

港口物流运输准点到达影响因素与成本效益分析及最优路径设计研究

陈燕婷, 魏以恒

上海理工大学管理学院, 上海

收稿日期: 2024年4月27日; 录用日期: 2024年5月22日; 发布日期: 2024年5月31日

摘要

物流运输优化是现代供应链管理中的一个重要组成部分, 它涉及对运输网络、运输方式、运输成本、运输效率和运输服务等方面的持续改进和创新。随着全球化和市场竞争的加剧, 物流运输优化对于企业降低成本、提高效率、增强竞争力具有重要意义。物流运输优化主要关注如何更好的管理物流运输链, 提高运输效率和降低运营成本。基于此, 本文研究了影响运输效率的因素以及建立模型比较不同路径所花费的成本。首先, 本文基于某港口物流公司实际运输数据, 分析影响货物是否准点到达的影响因素, 运用回归分析确定影响货物准点到达的几个重要的影响因素。其次本文基于回归结果建立了一个数学模型, 确定最小化物流运输成本条件下的最佳路径。通过收集了运输过程中的各个环节的时间数据, 本文分析了这些时间数据与货物准点到达之间的关联性, 并对影响因素进行分析。本文将数据代入模型来计算出每条路径的成本, 比较了不同路径之间的成本差异, 包括物流运输过程中的时间成本、人工成本以及其他相关费用。最后, 本文再采用节约里程算法对所研究企业的配送路径优化问题进行探究剖析, 通过分析这些数据和计算结果来确定最佳成本路径。

关键词

物流运输, 运输效率, 成本比较, 节约里程

Research on the Analysis of Factors Affecting Punctuality in Port Logistics Transportation and Cost-Benefit Analysis and Optimal Route Design

Yanting Chen, Yiheng Wei

Business School, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai

Abstract

Logistics transportation optimization is an important component of modern supply chain management. It involves continuous improvement and innovation in aspects such as transportation networks, modes of transportation, transportation costs, transportation efficiency, and transportation services. With the rapid development of globalization and intensifying market competition, logistics transportation optimization is of great significance for enterprises to reduce costs, improve efficiency, and enhance competitiveness. The focus of logistics transportation optimization is on how to better manage the logistics transportation chain, enhance transportation efficiency, and reduce operational costs. In light of this, the present study investigates the factors that influence transportation efficiency and establishes a model to compare the cost of different routes. The paper has collected transportation data from a port logistics company, analyzed the factors affecting the punctuality of cargo arrival, and conducted a regression analysis on the time difference between the actual arrival time and the required arrival time to identify several key factors that affect punctual cargo arrival. Based on the regression results, a mathematical model is constructed in this paper to determine the optimal route under the condition of minimizing logistics transportation costs. By collecting time data from various stages of the transportation process, this paper analyzes the correlation between these time data and the punctuality of cargo arrival and conducts an analysis of the influencing factors. The paper then substitutes the collected data into the model to calculate the cost of each route and compares the cost differences between different routes, including the time cost, labor cost, and other related expenses in the logistics transportation process. Furthermore, the paper employs the savings distance algorithm to explore and analyze the optimization of the delivery routes for the studied enterprise, determining the best cost path through the analysis of these data and computational results.

Keywords

Logistics Transportation, Transportation Efficiency, Cost Comparison, Mileage Savings

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

在当今竞争激烈的市场环境中, 物流配送路径优化已成为企业在控制供应链成本、提升服务效率以及增强客户满意度方面的关键战略举措。现有文献研究焦点主要集中在以下几个核心领域: 物流成本管理、物流运输效率的优化、物流供应链的整合管理以及物流信息技术的应用与发展。本文的研究方向, 主要集中在物流运输系统的成本节约以及物流运输系统流程效率的提高方面。

在提高运输效率方面, Ross 提出, 开发分销规划的利润最大化网络模型, 并明确纳入分销中心和配送车辆的订单绩效标准, 重点研究供应网络中通过资源分配进行的绩效规划[1]; 施建华等人通过对车辆路径安排问题进行时间窗分析, 提出了一种新的启发式算法, 以优化车辆路径规划[2]; Zhang 等人通过元前沿数据包络分析(DEA)方法, 在考虑技术异质性和碳排放的情况下, 开发了一个新的物流效率评估分析框架[3]; Zhang 等人为了解决供应链中物流配送时间长的问题, 利用混合整数非线性规划理论建立

了混合整数非线性计划(MINLP)模型[4]; Zhao 等人提出了一种使用工业物联网和数字孪生技术的系统架构, 以实现时空可追溯性和可见性, 并实现成品物流的无缝网络物理同步[5]; Panayides 等人考察了物流研究中的一个原始概念, 该概念有助于该领域的理论, 为进一步研究提供了机会, 并阐述了组织资源如何对物流绩效做出贡献[6]; Peng 基于层次分析法的物流外包服务供应商选择研究[7]。Xiaolong 等人探讨了在冷链物流中考虑交通拥堵的时变效应的低碳路径规划, 提出了一种基于时变交通拥堵效应的低碳路径规划方法[8]。

在节约运输成本方面, Preston 等研究学者指出, 企业应从整体的视角, 综合分析相互割裂的各个环节, 以减少物流运输过程的时间, 提高物流运输效率[9]; Bramel 等人采用目标函数评价物流运输效率, 最终目标为总成本, 包含固定投资成本和物流运输成本, 通过分析各要素因子对目标的影响, 对物流运输系统效率进行评价分析[10]; 仲波等人采用层次成本分析法, 将物流运输系统成本分为营销成本、操作成本和战略成本, 通过分析三种不同层面的成本方向, 对整个物流运输的系统成本进行改进[11]; 姚飞等人提出利用模糊综合法将物流运输系统的成本分析与数学建模相结合, 通过求解函数来寻找物流运输成本控制各个影响因素, 以获得最佳成本控制结果[12]; Jin 等人主要通过合理选择运输路线和安排运输方式来降低物流运输成本, 同时解决货物充足或缺货时的运输路线安排问题[13]; Lu 等人提出了运输物流配送中心的双层规划模型, 将总运输费用和总固定投资费用作为一级目标函数, 以客户服务水平的规划费用作为二级函数来约束一级函数的取值, 通过算例验证了该模型的有效性[14]; Zhang 等人通过模型分析了如何能够尽量减少运输成本从货物源头向不同地点运输冷鲜肉[15]; Wang 等人涉及到紧急物流网络优化和时间窗口分配, 提出了一个紧急物流网络优化模型, 以最小化物流成本和满足时间窗口约束为目标[16]。

现有文献涉及了物流运输准时性的研究和物流运输资源利用策略的研究。本文在现有研究的基础上, 进一步深入探讨了港口物流运输准点到达的影响因素。研究重点包括对港口物流公司运输操作的分析, 以及通过数据统计来定量分析物流效率的提升、物流成本的降低和物流企业利润的增加。本文的目的是通过分析港口物流公司的运输数据, 识别并量化影响货物准时到达的关键因素。本文对不同目的地的运输成本进行计算, 旨在提出合理的运输策略建议。本文收集并分析了包括货物运输时间、运输方式、运输距离等多维度信息, 利用这些数据来确定影响物流运输准时性的主要因素。基于此, 本文构建了一个数学模型, 用以计算不同目的地的运输成本。模型考虑了运输距离、货物特性等多个因素, 以估算和比较不同地点的运输成本。通过分析比较, 本文确定成本效益较高的运输方案, 从而为物流公司提供降低运输成本和提升运营效率的策略建议。

为了更深入地研究影响运输准点到达时间的因素, 本文首先分析了运输过程中会影响准点达到的因素。通过回归分析, 确定对准点到达时间起着显著的影响的因素。考虑到物流公司对时效性的追求, 本文进一步探索了物流配送路径的优化方案, 以降低配送成本。本文选择了某港口物流企业作为研究对象, 并对该企业目前物流配送存在的问题进行了分析。根据分析结果建立了一个基于软时间窗约束的车辆路径优化模型, 该模型以运输成本和惩罚成本的总和作为衡量配送成本的指标。本文将企业的实际数据代入模型, 并利用数学优化方法进行求解, 从而得出在不同路径下的成本细节。最后, 本文对比分析了各个路径的结果, 以确定最优路径。

准点到达影响因素研究

以上海某港口物流公司为例, 给出完整的港口物流运输过程如图 1 所示。

委托任务: 港口物流配送的起始流程为公司接受客户的运输委托。在收到委托任务后, 公司会对内部的司机进行任务委托, 将相应的货物配送任务分派给他们。司机接受任务后, 会前往港口进行货物的装配和准备工作。

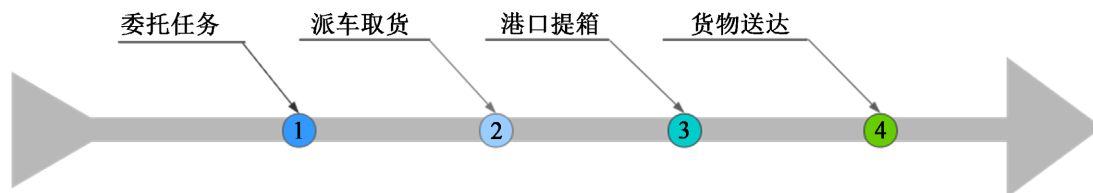


Figure 1. Port logistics transportation process
图 1. 港口物流运输流程

派车取货: 在港口, 司机将根据货物的特性和目标地点, 进行货物的装载和配置。他们可能需要考虑货物的重量、尺寸、特殊要求等因素, 以确保货物能够安全运输并满足客户的需求。一旦货物装配完成, 司机将开始运输货物, 并按照事先规划好的路径和时间窗进行配送。

港口提箱: 司机会在运输过程中确保货物的安全和完整性, 并监控运输进度, 以便及时调整计划和解决可能出现的问题。一旦货物到达目的地, 司机将卸货并完成配送任务。

货物送达: 完成配送后, 司机有可能会返回港口继续接收新的任务, 或者根据公司的调度安排继续进行其他运输工作。整个配送过程中, 公司与客户保持联系并提供必要的服务和支持, 以确保货物快速、准确地送达目的地, 满足客户的要求和期望。

2. 模型建立

回归分析是一种统计学方法, 用于研究两个或多个变量之间的关系。在本文的研究中, 运用回归分析来探索港口物流公司的运输数据, 取各个因素对准点到达的影响程度。首先, 本文建立一个线性回归模型, 其中实际与要求到达时间的差值作为因变量, 影响准点到达的因素(运输距离、运输时间)作为自变量。通过分析模型的回归系数, 得出这些因素对准点到达的相对重要性, 以及它们的影响方向。通过观察模型的回归系数和显著性水平, 确定对准点到达具有统计上的显著影响的因素。例如给定运输时间和运输距离时, 该回归模型进也可在该案例中预测准点到达偏离程度。

本文采用收集到港口物流公司 2023 年 3 月份 100 个木材运输订单的安排送达时间、提箱出港时间以及实际送达时间, 再通过地图计算得到从出发港口到目标地点的车程与行驶该路程理论花费的时间。通过 MATLAB 进行回归分析, 将实际送达时间与要求送达时间的差值作为因变量, 将预计花费时间, 路程和预计时间作为自变量, 进而得出几个自变量的权重, 得到影响准点到达的因素。表 1 为建立回归分析被解释变量和解释变量。

Table 1. Variable
表 1. 变量

变量	意义
y	实际运输到达时间与要求运输到达时间的误差
x_1	实际运输到达时间与司机提箱出港时间的差值, 即为实际运输时间
x_2	路程, 通过地图软件给出的推荐路程作为参考数据
x_3	集装箱尺寸, 可以装载货物数量, 尺寸型号分别为 40 和 80
x_4	提箱点, 分别代表不同的出发点, 数值越小, 提箱点距离上海出口越远

设线性回归模型为:

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_3 + \beta_4 x_4 \tag{1}$$

代入数据后, 经过 MATLAB 计算得到回归系数的估计值与置信区间如表 2 所示。

Table 2. Estimating values and confidence intervals of regression coefficients
表 2. 回归系数的估计值与置信区间

回归系数	回归系数估计值	回归系数置信区间
β_0	-0.1210	-0.4718 0.2297
β_1	0.8810	0.8239 0.9382
β_2	-0.0010	-0.0016 -0.0004
β_3	0.0056	-0.0011 0.0123
β_4	-0.0158	-0.0445 0.0129

得到回归模型为:

$$y = -0.1210 + 0.8810x_1 - 0.0010x_2 + 0.0056x_3 - 0.0158x_4 \quad (2)$$

$$R^2 = 0.8860, s^2 = 0.0362$$

分析模型得出结论, 运输时间与到达时间误差呈正相关, 运输路程与达到时间误差呈负相关。 R^2 为决定系数, 数值接近 1, 说明回归方程拟合度高。 s^2 为方差, 数值接近 0, 模型更好, 观察值更贴近拟合线。由此可以得出如果运输车队能够安排减少送货时间同时缩短送货路程, 采用更小尺寸的集装箱, 选择更靠近内陆的提箱点, 则到达目的地的时间误差将减小, 公司能更精确地预测商品送达时间, 为客户提供更高效的服务。因此, 港口物流运输需要通过优化物流计划、使用实时数据和智能路线规划系统精确安排送货时间和路线, 及时处理订单和准确预测需求。

3. 物流配送路径优化研究

3.1. 问题描述

首先公司调度人员先分配日常配送任务, 再确定各运输车需要配送的目的地, 使车辆使用效率最大化。但是公司缺少系统规划汽车配送路线, 公司司机能自由选择配送路线, 不够重视配送时间要求。本文旨在探讨不同客户的需求量及对配送服务时间窗需求的差异, 将已知配送所和配送点地理位置为基础, 建立物流配送总成本最小化优化模型。该模型的结果满足客户要求, 最后确定最佳配送路径。

3.2. 成本影响因素分析

时间窗约束

在实际情况下, 物流运输能准点到达的情形较少, 因此需要在车辆路径问题中考虑固定时间窗和可变时间窗这两种约束。

硬时间窗口是指在调度和物流管理中, 任务或作业必须在指定的时间窗口内完成的严格要求。如果任务未能在规定的时间窗口内完成, 将被视为违规或无效, 一旦没有严格遵循要求时间, 则直接完全取消订单。在实际情况下, 运输方与客户并不会采取这样的合作方式。硬时间窗口会造成供货方与需求方相互的经济损失。可变时间窗允许货物在规定时间范围内送达, 具有灵活性和弹性。相比于采用硬时间窗口, 采用软时间窗口时, 当超出规定时间范围, 客户不会完全取消订单, 会向供应商索取超时的损失赔偿。

这种具有时间要求但允许一定时间弹性的约束问题被称为可变时间窗车辆路径问题。与固定时间窗

相比, 可变时间窗更具有管理的灵活性, 并更加符合实际情况。因此, 本文将在可变时间窗约束下构建物流配送的优化模型, 并制定相应的惩罚机制, 从而提高货物配送的效率。

3.3. 配送成本分析

3.3.1. 假设条件

基于以上分析, 本文的港口物流配送路径模型将基于以下假设:

1. 车辆运输能力: 假设所有的运输车辆在运输过程中具有相同的运输能力, 包括载货量和速度。每个公司的货物由一个师傅一次送完。
2. 路况稳定性: 假设在时间窗期间, 道路和交通状况保持相对稳定。
3. 时间窗可信度: 假设所给定的软时间窗和硬时间窗都是可靠和准确的。也就是说, 客户的要求和约束是可靠的, 不存在信息错误或变化的情况。
4. 单一配送中心: 假设只有一个配送中心负责整个港口物流配送网络。
5. 单一产品类型: 数据中所有的货物都属于木材类货物, 没有不同产品间的装载限制或优先级差异。

3.3.2. 配送成本分析

模型符号说明如表 3 所示。

Table 3. Model symbol description

表 3. 模型符号说明

a	起始配送点
b_i	目标配送点 i , $i = 1, 2, 3 \dots$
l_{ab_i}	a 点到 b_i 点的距离
c	单位距离运输成本
k	单位时间消耗成本
c_0	车辆运输固定成本
C_{ab_i}	车辆从 a 点到 b 点过程中的运输成本
g_{ab_i}	户要求送达时间段下限
h_{ab_i}	客户要求送达时间段上限
x	货物达到时间
$C(x)$	超时成本
C	总成本
α	早到的惩罚系数
β	迟到的惩罚系数
P_0	配送中心
P_c	节约总成本
P_r	节约运输成本

货物的配送成本如下:

1. 运输成本

货物的运输成本由固定成本和可变成本组成。固定成本是指与运输距离和配送货物量无关的费用, 例如车辆购买费用、车辆保险费用等。可变成本是指与运输距离、运输时间成正比的费用, 例如燃料费用、车辆维修费用和司机工资等。

因此, 车辆从 a 起始点到 b 配送点过程中的运输成本可表示为:

$$C_{ab_i} = c * l_{ab_i} + k * x + c_0 \quad (3)$$

2. 超时成本

为保证获得更好的配送服务, 客户通常会规定货物的配送时间段 $[g_{ab}, h_{ab}]$, 并要求货物能够在此时间段内送达。在实际配送过程中, 由于各种原因(如交通拥堵、路况不佳、天气等因素), 运输车辆可能会延迟到达, 无法准点送达货物。运输的延迟可能导致客户失去信心和满意度降低, 进而带来经济损失, 因此, 企业需要承担并未准点送达所对应的超时成本。

则根据可变时间窗定义超时成本为:

$$C(x) = \begin{cases} \alpha * (g_{ab_i} - x), & x < g_{ab_i}, \alpha > 0 \\ 0, & h_{ab_i} < x < g_{ab_i} \\ \beta * (x - h_{ab_i}), & x > h_{ab_i}, \beta > 0, \alpha < \beta \end{cases} \quad (4)$$

3. 模型构建

根据运输成本和超时成本构成运输成本模型:

$$C = C_{ab_i} + C(x) \quad (5)$$

3.4. 模型应用

本文基于运输成本模型, 应用运输数据获得每次运输所预计需要花费的成本。通过收集数据并进行成本分析, 本文可以获得每个潜在运输地点的预计运输成本。通过比较该最优运输成本与其他潜在地点的成本, 利用运输成本模型能够确定哪个地点具有最低的总成本, 从而为公司选择最佳的运输地点提供依据。根据实际情况建立的条件为:

收集的数据经统计有 17 个送货地点。

数据中客户的要求时间段为预计送达时间前后 30 分钟。

因为目的是为了求出最少成本, 所以计算时可以简化参数数值。大部分情况是车辆迟到, 所以设 $2\alpha = \beta, \alpha = 1, c = 1$ 元/公里。

通过计算可以得到每个样本的总成本, 因为有相同地点, 所以对于运往相同地点的样本, 本文取平均值, 获得到表 4 的运输成本:

根据表中数据, 可以观察到成本最低的地点是上海市市辖区嘉定区马陆镇, 计算得出的成本为 147.80 + c_0 。

根据港口物流公司的数据可以明确看到, 超过 95% 的运输单都发生了超时现象, 多数物流运输的状况是超出可变时间窗口导致的惩罚成本产生。

数据显示, 运输距离的减少导致成本的降低, 得到运输距离与成本呈正相关。因此, 一般情形较短的运输距离往往会导致更低的成本。在面对订单容易超时的情况时, 公司优先选择距离较近的客户进行服务, 能够提高订单的准点交付率, 同时降低与其他客户的运输成本相比所需支付的成本。这种策略将有助于提高运营效率并降低整体成本支出。

Table 4. Transportation cost
表 4. 运输成本

	地点	成本(元)	路程(km)
1	浙江省金华市东阳市南马镇	$441.68 + c_0$	370.2
2	浙江省湖州市德清县洛舍镇	$294.23 + c_0$	251.5
3	浙江省湖州市德清县钟管镇	$275.06 + c_0$	245.1
4	浙江省杭州市余杭区塘栖镇	$253.27 + c_0$	250.2
5	浙江省宁波市余姚市小曹娥镇	$253.26 + c_0$	211.3
6	浙江省湖州市南浔区南浔镇	$246.89 + c_0$	205
7	浙江省嘉兴市南湖区七星街道	$193.08 + c_0$	168.2
8	浙江省嘉兴市嘉善县魏塘街道	$192.69 + c_0$	160
9	浙江省嘉兴市嘉善县惠民街道	$184.88 + c_0$	157
10	浙江省嘉兴市嘉善县干窑镇	$174.86 + c_0$	156.6

3.5. 路径规划

3.5.1. 节约里程算法

节约里程算法是一种针对不确定车辆数量的车辆路径问题的启发式求解方法。该算法的核心思想在于合并两条或多条运输线路为一条, 以实现每次优化后总运输里程的最大减少。节约里程算法以其简便性、快速性以及在小规模配送问题中能够获得接近最优解的特性而受到青睐。相较于其他策略, 节约里程算法在概念上更为明晰, 能够有效捕捉物流配送网络的效率优势, 从而便于企业进行物流运输的整合与优化。鉴于节约里程算法在配送路径优化中的显著优势, 本文将采用此算法对所研究企业的配送路径进行深入探讨和分析。通过对企业配送网络的详细剖析, 本文提出优化后的配送路径方案, 以提高物流配送效率, 降低运输成本, 并最终增强企业的市场竞争力。

节约里程算法的基本原理是三角形的任意两边长度之和一定大于第三边。 a 为配送中心, 从 a 向客户 x 和 y 运输货物。假设 a 与 x 和 y 的距离分别是 l_{ax} 和 l_{ay} , x 与 y 的距离是 l_{xy} 。现有两种运输方式: 第一种由配送中心 a 对客户 x, y 分两次配送, 配送路线为 $P_0 \rightarrow x \rightarrow P_0 \rightarrow y \rightarrow P_0$, 配送距离为 $2l_x + 2l_y$; 第二种由配送中心 P_0 对客户 x, y 一次性配送, 配送路线为 $P_0 \rightarrow x \rightarrow y \rightarrow P_0$, 配送距离为 $l_{ax} + l_{xy} + l_{ay}$ 。令节约里程数为 H_{xy} , 方案 2 与方案 1 相比节约的路程为:

$$H_{xy} = l_x + l_y - l_{xy} \quad (6)$$

在运输车辆的载重范围内, 由配送中心出发, 向 i 个用户进行送货, 每次车辆经过的客户的数量越多, 从节约里程法的思路来看, 其节约的里程量越大, 运输的方案效果越显著。

总成本包括运输成本和惩罚成本。本文运用节约里程算法, 对物流企业现有的运输配送路径进行优化, 计算所选取的门店的节约成本, 将节约成本最大的门店依次加入规划的配送路径中, 并重复此步骤直到将所有门店都加入配送路径中。令节约的总成本 P_c , 由节约的运输成本 P_r 和惩罚成本 $C(x)$ 共同组成:

$$P_r = c * H_{ab_i} + k * \frac{H_{ab_i}}{v} \quad (7)$$

$$\max P_c = P_r - C(x) \quad (8)$$

3.5.2. 运输数据

由于公司运输送货点较多, 本文仅采用浙江省 10 个常用送货地点进行研究, 调研所得 10 个送货地点之间距离如表 5 所示。

Table 5. Distance between delivery locations

表 5. 送货地点之间距离

距离(km)	港口	魏塘街道	南浔镇	钟管镇	洛舍镇	干窑镇	惠民街道	七星街道	小曹娥镇	塘栖镇	南马镇
港口	0	160	205	245	252	157	157	168	211	250	370
魏塘街道	160	0	62	100	120	6	8	11	98	105	255
南浔镇	205	62	0	45	70	65	72	55	140	66	260
钟管镇	245	100	45	0	15	100	108	92	175	28	230
洛舍镇	252	120	70	15	0	116	120	103	170	30	225
干窑镇	157	6	65	100	116	0	12	15	98	105	260
惠民街道	157	8	72	108	120	12	0	20	92	105	252
七星街道	168	11	55	92	103	15	20	0	105	95	245
小曹娥镇	211	98	140	175	170	98	92	105	0	140	205
塘栖镇	250	105	66	28	30	105	105	95	140	0	192
南马镇	370	255	260	230	225	260	252	245	205	192	0

3.5.3. 算例分析

本文以 X 企业为算例, 利用四个步骤出发, 分析获得 X 企业的配送路径优化。根据 X 企业的实际情况, 文中所用到的其他参数设置为 c : 1 元/公里, v : 75 公里/小时, k : 1 元/公里, 最早客户需求目的地为魏塘街道。

根据公式(7)获得节约里程数表 6。

Table 6. Save mileage

表 6. 节约里程数

距离(km)	魏塘街道	南浔镇	钟管镇	洛舍镇	干窑镇	惠民街道	七星街道	小曹娥镇	塘栖镇	南马镇
魏塘街道	0	303	305	292	311	309	317	273	305	275
南浔镇	303	0	405	387	297	290	318	276	389	315
钟管镇	305	405	0	482	302	294	321	281	467	385
洛舍镇	292	387	482	0	293	289	317	293	472	397
干窑镇	311	297	302	293	0	302	310	270	302	267
惠民街道	309	290	294	289	302	0	305	276	302	276
七星街道	317	318	321	317	310	305	0	274	323	293
小曹娥镇	273	276	281	293	270	276	274	0	321	376
塘栖镇	305	389	467	472	302	302	323	321	0	428
南马镇	275	315	385	397	267	276	293	376	428	0

为使得计算每一步为最优解, 假设运输车辆的出发点港口为配送中心。按照第一步排列的目的地顺序, 将要求配送时间最早的客户作为第一个配送对象。再计算从第一个门店到各个门店的节约里程数 H_{xy} , 将结果最大的门店作为第二个配送对象, 依次重复, 直到所有门店都被安排到配送路径中, 获得得出优化后配送路径。因此得到最优路径为图 2 所示。



Figure 2. Priority customer optimization path

图 2. 优先客户优化路径

若以距离最近的客户为首个运输对象, 得到最优路径为图 3 所示。

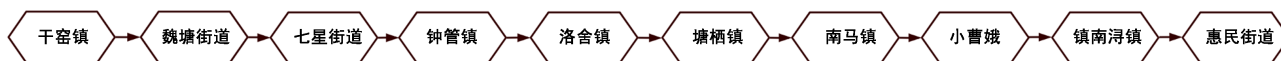


Figure 3. Priority delivery distance optimization path

图 3. 优先配送距离优化路径

对比以上两个运输结果, 优先考虑客户的优化路径行驶路程为: 924 km; 优先考虑配送距离的优化路径行驶路程为: 912 km。

使用公式(7)、(8)计算得到两种方式的节约成本如表 7 所示。

Table 7. Calculation results

表 7. 计算结果

	节约路程(km)	节约成本(元)
考虑时间	924	936.32
最近优先	912	924.16

相比于表 3 的原始运输成本, 节约里程算法节约了 912 km 的路程, 节约了 924.16 元的成本。

4. 结论

本文探讨了影响物流运输准点性的关键因素, 并针对运输路径进行了优化分析。首先, 通过回归分析, 对运输过程中的时间和距离数据进行了深入分析, 得到物流运输时间与到达时间误差之间存在显著的正相关性, 运输距离与到达时间误差则呈现显著的负相关性。据此, 可得出结论若物流运输车队能够有效缩短送货时间并减少送货距离, 将有助于降低到达目的地的时间误差。

其次, 本文以使配送货物准点到达同时降低配送成本为核心目标, 进一步探讨了最优物流配送路径问题。选取某港口物流企业作为案例研究对象, 基于该企业现行的物流配送目标, 进行了路径规划分析。依据前述回归分析的结果, 构建了一个考虑可变时间窗约束的车辆成本模型, 该模型将运输成本与惩罚成本之和作为评估配送成本的综合指标。

最后, 本文使用节约里程法建立一个基于可变时间窗约束的车辆路径优化模型, 通过减少行驶路径, 实现每次优化后总运输里程的最大程度降低。本文将企业的实际运营数据代入模型中, 并运用数学优化技术进行求解, 获得经过节约里程优化后的路径方案。

最终的分析结果表明, 与传统的顺序配送方式相比, 节约里程法能够为物流公司带来运输成本的显著节约。本文不仅为物流企业提供了一种有效的运输路径优化策略, 也为相关领域的研究提供了理论和

实践的参考。

参考文献

- [1] Ross, A.D. (2000) Performance-Based Strategies Resource Allocation in Supply Networks. *International Journal of Production Economics*, **63**, 255-266. [https://doi.org/10.1016/S0925-5273\(99\)00022-5](https://doi.org/10.1016/S0925-5273(99)00022-5)
- [2] 施建华. 电子商务对物流系统的整体影响分析[J]. 山东纺织经济, 2013(2): 44-45.
- [3] Zhang, H., You, J., Haiyirete, X., *et al.* (2020) Measuring Logistics Efficiency in China Considering Technology Heterogeneity and Carbon Emission through a Meta-Frontier Model. *Sustainability*, **12**, 8157-8157. <https://doi.org/10.3390/su12198157>
- [4] Zhang, Y., Kou, X., Song, Z., *et al.* (2021) Research on Logistics Management Layout Optimization and Real-Time Application Based on Nonlinear Programming. *Nonlinear Engineering*, **10**, 526-534. <https://doi.org/10.1515/nleng-2021-0043>
- [5] Zhao, Z., Lin, P., Shen, L., *et al.* (2020) IoT Edge Computing-enabled Collaborative Tracking System for Manufacturing Resources in Industrial Park. *Advanced Engineering Informatics*, **43**, Article ID: 101044. <https://doi.org/10.1016/j.aei.2020.101044>
- [6] Panayides, M.P. (2007) Effects of Organizational Learning in Third-Party Logistic. *Journal of Business Logistics*, **28**, 133-158. <https://doi.org/10.1002/j.2158-1592.2007.tb00061.x>
- [7] Peng, J. (2012) Selection of Logistics Outsourcing Service Suppliers Based on AHP. *Energy Procedia*, **17**, 595-601. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2012.02.141>
- [8] Guo, X., Zhang, W., *et al.* (2022) Low-Carbon Routing for Cold-chain Logistics Considering the Time-Dependent Effects of Traffic Congestion. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, **113**, Article ID: 103502. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2022.103502>
- [9] White, K.P., Barney Jr, B., Keller, S., Schwieters, R., *et al.* (2011) An Object Oriented Paradigm for Simulating Postal Distribution Centers. *Proceedings of the 2001 Winter Simulation Conference*, Arlington, 9-12 December 2001, 1007-1012.
- [10] Bramel, J. and Simchilevi D. (1995) A Location Based Heuristic for General Routing Problems. *Operations Research*, **43**, 649-660. <https://doi.org/10.1287/opre.43.4.649>
- [11] 仲波. 积极改进石化企业物流系统[J]. 物流工程与管理, 2009(12): 74-76.
- [12] 姚飞. ERP 在石化企业物流管理中的应用研究[J]. 物流技术与应用, 2012(2): 100-101.
- [13] 金光, 乐德林, 冯鸿, 金声. TPS 在广汽丰田物流系统的应用及借鉴意义[J]. 物流技术与应用, 2013(3): 122-127.
- [14] 路海平, 鞠颂东. 中间体组织——铁路货运嵌入社会大物流系统的新模式[J]. 北京交通大学学报(社会科学版), 2013(1): 42-48.
- [15] 张倩, 徐静, 谢文华. 冷鲜肉物流配送路径优化研究——以 X 企业为例[J]. 物流工程与管理, 2023, 45(4): 48-52.
- [16] Wang, Y., Wang, X., Fan, J., Wang, Z. and Zhen, L. (2023) Emergency Logistics Network Optimization with Time Window Assignment. *Expert Systems with Applications*, **214**, Article ID: 119145. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2022.119145>