

Моделирование процессов предприятия на основе мультиагентных технологий и цифровых двойников

И.А. Лёзин

Самарский национальный исследовательский университет
им. академика С.П. Королева
Самара, Россия
lezin.ia@ssau.ru

И.С. Бельгер

Самарский национальный исследовательский университет
им. академика С.П. Королева
Самара, Россия
belger.is@ssau.ru

Аннотация — В данной работе описаны принципы моделирования процессов предприятия на основе мультиагентной модели производства с использованием механизма цифровых двойников. Данный подход позволяет учитывать различные правила формирования производственного процесса и минимизировать неэффективное использование ресурсов.

Ключевые слова — имитационное моделирование, мультиагентная система, цифровые двойники

I. ВВЕДЕНИЕ

На данный момент широко используется множество различных информационных систем для моделирования и оптимизации производственных планов. В них присутствуют элементы оптимизации процесса, где происходит распределение потоков изделий по производственным цепочкам для увеличения сменного объема выпуска и уменьшения штучного времени изготовления. При этом могут учитываться приоритеты одного вида готовых изделий над другими, взаимозаменяемость того или иного оборудования и даже элементы вспомогательных операций для обеспечения хранения обрабатываемых сборочных элементов между операциями. Но при этом зачастую выпадают из рассмотрения экономические аспекты производства, учёт которых может привести к неожиданным результатам планирования. Учёт стоимости каждой операции на разных типах оборудования при составлении плана вносит дополнительные условия оптимизации. Одним из способов моделирования подобных процессов является использование мультиагентных систем.

Моделирование производства — это процесс, позволяющий создавать упрощенные и абстрактные версии реальных производственных систем для облегчения изучения и анализа их работы. Модели могут представлять собой математические, статистические или компьютерные описания производственных систем и служат для предсказания и оптимизации их работы.

Благодаря моделированию производственных процессов становится возможным проведение анализа и оптимизаций различных аспектов работы производственной системы, например, увеличение производительности, эффективности, качества продукции, а также уменьшение затрат на производство.

Предсказание и оптимизация работы производственных систем — это основная цель моделирования. Задачи моделирования включают в себя [1]:

- Достижение максимальной эффективности и производительности за счет определения оптимальных параметров производства.

- Определение зависимости производительности и качества продукции от изменений в производственном процессе.
- Определение оптимального распределения ресурсов (трудовых, материальных, временных) для достижения максимальной эффективности.
- Определение оптимального плана производства для удовлетворения спроса и минимизации затрат.
- Анализ и оптимизация логистических процессов в производственных системах.

Мультиагентная система (MAS) — это расширение агентной технологии, в которой группа слабо связанных автономных агентов действует в среде для достижения общей цели. Это достигается путем сотрудничества или конкуренции, обмена или не обмена знаниями друг с другом [2].

В контексте мультиагентного моделирования производственных пространств каждый участок представлен отдельным агентом — цифровым двойником (ЦД), который может быть привязан через модуль телеметрии к оборудованию, расположенному на данном участке для возможности «горячей» перепланировки.

Цифровой двойник (ЦД) — это виртуальная модель, предназначенная для точного отражения физического объекта. Исследуемый объект, например ветряная турбина, оснащен различными датчиками, связанными с жизненно важными областями функциональности. Эти датчики собирают данные о различных аспектах работы физического объекта, таких как выходная энергия, температура, погодные условия и многое другое. Эти данные затем передаются в систему обработки и применяются к цифровой копии [3].

Целью данной работы является исследование возможности построения мультиагентной модели предприятия на основе цифровых двойников.

II. МУЛЬТИАГЕНТНЫЙ ПОДХОД К УПРАВЛЕНИЮ ПРОИЗВОДСТВОМ

Задача представляет собой необходимость имитировать поведение предприятия во времени согласно бизнес-процессу, формирование входного потока требований и временного интервала моделирования работы предприятия, разработка имитационной модели на основе случайных величин, воздействующий на процесс, решение проблем:

- минимизации простоя либо неэффективного использования оборудования;
- минимизации рабочего времени работников на участке производства;

- максимизации выпуска продукции.

На рис. 1 представлена мультиагентная модель производственного процесса без использования производственных цепочек в виде линейных последовательностей или матрицы производственных ячеек.



Рис. 1. Мультиагентная модель производства

Для моделирования необходимо задать набор правил и ограничений, регламентирующих связи и взаимоотношения двойников между собой. В первую очередь, необходимо определиться с номенклатурой используемых в производстве материалов, деталей на промежуточных стадиях и готовой продукции, а также стадий их обработки. Обозначим все материалы, результаты промежуточной обработки и готовые изделия как ИЗД_i, тогда в состоянии СОСТ_{m,s} изделие попадает после очередной операции, которую можно обозначить следующим образом:

$$\{ИЗД_i(СОСТ_{i,s3}), \dots, ИЗД_j(СОСТ_{j,s4})\} = ОП_o(ИЗД_k(СОСТ_{k,s1}), \dots, ИЗД_l(СОСТ_{l,s2})) \quad (1)$$

Здесь используются следующие обозначения: ИЗД_i – изделие (материал, деталь, полуфабрикат) на моделируемом участке; СОСТ_{i,s} – возможное состояние i-го изделия; ОП_o – операция, которую можно выполнить на имеющемся оборудовании, принимающая на вход определенный набор изделий в некоторых состояниях и выдающая в результате другой набор изделий.

Каждый из N+2 ЦД имеет возможность выполнять определённый набор операций ОП_{o,n}. Но при этом одна и та же операция (либо альтернативные операции) на разных ЦД может иметь разные побочные эффекты: разная длительность ВР_{o,n}, разная стоимость СТ_{o,n}. Любой из этих аспектов или все сразу может учесть мультиагентный подход. Например, для разных изделий можно добавить разную систему приоритетов ПР_i, которые могут даже быть не константными, а вычислимыми, например, зависеть от складских запасов. Моделирование сводится к итеративному процессу, который учитывает интегральную рейтинговую функцию агентов:

$$PT_n(t) = f(\overline{PT}, \overline{BP}, \overline{CT}, \dots). \quad (2)$$

В каждый момент времени t каждый агент проверяет своё состояние и возможность перехода к очередному действию.

Те агенты, которые способны выполнить операцию и имеют в наличии ресурсы для их выполнения,

рассчитывают свои рейтинги $PT_n(t)$ и выставляют на арбитраж.

Для того, чтобы решить описанные ранее проблемы, алгоритм моделирования совершает дальнейший расчет функций удовлетворенности системы $Y_n(t)$ на основе рейтингов агентов $PT_n(t)$, выставленных на арбитраж, в зависимости от функции удовлетворенности системы на предыдущем такте моделирования $Y(t-1)$:

$$Y_n(t) = f(Y(t-1), PT_n(t), Y_n(t+1)) \quad (3)$$

$Y_n(t+1)$ является значением функции удовлетворенности системы на следующем такте моделирования при использовании агента n . Подобный подход позволяет достичь максимальной эффективности производства, поскольку учитывается не только текущая выгода, которую вносит агент в случае его победы за счет максимального значения рейтинговой функции, но и влияние выбора агента на производственную цепочку в целом. Отличительная черта данного подхода заключается в расчете ветвления вариантов, что позволяет базировать решения на основе заранее выигрышных перемещений.

Победители, имеющие максимальное значение функции удовлетворенности системы, формируют логику дальнейшего перемещения изделий по участку и выполняемые операции. Система переходит на следующий такт моделирования $t+1$.

III. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Данный подход к моделированию производственного процесса позволяет устраивать различные ветвления по классическому принципу динамического программирования. Высокая скорость работы программной системы обеспечивает скорость моделирования нескольких сменных сценариев в течение долей секунды, что позволяет предусмотреть различные побочные эффекты, минимизировать неэффективное использование ресурсов и увеличить сменный объем выпуска продукции.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Моделирование производственных процессов: ключевые понятия и применение в современной индустрии [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://nauchniestati.ru/spravka/modelirovanie-proizvodstvennyh-proცessov/#%D0%9E%D0%BF%D1%80%D0%B5%D0%B4%D0%B5%D0%BB%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5_%D0%BC%D0%BE%D0%B4%D0%B5%D0%BB%D0%B8%D1%80%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D1%8F_%D0%BF%D1%80%D0%BE%D0%B8%D0%B7%D0%B2%D0%BE%D0%B4%D1%81%D1%82%D0%B2%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D1%8B%D1%85_%D0%BF%D1%80%D0%BE%D1%86%D0%B5%D1%81%D1%81%D0%BE%D0%B2 (27.10.2023).
- [2] An Introduction to Multi-Agent Systems [Electronic resource]. — Access mode: https://www.researchgate.net/publication/226165258_An_Introduction_to_Multi-Agent_Systems (24.10.2023)
- [3] IBM [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.ibm.com/topics/what-is-a-digital-twin> (24.10.2023)