

试析动态扰动下装配作业车间的重调度策略与优化

高鸿宇

山东科技大学 266590

DOI: 10.12238/ems.v7i4.12717

[摘要] 在现代制造业中, 装配作业车间作为生产系统的核心环节, 其调度效率与灵活性直接关系到企业的生产能力和市场竞争力。然而, 实际生产过程中常面临各种动态扰动, 如设备故障、订单变更、工人缺勤等, 这些因素导致原定的生产计划难以顺利执行。因此, 研究动态扰动下的装配作业车间重调度策略与优化方法, 对于提高生产系统的鲁棒性、降低生产成本、提升客户满意度具有重要意义。本文首先分析了装配作业车间动态扰动的类型及影响, 随后探讨了现有的重调度策略, 并在此基础上提出了一种基于多目标优化的重调度模型, 最后通过仿真实验验证了模型的有效性。

[关键词] 动态扰动; 装配作业车间; 重调度策略; 多目标优化; 仿真实验

引言

随着全球市场竞争的加剧和客户需求的多样化, 制造业正面临着前所未有的挑战。装配作业车间作为制造业的重要组成部分, 其调度问题一直是研究的热点。传统的静态调度方法往往基于理想化的假设, 难以应对实际生产中的动态变化。因此, 如何在动态扰动下实现装配作业车间的有效重调度, 成为当前亟待解决的问题。

一、装配作业车间动态扰动的类型及影响

(一) 动态扰动的类型

装配作业车间的动态扰动主要包括以下几种类型:

1. 设备故障

设备故障是制造业中导致生产计划频繁中断的常见且不可避免的原因之一。当生产线上的关键设备发生故障时, 为了修复故障, 必须立即停机进行维修作业。这不仅意味着直接损失了设备运行期间的生产能力, 还会因为停机维修而严重影响后续工序的顺利进行, 从而导致整个生产流程的延误。

2. 订单变更

在实际生产过程中, 客户需求的变动是一个常态化的现象。这种变动可能表现为订单数量的增减、交货期的提前或延后, 甚至是产品配置的具体要求发生变化。面对这种多样化的订单变更情况, 车间的调度系统需要具备高度的灵活性和响应速度, 以便能够迅速调整生产计划, 重新安排生产资源和工序顺序, 以满足客户的最新需求。

3. 工人缺勤

工人的出勤情况是车间劳动力配置的重要依据。然而, 由于工人可能因病请假、事假或个人原因导致的缺勤, 车间的实际劳动力数量往往会与预期产生偏差。这种劳动力的不足将直接影响到生产线上各个工序的操作进度, 严重时可能导致生产线的整体停工待料, 进而对生产计划的整体执行造成不利影响。

4. 原材料短缺

原材料的及时供应和合格质量是保障生产连续性和产品质量的重要前提。然而, 在实际操作中, 由于供应商的原因、物流运输的延误或是原材料质量不达标等问题, 常常会导致原材料的短缺或质量问题。这不仅会使生产线的正常运转受到阻碍, 造成生产停滞, 还可能因为使用了不合格的原材料而导致产品质量的下降, 给企业带来经济损失和品牌声誉的损害。

5. 工艺变更

随着市场竞争的加剧和技术的不断进步, 企业为了提高生产效率、降低成本或满足新的质量标准, 往往需要调整现有的生产工艺。这种工艺变更不仅涉及到生产设备和生产流程的重构, 还需要车间调度系统根据新的工艺要求对生产流程进行重新规划, 以确保生产过程的顺畅和产品质量的稳定。这种灵活应对工艺变更的能力, 是企业保持市场竞争力和持续发展的重要保障。

(二) 动态扰动的影响

动态扰动对装配作业车间的影响主要体现在以下几个方面:

1. 生产计划中断

在生产过程中, 由于各种不可预见的动态扰动因素, 如设备突发故障、原材料供应延迟或市场需求突变等, 导致企业原定的生产计划无法按照既定时间和流程顺利执行。这些扰动使得生产流程受阻, 甚至造成整个生产线的停滞, 进而引发生产中断, 严重影响企业的生产进度和交货能力。

2. 生产成本增加

为了迅速应对这些突如其来的动态扰动, 确保生产能够尽快恢复并满足客户需求, 企业可能需要采取一系列紧急措施。这通常包括支付加班费以鼓励员工加班加点完成生产任务, 安排紧急维修以修复故障设备, 以及加快原材料采购速度以弥补供应短缺等。然而, 这些措施都会不可避免地增加企业的生产成本, 如加班费、维修费、紧急采购的原材料费用等, 进一步压缩了企业的利润空间。

3. 客户满意度下降

生产中断不仅影响企业的生产进度和成本, 还可能对客户的订单执行造成直接影响。由于生产计划的变更或交货期的延误, 客户可能无法按时收到订购的产品, 导致其对企业的满意度下降。这种不满情绪一旦积累并传播开来, 将严重损害企业的市场声誉和品牌形象, 进而影响企业的长期发展。

4. 资源利用率降低

动态扰动还可能对企业的资源利用效率产生负面影响。一方面, 设备故障或原材料供应不足可能导致设备闲置, 浪费宝贵的生产能力; 另一方面, 为了应对生产中断而采取的紧急措施, 如加班加点和过度采购等, 又可能导致资源过度使用, 造成不必要的浪费。这些因素共同作用, 使得企业的资源利用率显著降低, 进一步增加了企业的运营成本和经营风险。

二、现有的重调度策略

针对装配作业车间的动态扰动问题, 学者们提出了多种重调度策略, 主要包括:

(一) 滚动调度策略

滚动调度策略是一种高度灵活的基于时间窗口的调度方法。它依据当前实时的生产状态以及对未来生产情况的预测信息, 动态地、持续不断地调整和优化预设时间窗口内的生产计划安排。这种策略的核心优势在于其卓越的适应能力, 能够针对生产环境中各种不可预见的动态变化, 如设备故障、原材料供应波动或市场需求变动等, 做出迅速而有效的响应。通过不断地滚动更新生产计划, 滚动调度策略确保了生产流程的连贯性和高效性。然而, 值得注意的是, 滚动调度策略在实施过程中也面临着一定的挑战, 其中最显著的是其相对较高的计算复杂度。由于需要实时处理大量的生产数据和预测信息, 并据此进行复杂的计划和优化计算, 这往往要求系

统具备强大的数据处理能力和高效的算法支持。尽管如此，滚动调度策略仍然凭借其出色的灵活性和适应性，在众多生产调度场景中发挥着不可替代的作用。

（二）事件驱动策略

事件驱动策略是一种在发生特定事件时触发重调度过程的机制。这些特定事件可能包括设备故障、订单变更、原材料到货延迟或是市场需求突变等一系列会影响生产计划执行的因素。一旦这些事件被系统检测到，便会立即触发重调度过程，以应对这些动态扰动。这种策略的优势在于其能够迅速响应这些不可预见的事件，确保生产流程能够在尽可能短的时间内恢复到正常状态，最大限度地减少对整体生产计划的影响。通过及时的调整，企业可以更好地满足客户需求，减少生产延误和成本浪费。然而，事件驱动策略也存在一定的局限性。由于特定事件可能发生得较为频繁，这就可能导致重调度过程也被频繁触发。频繁的重调度不仅会增加生产调度的复杂性和难度，还可能导致生产计划的不稳定，使得生产部门难以形成长期、稳定的生产计划。这种不确定性可能会进一步影响到企业的资源分配、成本控制以及整体运营效率。因此，在应用事件驱动策略时，企业需要权衡其响应速度与生产计划稳定性之间的关系，确保在保持高效响应的同时，也能维持生产计划的相对稳定。

（三）智能优化策略

智能优化策略巧妙地融合了遗传算法、粒子群算法等一系列智能优化算法，旨在复杂的生产环境中，尤其是在面临动态扰动的情况下，寻找出最优或近似最优的生产计划。这一方法的核心优势在于它能够有效平衡生产效率与成本之间的关系，确保企业在追求高效生产的同时，也能合理控制成本支出，从而实现经济效益的最大化。然而，值得注意的是，智能优化策略的性能并非毫无限制地卓越。算法参数的设置以及收敛速度成为了制约其性能发挥的关键因素。算法参数的精准配置对于确保算法在复杂多变的生产环境中稳定运行至关重要，而收敛速度则直接关系到算法寻找最优解的效率。因此，在使用智能优化策略时，企业需要对算法参数进行合理调整，并关注算法的收敛速度，以期达到最佳的生产计划与调度效果。

三、基于多目标优化的重调度模型

针对现有重调度策略的不足，本文提出了一种基于多目标优化的重调度模型。该模型以最小化生产成本、最大化客户满意度和资源利用率为目标，通过构建多目标优化函数，实现装配作业车间的动态重调度。

（一）模型构建

1. 目标函数

目标函数的设定旨在优化企业的生产运营情况，具体包括以下几个方面：首先，需要最小化生产成本。在这个过程中，我们必须全面考虑各种生产成本因素，包括但不限于设备维护费用、加班费以及原材料采购费用等。每一项成本都需经过仔细核算与把控，以确保生产过程中的总成本尽可能降低，从而提高企业的盈利能力。其次，我们的目标是最大化客户满意度。客户满意度是一个综合性的评价指标，它主要根据订单交货期的满足程度以及产品质量等多个因素来进行评判。为了满足客户的需求，我们需要密切关注订单的交付时间，并确保产品质量的稳定性和可靠性，从而赢得客户的信任与好评。此外，我们还要致力于最大化资源利用率。为此，我们需要通过科学的计算方法，来精确评估设备、人力等各种资源的使用效率。通过优化资源配置，确保资源能够得到有效利用，从而提高企业的生产效率和竞争力。

2. 约束条件

当然，在追求上述目标的过程中，我们还必须严格遵守一系列约束条件：一是工艺约束，即必须确保每个工序都严格按照既定的工艺顺序进行，以保证产品的生产质量和安全

性。二是资源约束，即要确保每个工序所需的设备、人力等资源都在可用范围内，避免因资源短缺而导致生产中断或延误。三是时间约束，即必须满足订单的交货期要求，确保产品能够按时交付给客户，以维护企业的信誉和市场竞争能力。

（二）算法设计

本文采用遗传算法作为一种有效的手段来求解复杂且多变的多目标优化问题。遗传算法深受自然界选择和遗传机制的启发，通过模拟这些生物进化过程中的原理，在庞大的解空间中智能地搜索并逼近最优解。在算法的详细设计过程中，涵盖了多个至关重要的步骤以确保其高效性和准确性。首先，编码方式是遗传算法的基础，它决定了如何将问题的解表示成染色体，从而能够在算法中有效地传递和处理。接下来，适应度函数的设计是评估每个个体（即解）优劣的关键，它根据问题的具体目标为每个染色体分配一个适应度值，指导搜索过程向更好的解进化。在选择策略方面，算法采用了一系列机制来模拟自然界中的生存竞争，确保优秀的个体（即具有较高适应度值的解）更有可能被保留并用于产生下一代。此外，交叉操作通过交换不同个体之间的部分基因，实现了信息的重组，有助于发现新的、潜在的更优解。最后，变异操作通过随机地改变个体基因中的某些部分，为搜索过程引入了新的多样性，有助于跳出局部最优解，探索更广泛的解空间。综上所述，遗传算法通过精心设计的编码方式、适应度函数、选择策略、交叉操作和变异操作等关键步骤，为求解多目标优化问题提供了一种强大而灵活的方法。

（三）仿真实验

为了全面而准确地验证所提出模型的有效性，本文精心设计了一系列严谨的仿真实验。这些实验所依赖的数据均来源于一个真实的装配作业车间，确保了数据的实际性和代表性。在实验过程中，我们精心选取了多个维度的关键指标来进行综合评估，包括但不限于生产成本、客户满意度以及资源利用率等。具体而言，生产成本方面，我们详细记录了不同重调度策略下各项成本的变动情况，包括材料成本、人工成本以及因调度调整而产生的额外成本等；客户满意度则通过模拟客户对不同生产周期和产品质量的反馈来量化；资源利用率则涵盖了设备使用率、人员工作效率以及能源消耗等多个层面。通过系统且全面的对比分析，我们发现，在面对生产过程中的各种动态扰动时，本文所提出的基于多目标优化的重调度模型展现出了显著的优越性。它不仅能够在有效控制生产成本的同时，大幅提升客户满意度，还能实现资源的高效利用，为装配作业车间的优化调度提供了一种切实可行的解决方案。

四、结论与展望

本文分析了装配作业车间动态扰动的类型及影响，探讨了现有的重调度策略，并在此基础上提出了一种基于多目标优化的重调度模型。通过仿真实验验证了模型的有效性。然而，本文的研究还存在一些局限性，如算法参数的优化、动态扰动预测模型的构建等。未来研究可以进一步探索这些方向，以提高装配作业车间重调度的效率和准确性。

【参考文献】

- [1] 李锐. 车间调度问题研究综述[J]. 工业工程与管理, 2023, 15 (2): 56-62.
- [2] 张占梅. 基于遗传算法的车间动态调度研究[J]. 南方农机, 2024, 17 (3): 134-136.
- [3] 魏丽蓉. 多目标优化算法在车间调度中的应用[J]. 模具制造, 2023, 44 (10): 123-125.
- [4] 楼倩. 基于事件驱动的车间重调度策略研究[J]. 时代汽车, 2024, 39 (5): 102-106.
- [5] 崔理华. 滚动调度策略在装配作业车间中的应用研究[J]. 内燃机与配件, 2023, 36 (7): 187-188.