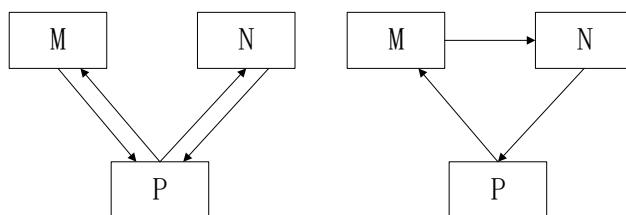


图 1 节约里程法原理

在传统的一对一配送模式下，配送中心 P 需要分别为客户点 M 和客户点 N 进行配送，此时的总配送路程 $D_1 = 2(L_M + L_N)$ 。然而，根据节约里程法的原理，若采用一辆车连续为客户点 M 和客户点 N 进行配送，则仅需一个车次，总路程 $D_2 = L_M + L_N + L_{MN}$ 。根据三角不等式原理，任意两边之和大于第三边，即 $L_{MN} < L_M + L_N$ 。因此，采用节约里程法所规划的配送方案，其行驶的总路程更短，从而证明了该方法的优越性。

因此，当配送中心 P 需要面对多个客户点时，若配送车辆的载重和体积均满足要求，可以根据节约路程的大小，将各个客户点依次纳入巡回配送线路中，直至车辆满载。在此过程中，每辆车在满足所有约束条件后，所服务的客户点越多，所节省的配送里程总数就越大，从而显著提高了物流配送的效率和成本效益。

2.3 节约里程法的设计步骤

(1) 数据收集: 通过实地调研获取配送中心至各个分店之间的实际距离、货物载重量等关键信息。

(2) 编制节约里程表: 节约里程数反映了合并两个配送回路所节约的行驶距离，为后续的路径优化提供了量化指标[4]。

(3) 构建节约里程排序表: 根据节约里程数的大小对节约里程表进行降序排序。该表直观地展示了各配送点之间的节约里程关系，为后续的回路合并提供清晰的优先级指导[5]。

(4) 合并回路并确定最优解: 根据排序表，按节约里程数合并配送回路。同时，确保车辆载重和行驶距离符合限制，持续调整路径，直至无法找到满足所有条件的新回路。

3 实例分析

本文以潍坊 C 企业为实例进行研究，对其熟食产品其配送路线进行优化。选取 C 企业配送的佳乐家超市门店。此类门店发挥了熟食经营上的优势，提高熟食经营占比，通过拉长熟食经营长板，满足消费者一日三餐的需求。门店所有熟食产品全部由 C 企业统一加工配送，不经过任何中间环节。

3.1 初始方案

在潍坊市区内，选取了 C 企业旗下 9 家具有代表性的生活超市作为配送目标。这些门店被依次编号为 A 至 I，配送中心 P 负责向这些门店配送商品。目前，配送中心 P 使用载重为 4 吨的货车进行配送，其初始配送路线为 P-A-B-P、P-C-P、P-D-P、P-G-P、P-E-F-P、P-H-I-P。受限于客户时间和成本控制，每车配送累计距离不得超 40 公里。为了更精确地规划配送路线，获取到的配送中心、门店编号及需求量详见表 1。同时，获取了配送中心与各门店之间，以及各门店相互之间的实际距离数据，如图 2 所示。这些路程数据均基于百度地图的实时数据，连线上的数字表示两点之间的实际距离，单位为千米。基于以上信息，运用节约里程法对配送路线进行优化。

表 2（续表）

G	10.4	6.3	7.1	6.7	3.5	4.4	4.8	G	
H	9.8	4.8	5.5	5.1	2.3	2.9	3.3	1.6	H
I	12.6	9	9.8	9.2	6.3	7.1	7.4	2.8	4.3

（2）基于节约里程法的原理，计算出了各配送路径的节约里程数，并整理出了节约里程表，具体数据如表 3 所示。

表 3 节约里程表（单位/千米）

P	A							
B	15.6	B						
C	15.7	19.1	C					
D	12.9	13.4	14.5	D				
E	15	16.5	18	15.1	E			
F	15.3	17.5	19.7	15.2	18.8	F		
G	12	13	14.8	14.8	15.4	16	G	
H	12.9	14	15.8	15.4	16.3	16.9	18.6	H
I	11.5	12.5	14.5	14.2	14.9	15.6	20.2	18.1

（3）按照由大到小的顺序进行了降序排序，形成了节约里程排序表，具体数据详见表 4。

表 4 节约里程排序表（单位/千米）

序号	连接点	节约里程数	序号	连接点	节约里程数	序号	连接点	节约里程数
1	G-I	20.2	13	C-H	15.8	25	C-G	14.8
2	C-F	19.7	14	A-C	15.7	26	C-D	14.5
3	B-C	19.1	15	A-B	15.6	27	C-I	14.5
4	E-F	18.8	16	F-I	15.6	28	D-I	14.2
5	G-H	18.6	17	D-H	15.4	29	B-H	14
6	H-I	18.1	18	E-G	15.4	30	B-D	13.4
7	C-E	18	19	A-F	15.3	31	B-G	13
8	B-F	17.5	20	D-F	15.2	32	A-D	12.9
9	F-H	16.9	21	D-E	15.1	33	A-H	12.9
10	B-E	16.5	22	A-E	15	34	B-I	12.5
11	E-H	16.3	23	E-I	14.9	35	A-G	12
12	F-G	16	24	D-G	14.8	36	A-I	11.5

（4）基于节约里程排序表，进行系统的线路优化。首先，优先合并节约里程数较大的连接节点 G 和 I，考虑到运载量限制，进一步将客户点 F、C 纳入此回路，形成回路 P-G-I-F-C-P，其配送里程为 33.5km，运载量 4t，符合 4t 货车的载重要求，因此成功合并客户点 G、I、F 和 C。随后，剔除 G、I、F 和 C 的相关路线，继续以相同原则合并 B、E，形成回路 P-B-E-P，其总配送里程为 21.7km，运载量 3.9t 刚好符合载重限制。再尝试加入 D 点，因运载量超标而终止。剔除 B、E 后，继续运用节约里程法，并结合车辆载重和配送里程限制，对剩余配送路线进行修正，直至所有客户点均纳入配送网络中并得到 P-D-H-A-P 路线。

经过优化，原总里程 125.5km 的配送路线缩减为 3 条线路，总配送里程降至 78.1km，实现了 47.4km 的里程节约。最终优化的配送路线方案详见表 5。

表 5 最终优化方案

车辆编号	配送线路	计划载重量/t	配送路程/km
1	P-G-I-F-C-P	4.0	33.5
2	P-B-E-P	3.9	21.7
3	P-D-H-A-P	3.5	22.9

4 结果与效益分析

4.1 固定运输成本分析

在充分考虑实际运营成本的背景下，假设车辆行驶单位距离的运输费用为 2.5 元/km，每辆运输车的固定成本为 150 元。通过应用节约里程法优化配送线路，成功地将运输距离缩短了 47.4km，并实现了从 6 辆到 3 辆运输车的优化调配。这一举措为 C 公司每天节约 568.5 元的固定运输成本。因此，采用节约里程法优化配送方案，能够降低企业的运营成本。

4.2 碳排放分析

为了准确计算碳排放成本，首要步骤是量化配送车辆在运输过程中产生的二氧化碳排放量。这些排放主要源自燃烧柴油等自然能源。因此，本文详细探讨了物流配送过程中的二氧化碳排放计算方法。具体来说，从节点 i 到节点 j 的碳排放量可通过以下公式进行估算：

$$E_{ij}=eF_0d_{ij}$$

(1)

公式中：

e 代表二氧化碳排放系数，表示每单位油耗所产生的碳排放量，其值为 2.8 kg/L；

d_{ij} 表示配送点（i）到配送点（j）之间的距离；

F₀ 为车辆单位距离的燃油消耗量，忽略车辆载重的影响，其值为 0.23 L/km[6]。

公式(1)为量化物流配送过程中的碳排放提供了一个基础框架，有助于企业了解并优化其运输活动的环境影响。通过计算可得本次运输节约的碳排放量约为 30.5 kg。按照碳税价格 2 元/kg 计算，企业可以降低碳排放成本约 61 元。

5 结论

以 C 公司物流配送线路为研究对象，通过应用节约里程法，在综合考虑多种因素的约束下，对配送线路进行了优化，实现了配送成本最低和碳排放的最小化，充分证明了节约里程法在物流配送路径优化中的作用，尤其适用于小型的物流网络，有效解决了低碳物流配送路径问题，推动了物流行业的绿色和可持续发展。

参考文献

[1] 李芬华.低碳视角下的物流配送路径优化研究[J].低碳世界,2023,13(12):166-168.

[2] Clarke G ,Wright JW .Scheduling of vehicles from a central depot to a number of delivery points. [J]. Oper Res ,1964,12: 568–81

[3] 尚洲金,鲁明春.基于节约里程法的连锁经营企业配送路线优化研究[J].铁路采购与物流,2022,17(08):47-49.

[4] 王智灵,周蕾,王情香.基于节约里程法的车辆配送路径优化研究[J].物流科技,2023,46(12):14-17+23.

[5] Qing F ,Xin X N ,Ke Y , et al.Optimization of Logistics Distribution Route Based on the Save Mileage Method and the Ant Colony Algorithm[J]. Applied Mechanics and Materials, 2013,448-453(448-453):3683-3687.

[6] 孙超伟.考虑碳排放的 K 冷链物流公司乳制品配送路径优化研究[D].山东财经大学,2022.