

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО СЕРВИСА ОПТИМИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ НА ОСНОВЕ МЕТОДОВ МАШИНОГО ОБУЧЕНИЯ

Сербина В.О., Печенина Е.Ю., Печенин В.А.
Самарский университет, г. Самара, serbina.vo@ssau.ru

Ключевые слова: цифровой двойник, метамодель, машинное обучение, оптимизация производственных процессов.

Цифровые двойники сложных производственных систем на базе имитационных моделей, созданные в средах типа AnyLogic, позволяют проводить симуляцию ключевых производственных процессов, генерируя сценарии «что-если» и прогнозируя ключевые показатели эффективности.

Однако традиционные полнофакторные имитационные модели имеют ограничения: они требуют значительных вычислительных ресурсов и времени на симуляцию, что делает их менее подходящими для предиктивной аналитики в реальном времени в производственной среде. Здесь возникает необходимость в использовании концепции метамоделирования [1], заключающееся в создании регрессионных моделей на основе машинного обучения, которые аппроксимируют поведение имитационной модели, но работают значительно быстрее и с меньшими ресурсами.

В работе рассматривается архитектура программного сервиса, базирующегося на использовании предобученных метамodelей, аппроксимирующих поведение производственной системы. Предлагаемый подход позволяет выполнять прогнозирование ключевых производственных KPI [2], минимизацию простоев оборудования, анализ сценариев функционирования производства и автоматизированную оптимизацию производственных планов. Разработан концепт программного сервиса, архитектура которого представлена на рис. 1.



Рис.1 – Архитектура сервиса оптимизации производственных процессов

Архитектура сервиса поддерживает как облачное развертывание на удаленном сервере, так и локальную установку в закрытом контуре предприятия при отсутствии доступа к внешней сети, что особенно важно для предприятий оборонно-промышленного комплекса и организаций с ограничениями на использование внешней инфраструктуры. Программный сервис включает четыре основных модуля: модуль взаимодействия с пользователем, модуль бизнес-логики, модуль работы с данными и модуль интеграции с внешними производственными системами.

Модуль взаимодействия обеспечивает загрузку производственных данных, настройку параметров моделирования, визуализацию KPI и отображение результатов оптимизации. Модуль бизнес-логики реализует механизмы прогнозирования и оптимизации производственных процессов на основе суррогатных моделей и алгоритмов машинного обучения. Модуль работы с данными отвечает за хранение, обработку и подготовку производственной информации, поступающей из ERP-, MES- и MDC-систем, а также из маршрутных паспортов и технологической документации. Модуль интеграции обеспечивает обмен данными с существующей информационной инфраструктурой предприятия через API и механизмы импорта производственной статистики.

Для оптимизации производственного плана в модуле бизнес-логики используется эвристический алгоритм [3], обеспечивающий поиск рациональных параметров запуска партий изделий с использованием суррогатной модели в качестве функции отклика. Концептуально работа алгоритма описывается следующим преобразованием:

$$X \rightarrow ML \rightarrow KPI \rightarrow Opt \rightarrow X^*,$$

где X – входные параметры производственного плана, ML – метамодель производства, KPI – прогнозируемые производственные показатели, Opt — модуль оптимизации, а X^* — оптимальный производственный сценарий.

Алгоритм оптимизации обеспечивает формирование последовательности запуска партий изделий с учетом ограничений по номенклатуре и минимизации времени производственного цикла на основе метамодели работы производства. В алгоритме реализован механизм обеспечения допустимости решений, гарантирующий выполнение производственного плана по количеству изделий каждого типа. Использование данного механизма позволяет исключить невалидные решения и повысить устойчивость и сходимость оптимизационного процесса.

Дополнительно предусмотрена многокритериальная оптимизация производственного расписания на основе алгоритма NSGA-II [4], позволяющая формировать множество Парето-оптимальных решений [5] по критериям времени производственного цикла, уровня незавершенного производства и загрузки оборудования. Это обеспечивает возможность выбора наиболее рационального производственного сценария в зависимости от текущих приоритетов предприятия.

В результате выполнения исследования была разработана концепция программного сервиса оптимизации производственных процессов. Использование в разработке подхода к метамоделированию производственных процессов позволяет в режиме близком к реальному времени прогнозировать производительность и эффективность дискретного производства. Используемые метамодели можно адаптивно дообучать на основе данных имитационного моделирования и реального производства, что позволяет повысить точность прогнозов по мере накопления данных в системах MDC/MES. Использование модуля многокритериальной оптимизации обеспечивает выбор рациональных производственных сценариев по критериям времени цикла, загрузки оборудования и уровня незавершенного производства.

Работа выполнена по проекту FSSS-2024-0019, реализуемого в рамках национального проекта «Наука и университеты», результата «Созданы новые лаборатории, в том числе под руководством молодых перспективных исследователей».

Список литературы

1. Borshchev A., Grigoryev I. The Big Book of Simulation Modeling: Multimethod Modeling with AnyLogic 8. AnyLogic North America, 2021.
2. ГОСТР ИСО 22400-2- 2019 Системы промышленной автоматизации и интеграция Ключевые технико-экономические показатели (KPIs) для управления производственными операциями.

3. Лукьянов А.Г. Разработка и исследование эвристических алгоритмов для решения задачи планирования производства сложных изделий // Омский научный вестник. – 2012. – № 2. – С. 48–51.

4. Deb K., Pratap A., Agarwal S., Meyarivan T. A Fast and Elitist Multiobjective Genetic Algorithm: NSGA-II. IEEE Transactions on Evolutionary Computation. – 2002. – Vol. 6, No. 2. – P. 182–197.

5. Подиновский В. В., Ногин В. Д. Парето-оптимальные решения многокритериальных задач. 2-е изд., испр. и доп. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2007. – 256 с.

Сведения об авторах

Сербина Валерия Олеговна – магистрант, лаборант-исследователь научно-исследовательской лаборатории «Искусственный интеллект в производственных системах», Самарский университет. Область научных интересов: технология машиностроения, имитационное моделирование производственных процессов

Печенина Екатерина Юрьевна – кандидат технических наук, ассистент кафедры технологий производства двигателей, Самарский университет. Область научных интересов: технология машиностроения, исследования сборочных процессов.

Печенин Вадим Андреевич – кандидат технических наук, доцент, заведующий научно-исследовательской лабораторией «Искусственный интеллект в производственных системах», Самарский университет. Область научных интересов: исследования сборочных процессов в машиностроении, машинное обучение.

DEVELOPMENT OF A SOFTWARE SERVICE FOR OPTIMISING PRODUCTION PROCESSES BASED ON MACHINE LEARNING METHODS

V.O. Serbina, E.Yu. Pechenina, V.A. Pechenin
Samara University

This paper examines the architecture of a software service for optimising production processes based on the use of metamodeling of production systems, enabling the forecasting of KPIs. Mechanisms for the adaptive retraining of models and Pareto optimisation of production scenarios are described.