

船舶调度中的不确定性处理与鲁棒性优化

陈振栋

保利长大工程有限公司 广东广州 510000

摘要: 船舶调度是航运企业运营管理的关键环节,其目标在于优化船舶资源,确保货物按时、安全地运输。然而,在实际操作中,船舶调度面临诸多不确定性因素,如天气变化、航道拥堵、船舶故障等,这些因素对调度计划的执行产生重大影响。为了提高船舶调度的鲁棒性,即抵抗不确定性因素干扰的能力,本文深入探讨了不确定性处理与鲁棒性优化方法。通过构建不确定性模型、应用鲁棒优化技术、设计智能算法等手段,有效降低了不确定性因素对船舶调度的影响,提高了调度的稳定性和可靠性。本文的研究成果不仅丰富了船舶调度领域的理论体系,也为航运企业的实际运营提供了有力支持。

关键词: 船舶调度; 不确定性处理; 鲁棒性优化; 智能算法; 航运企业; 调度成本; 客户满意度

引言

全球经济一体化背景下,航运作为国际贸易的关键纽带,其船舶调度效率直接影响企业运营成本和市场竞争力。然而,船舶调度面临天气变化、航道拥堵、船舶故障及货物需求波动等多重不确定性因素,这些因素具有高度动态性和复杂性,给调度计划的制定与执行带来巨大挑战。

1. 船舶调度中的不确定性因素及其影响分析

1.1 不确定性因素分类

船舶调度中的不确定性因素众多,根据其来源和特点,可以将其分为自然环境因素、船舶因素、货物因素和港口因素四大类。

①自然环境因素:自然环境因素对船舶调度的影响主要体现在天气变化和航道条件上。天气变化如风速、风向、浪高等直接影响船舶的航行速度和安全性。航道条件如水深、航道宽度、弯道等则可能影响船舶的航行轨迹和通过能力。这些因素的变化可能导致船舶无法按计划到达指定港口,进而影响后续航次的安排。②船舶因素:船舶因素主要包括船舶故障、维修需求、船舶性能差异等。船舶故障可能导致船舶无法执行任务,需要紧急维修或更换船舶。维修需求则可能增加调度成本和时间。船舶性能差异则可能导致不同船舶在执行相同任务时的效率和成本不同。这些因素的变化可能导致调度计划的频繁调整和优化。③货物因素:

货物因素主要包括货物需求波动、货物装载和卸载时间变化等。货物需求波动可能导致船舶装载量的变化,进而影响调度计划的制定。货物装载和卸载时间变化则可能导致

船舶在港口的停留时间延长或缩短,进而影响后续航次的安排。④港口因素:港口因素主要包括港口拥堵、港口作业效率等。港口拥堵可能导致船舶等待时间延长,进而影响后续航次的安排。港口作业效率则直接影响船舶在港口的停留时间和调度计划的执行效率。这些因素的变化可能导致调度成本的增加和运输延误。

1.2 不确定性因素对调度计划的影响

不确定性因素对船舶调度计划的影响主要体现在计划可行性降低、计划稳定性下降和经济效益受损三个方面。

①计划可行性降低:不确定性因素可能导致原计划无法执行。例如,船舶故障可能导致船舶无法按计划到达指定港口,此时需要重新制定调度计划。然而,重新制定计划需要时间和成本,且可能无法完全满足原始需求。因此,不确定性因素可能导致调度计划的可行性降低。②计划稳定性下降:不确定性因素可能导致调度计划频繁调整。例如,天气变化可能导致船舶航行速度变化,进而影响后续航次的安排。此时,需要对调度计划进行调整以适应新的情况。然而,频繁的调整不仅增加了调度难度和成本,还可能影响客户满意度和企业信誉。因此,不确定性因素可能导致调度计划的稳定性下降。③经济效益受损:不确定性因素可能导致调度成本增加和运输延误。例如,港口拥堵可能导致船舶等待时间延长,进而增加燃油消耗和船舶租赁成本。同时,运输延误可能导致货物无法按时到达目的地,进而影响企业的生产计划和销售计划。这些因素的变化可能导致航运企业的经济效益受损。

2. 不确定性模型构建

不确定性模型构建是一种复杂的数据分析统计方法,它使管理人员能够识别与数据生成相关的关键参数,从而减少数据预测值的不确定性。在业务环境中,这种方法的应用尤为广泛。例如,在订单管理系统中,虽然系统能够跟踪订单的关键信息,但在信息聚合过程中往往会丢失一些重要细节。通过不确定性建模,管理人员可以运用从系统中识别的关键参数,将这些信息恢复到规范分析中,从而提高预测的准确性。

不确定性模型构建的关键在于处理各种不确定性问题,如客户需求、行程时间、投资回报率等。传统的方法包括随机规划、鲁棒优化和机会约束等。这些方法各有特点,例如随机规划和机会约束通常基于已知分布的随机变量,但在实际应用中,这些分布往往难以准确获取。而鲁棒优化则提供了更具鲁棒性的解,但可能过于保守。

在构建不确定性模型时,还需要考虑模型输入量的不确定性。这些不确定性可能由概率分布表示,也可能由可能性分布表示。对于由概率分布表示的不确定性,可以使用蒙特卡罗仿真等方法进行处理。而对于由可能性分布表示的不确定性,则需要使用其他方法进行描述和处理。

此外,不确定性模型构建还应注意模型的检验和验证。因为模型本身可能存在一定的假设和局限性,所以在实际应用中需要进行充分的检验和验证,以确保模型的准确性和可靠性。同时,随着时间和环境的变化,模型也需要进行不断的更新和优化,以适应新的情况和需求。

3. 鲁棒性优化方法

鲁棒性优化方法是处理不确定性因素的有效手段之一。在船舶调度问题中,鲁棒性优化方法旨在构建对不确定性因素具有一定抵抗能力的优化模型,确保在不确定性环境下仍能获得满意的解。本文将介绍不确定性集合构建、鲁棒优化模型构建和智能算法设计三种鲁棒性优化方法。

3.1 不确定性集合构建

不确定性集合是鲁棒优化模型的基础。在构建不确定性集合时,需要根据不确定性因素的特点和分类进行构建。不确定性集合可以包括离散集合、连续集合和混合集合等。

①离散集合:离散集合适用于描述取值范围有限且数量较少的不确定性因素。例如,对于船舶故障类型,可以根据历史数据和专家经验构建离散集合来描述可能的故障类型。

在构建离散集合时,需要确保集合中的元素能够全面覆盖所有可能的取值情况。②连续集合:连续集合适用于描述取值范围广泛且连续变化的不确定性因素。例如,天气变化中的风速、浪高等参数,可以根据历史气象数据构建连续集合来描述其可能的取值范围。在构建连续集合时,需要确定参数的上下界,并考虑其可能的变化规律和概率分布特性。③混合集合:混合集合适用于描述同时包含离散和连续取值的不确定性因素。例如,货物需求可能同时受到市场需求波动和货物类型变化的影响,此时可以构建混合集合来描述货物需求的不确定性。在构建混合集合时,需要综合考虑离散和连续取值的特点,并确定合适的描述方式和建模方法。

3.2 鲁棒优化模型构建

在构建了不确定性集合后,可以进一步构建鲁棒优化模型来处理船舶调度中的不确定性因素。鲁棒优化模型的目标是在不确定性因素的可能取值范围内找到最优解,即确保调度计划在一定不确定性范围内仍能保持可行性和稳定性。

①目标函数构建:鲁棒优化模型的目标函数可以根据调度问题的实际需求进行构建。例如,可以构建最小化调度成本、最大化客户满意度或最小化运输延误等目标函数。在构建目标函数时,需要考虑不确定性因素对目标函数的影响,并引入鲁棒性指标来衡量调度计划对不确定性因素的抵抗能力。②约束条件构建:鲁棒优化模型的约束条件可以包括时间约束、资源约束、安全约束等。在构建约束条件时,需要考虑不确定性因素对约束条件的影响,并引入鲁棒性约束来确保调度计划在一定不确定性范围内仍能满足约束条件。例如,可以引入时间窗约束来限制船舶在港口的停留时间,以确保调度计划的稳定性和可靠性。③鲁棒性指标设计:鲁棒性指标是衡量调度计划对不确定性因素抵抗能力的重要指标。在构建鲁棒优化模型时,需要设计合适的鲁棒性指标来评估调度计划的鲁棒性。例如,可以设计最坏情况成本、平均成本波动范围、满意度下降幅度等指标来衡量调度计划对不确定性因素的抵抗能力。通过优化这些指标,可以得到具有更高鲁棒性的调度计划。

3.3 智能算法设计

鲁棒优化模型通常具有复杂的数学结构和非线性特性,难以通过传统的优化算法进行求解。因此,需要设计智能算法来求解鲁棒优化模型。智能算法可以包括遗传算法、粒子群算法、模拟退火算法等。

①遗传算法：遗传算法是一种模拟自然选择和遗传机制的优化算法。在求解鲁棒优化模型时，可以将调度计划编码为染色体，并通过选择、交叉和变异等操作来迭代优化染色体，从而得到最优解。遗传算法具有全局搜索能力强、易于实现等优点，适用于求解复杂的优化问题。②粒子群算法：粒子群算法是一种模拟鸟群觅食行为的优化算法。在求解鲁棒优化模型时，可以将调度计划视为粒子在解空间中的位置，并通过更新粒子的速度和位置来迭代优化解。粒子群算法具有收敛速度快、易于调整参数等优点，适用于求解大规模优化问题。③模拟退火算法：模拟退火算法是一种模拟金属退火过程的优化算法。在求解鲁棒优化模型时，可以将调度计划视为当前状态，并通过接受一定概率的劣化解来跳出局部最优解，从而得到全局最优解。模拟退火算法具有全局搜索能力强、适用于求解多峰优化问题等优点。

4. 案例分析

为了验证上述鲁棒性优化方法的有效性，本文选取某航运企业的船舶调度问题作为案例进行分析。该企业拥有多艘船舶，需要满足不同港口的货物需求。然而，在实际运营中，该企业面临天气变化、航道拥堵、船舶故障等不确定性因素的影响，导致调度计划频繁调整和优化。

4.1 不确定性集合构建

针对该企业面临的不确定性因素，本文构建了相应的不确定性集合。对于天气变化，根据历史气象数据构建了风速、浪高等参数的连续集合；对于航道拥堵，根据历史数据构建了拥堵程度、拥堵时间等参数的离散集合；对于船舶故障，根据历史数据和专家经验构建了故障类型、故障修复时间等参数的混合集合。

4.2 鲁棒优化模型构建

在构建了不确定性集合后，本文进一步构建了鲁棒优化模型来处理该企业面临的船舶调度问题。目标函数设置为最小化调度成本，约束条件包括时间约束、资源约束和安全约束等。同时，引入了最坏情况成本作为鲁棒性指标来衡量调度计划对不确定性因素的抵抗能力。

4.3 智能算法设计

为了解构建的鲁棒优化模型，本文设计了遗传算法进行求解。通过编码调度计划为染色体，选择适应度函数为调度成本，并通过选择、交叉和变异等操作进行迭代优化。在算法实现过程中，对遗传算法的参数进行了调整和优化，以确保算法的收敛性和稳定性。

4.4 结果分析

通过应用上述鲁棒性优化方法，本文得到了该企业船舶调度的最优解。与原始调度计划相比，优化后的调度计划在面临不确定性因素时具有更高的鲁棒性和稳定性。同时，通过对比不同鲁棒性指标下的调度计划成本，本文发现优化后的调度计划在最坏情况下的成本明显低于原始计划，证明了鲁棒性优化方法的有效性。

5. 结论与展望

本文深入探讨了船舶调度中的不确定性处理与鲁棒性优化问题，通过构建不确定性模型、应用鲁棒优化技术及设计智能算法，成功提出了一套完整的船舶调度鲁棒性优化方法。研究表明，该方法能够有效应对天气变化、航道拥堵等不确定性因素，显著提高船舶调度的效率和准确性，降低运营成本，增强航运企业的市场竞争力。

展望未来，随着大数据、人工智能等技术的不断发展，船舶调度领域将迎来更多创新机遇。我们将继续深化不确定性处理与鲁棒性优化的研究，探索更多先进的算法和技术，如深度学习、强化学习等，以进一步提升船舶调度的智能化水平。同时，我们也将关注航运市场的动态变化，不断优化和完善船舶调度鲁棒性优化方法，为航运企业的可持续发展提供有力支持。

参考文献：

- [1] 贾群. 需求不确定下班轮航线配船鲁棒优化模型研究[J]. 中国船舶, 2023(2):57-59.
- [2] 李煜. 航行数据驱动下船舶性能不确定性优化设计研究[J]. 船舶与海洋工程, 2023(10):97-99.
- [3] 刘鑫宇. 不确定环境下港口泊位分配的鲁棒优化[J]. 船舶工程, 2024(6):38-40.