



ОТКРЫТАЯ НАУКА
издательство

Международный журнал информационных технологий и энергоэффективности

Сайт журнала:

<http://www.openaccessscience.ru/index.php/ijcse/>



УДК 004.6

ПРОБЛЕМЫ ПЕРЕПЛАНИРОВАНИЯ В ERP СИСТЕМАХ С МУЛЬТИАГЕНТНЫМ ПОДХОДОМ

¹Веркошанский Д.В., ²Мешков А.А., ³Агаджанян А.Б.

ФГБОУ ВО «ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ», Воронеж, Россия (394006, г. Воронеж, ул. 20-летия Октября, 84), e-mail: ¹max07121997@gmail.com, ²meshkov_202@mail.ru, ³artur.x.x.z505@yandex.ru

В статье исследуются проблемы перепланирования задач в производственных системах, основанных на мультиагентном подходе. Проведен анализ каскадных эффектов, коммуникационных сложностей и конфликтов интересов между агентами. Результатами исследования являются предложения по улучшению коммуникационной инфраструктуры, внедрению децентрализованных алгоритмов разрешения конфликтов и применению предсказательных моделей для минимизации негативных последствий перепланирования, что способствует повышению гибкости и эффективности производственных процессов.

Ключевые слова: Мультиагентные системы, агент-техпроцесс, агент-ресурс, перепланирование задач.

PROBLEMS OF RE-PLANNING IN ERP SYSTEMS WITH A MULTIAGENTIC APPROACH

¹Verkhoshansky D.V., ²Meshkov A.A., ³Agadzhanyan A.B.

VORONEZH STATE TECHNICAL UNIVERSITY, Voronezh, Russia (394006, Voronezh, st. 20th anniversary of October, 84), e-mail: ¹max07121997@gmail.com, ²meshkov_202@mail.ru, ³artur.x.x.z505@yandex.ru

The article examines the problems of task rescheduling in production systems based on a multi-agent approach. The analysis of cascade effects, communication complexities and conflicts of interest between agents is carried out. The results of the study are proposals for improving the communication infrastructure, implementing decentralized conflict resolution algorithms and using predictive models to minimize the negative consequences of rescheduling, which contributes to increasing the flexibility and efficiency of production processes.

Keywords: Multi-agent systems, agent-process, agent-resource, task rescheduling.

Современное производство характеризуется высокой степенью сложности и динамичностью. В условиях глобализации и увеличивающейся конкуренции предприятия сталкиваются с необходимостью постоянно адаптироваться к меняющимся условиям рынка, колебаниям спроса и другим факторам, влияющим на их деятельность. В этих условиях особую актуальность приобретает задача гибкого и эффективного планирования производственных процессов.

Традиционные методы планирования зачастую оказываются недостаточно эффективными, так как они не всегда способны оперативно реагировать на изменения, происходящие в реальном времени. Это приводит к увеличению времени простоя оборудования, неэффективному использованию ресурсов и, как следствие, снижению общей производительности предприятия.

Одним из перспективных подходов к решению этой проблемы является мультиагентный подход. В рамках этой концепции каждый элемент производственного процесса, будь то станок, рабочий или ресурс, представлен в виде отдельного программного агента. Эти агенты, обладая собственными расписаниями и механизмами принятия решений, взаимодействуют друг с другом для создания оптимального расписания работы предприятия в целом. Такая система позволяет повысить адаптивность и устойчивость производства, особенно в условиях частых изменений и необходимости перепланирования задач.

Однако, несмотря на многочисленные преимущества мультиагентного подхода, его применение также сопряжено с рядом проблем. Одной из ключевых трудностей является необходимость перепланирования задач в условиях изменяющихся производственных условий. Это требует от системы не только высокой скорости реакции, но и способности к эффективному взаимодействию между агентами, что порождает множество вызовов и вопросов.

Цель данной статьи — исследовать основные проблемы перепланирования задач в производственных системах, использующих мультиагентный подход, а также рассмотреть возможные пути их решения.

Мультиагентный подход в производственном планировании представляет собой инновационный метод управления, при котором каждый элемент производственной системы представлен отдельным программным агентом. Эти агенты обладают автономностью и могут самостоятельно принимать решения на основе заложенных в них алгоритмов и текущих данных. В нашей системе агенты делятся на два основных типа: агенты-техпроцессы и агенты-ресурсы.

Агент-техпроцесс — это программа, ответственная за планирование и управление отдельной атомарной операцией в рамках производственного процесса. Например, если операция подразумевает сверление отверстия в заготовке, то агент-техпроцесс будет курировать выполнение этой задачи. Основная задача такого агента — оптимальное распределение ресурсов для выполнения конкретной операции.

Агент-техпроцесс инициирует процесс, рассылая запросы на выполнение работы агентам-ресурсам, представляющим физические компоненты производства. На основе ответов от агентов-ресурсов техпроцесс выбирает наиболее подходящих исполнителей задачи, учитывая доступность ресурсов, их текущую загрузку и другие параметры. В ходе переговоров агенты могут обмениваться данными о возможных сроках выполнения, приоритетах и условиях выполнения операции.

Агент-ресурс представляет собой программный компонент, который отождествляется с конкретным физическим элементом производства: станком, оборудованием, инструментом (например, сверлом) или даже человеком. Получив запрос от агента-техпроцесса, агент-ресурс анализирует свою текущую загруженность и способность выполнить предложенную операцию в указанные сроки.

Если агент-ресурс ассоциирован с человеком, то при принятии решения о возможности выполнения задачи дополнительно требуется его согласие. Таким образом, агент-ресурс не только контролирует доступность и состояние соответствующего оборудования, но и обеспечивает обратную связь с операторами, что особенно важно для точности и качества выполнения задач[2].

Ключевым элементом взаимодействия агентов в системе является обмен сообщениями через брокер сообщений, реализованный на базе RabbitMQ. Этот инструмент обеспечивает гибкую и надежную передачу данных между агентами, что критично в условиях динамического производства. В системе используется механика маршрутизации сообщений с помощью `topic_logs`, что позволяет эффективно организовать навигацию сообщений по различным темам и направлениям.

Например, агент-техпроцесс может послать сообщение, содержащие запросы на ресурсы, и все подходящие агенты-ресурсы, подписанные на соответствующую тему, получают этот запрос и реагируют на него в зависимости от своей загрузки и состояния. Такая система коммуникации позволяет поддерживать высокую скорость и точность обмена данными, что в свою очередь обеспечивает гибкость и адаптивность производственного процесса.

Проблемы перепланирования с использованием мультиагентного подхода:

Мультиагентные системы планирования предлагают значительные преимущества для управления производственными процессами, однако их использование связано с рядом специфических проблем, особенно в контексте перепланирования задач. Перепланирование в условиях динамично меняющихся производственных условий требует от системы не только способности к быстрой адаптации, но и эффективного взаимодействия между агентами, что порождает множество вызовов[1].

Каскадные эффекты перепланирования:

Изменение расписания одного агента в мультиагентной системе может вызвать цепную реакцию изменений в расписаниях других агентов. Например, если один агент-ресурс вынужден перенести выполнение задачи из-за неожиданного сбоя или изменения приоритета, это может привести к необходимости перепланирования других операций, которые зависят от этого ресурса. В результате, изменения могут каскадно распространиться по всей системе, затрагивая несколько агентов и вызывая значительные сдвиги в общем производственном расписании[5].

Эти каскадные эффекты могут существенно усложнить процесс перепланирования, так как система должна учитывать не только прямые, но и косвенные последствия каждого изменения. Это требует от агентов способности быстро анализировать взаимозависимости и предсказывать возможные последствия своих решений. В противном случае, каскадные эффекты могут привести к серьёзным сбоям в производстве и значительным задержкам, что снизит общую эффективность работы предприятия.

Коммуникационные проблемы:

Одной из ключевых проблем в мультиагентных системах является обеспечение надёжной и эффективной коммуникации между агентами. В условиях перепланирования количество сообщений, передаваемых между агентами, резко возрастает, что может приводить к перегрузке системы обмена сообщениями (в вашем случае, брокера сообщений RabbitMQ). Высокая нагрузка на брокер сообщений может привести к задержкам в передаче данных, что критически влияет на оперативность принятия решений.

Кроме того, возможны случаи, когда агенты не успевают вовремя получать или обрабатывать сообщения, что приводит к нарушению синхронности в действиях различных элементов системы. В результате, некоторые агенты могут принять решения на основе

устаревшей или неполной информации, что снижает эффективность перепланирования и может привести к конфликтам и сбоям в производственном процессе[2].

Конфликты интересов:

Мультиагентные системы предполагают, что каждый агент действует в своих интересах, стремясь оптимизировать выполнение своей задачи. Однако в условиях перепланирования могут возникать ситуации, когда интересы различных агентов конфликтуют. Например, два агента-техпроцесса могут одновременно запросить один и тот же ресурс, что приводит к конкуренции за его использование.

Разрешение таких конфликтов является сложной задачей. В некоторых случаях агенты могут самостоятельно разрешить конфликт через переговоры и компромиссы, но это может привести к увеличению времени, необходимого для принятия решений, что нежелательно в условиях перепланирования. Другие конфликты могут потребовать вмешательства централизованного компонента системы или применения сложных алгоритмов для нахождения оптимального решения, что усложняет и удлиняет процесс перепланирования.

Комплексность системы:

С увеличением количества агентов и ростом числа взаимодействий между ними, система становится все более сложной. Эта сложность выражается как в увеличении количества необходимых вычислительных ресурсов, так и в усложнении управления системой. В процессе перепланирования это особенно критично, так как система должна оперативно обрабатывать огромное количество данных и принимать решения в условиях ограниченного времени.

Чем сложнее система, тем труднее обеспечить её стабильную работу и предсказуемость результатов. В таких условиях существует риск появления неожиданных ситуаций, когда система начинает работать нестабильно из-за большого количества взаимодействий или недостаточной координации между агентами. Это может привести к тому, что перепланирование займёт значительно больше времени, чем планировалось, что снизит общую эффективность производства.

Оптимизация в реальном времени:

Перепланирование задач в реальном времени — это задача, требующая оптимизации решений с учётом множества факторов. Агенты должны учитывать текущие производственные условия, загрузку ресурсов, приоритеты задач, а также возможные изменения, происходящие в процессе выполнения операций. В условиях перепланирования эта задача становится особенно сложной из-за необходимости быстрого реагирования и высокой динамики процессов[4].

Оптимизация в реальном времени требует от агентов способности быстро оценивать множество вариантов и принимать решения, которые обеспечат максимальную эффективность всего производственного процесса. Однако это часто приводит к необходимости компромиссов между качеством решений и временем, затрачиваемым на их принятие. В результате могут возникать ситуации, когда принятые решения оказываются далеко не оптимальными с точки зрения долгосрочной перспективы, что может негативно сказаться на общей производительности предприятия.

Интеграция человеческого фактора:

Особую сложность в мультиагентных системах планирования добавляет интеграция человеческого фактора. Если агент-ресурс ассоциирован с человеком, то принятие решений

требует дополнительного взаимодействия с ним. Это может замедлить процесс перепланирования, так как необходимо время на получение обратной связи и подтверждения выполнения задачи.

Кроме того, человеческий фактор вносит элемент неопределенности в процесс перепланирования. Человеческие решения могут быть подвержены субъективным факторам, таким как усталость, ошибки или изменение приоритетов. Всё это усложняет работу системы и требует разработки специальных алгоритмов, учитывающих возможные отклонения от планируемых действий.

Возможные методы решения проблем перепланирования:

Перепланирование в мультиагентных системах производственного планирования связано с множеством проблем, начиная от коммуникационных сложностей и заканчивая каскадными эффектами при изменении расписания. Для их решения можно использовать различные методы и подходы, позволяющие повысить эффективность системы и минимизировать влияние сбоев на производственный процесс.

- Улучшение коммуникационной инфраструктуры:

В реализуемом проекте данная проблема была решена следующим образом:

Оптимальный протокол передачи сообщений: Создан оптимальный протокол навигации и группировки сообщений

Использование готового решения в качестве брокера: Использование брокера сообщений `rabbitmq`, выдерживающего огромную нагрузку позволит избежать проблем с перегрузкой сети

- Введение децентрализованных алгоритмов разрешения конфликтов:

Для разрешения конфликтов между агентами при конкуренции за ограниченные ресурсы решено использовать децентрализованные алгоритмы.

Одним из них является метод тендеров: - агенты-ресурсы могут предлагать свои условия решения задачи, а агенты-техпроцессы выбирают наиболее подходящий вариант по цене или временным рамкам.

- Применение предсказательных моделей для минимизации каскадных эффектов:

Каскадные эффекты можно смягчить с помощью предсказательных моделей, которые анализируют возможные последствия изменений в расписании и предлагают оптимальные пути их компенсации. В этом контексте полезны:

Машинное обучение: использование моделей машинного обучения для прогнозирования вероятных сбоев и их последствий на основе исторических данных, что позволяет принимать проактивные меры.

Моделирование сценариев: создание симуляций, которые позволяют оценить различные сценарии перепланирования и выбрать тот, который минимизирует негативные эффекты.

- Гибкость расписаний и буферные зоны:

Для уменьшения рисков, связанных с необходимостью перепланирования, можно внедрить концепцию гибких расписаний, которые включают:

Буферные зоны во времени: выделение дополнительных временных интервалов между задачами, которые могут быть использованы в случае задержек или необходимости переноса задач.

Динамическое приоритезирование задач: изменение приоритетов задач в зависимости от текущей производственной ситуации, что позволяет системе гибко реагировать на изменения.

- Интеграция человека в процессе принятия решений:

В условиях, когда агент-ресурс ассоциируется с человеком, важно интегрировать его в процесс принятия решений. Возможные подходы включают:

Системы поддержки принятия решений: предоставление человеку информации о возможных последствиях различных решений и рекомендаций на основе данных и предсказательных моделей.

Человеко-машинные интерфейсы: улучшение взаимодействия между системой и человеком, что позволяет оперативно учитывать человеческий фактор в процессе перепланирования[3].

- Алгоритм перепланирования на уровне отдельного агента:

При возникновении сбоя в производственном процессе, вызванного отказом ресурса или задержкой выполнения предыдущей операции, мультиагентная система должна оперативно отреагировать и скорректировать свои действия. На уровне каждого агента существует определённый алгоритм, позволяющий минимизировать негативные последствия и обеспечить выполнение производственного плана с минимальными отклонениями. В данной секции мы рассмотрим типовой алгоритм перепланирования, который применяется агентом в случае возникновения сбоя.

- Основные этапы алгоритма:

- Инициация перепланирования:

Процесс начинается с идентификации сбоя: это может быть отказ ресурса от выполнения задачи или задержка выполнения предыдущей операции. Агент сразу же начинает процесс поиска решения.

- Проверка времени выполнения задачи:

Агент оценивает, наступило ли время выполнения операции. Если время уже наступило, система переходит в режим максимального приоритета для подбора нового исполнителя задачи.

- Поиск замены исполнителя:

В случае отказа ресурса агент пытается найти замену среди других доступных ресурсов. Если замена найдена, агент перепланирует выполнение задачи с новым исполнителем.

- Запуск процесса перепланирования:

Если замена не найдена или обнаружена задержка выполнения предыдущей задачи, агент запускает процесс планирования. В рамках этого процесса система оценивает возможность смещения времени выполнения задачи или отмены операции.

- Оценка возможности завершения задачи:

Если операция не является последней в цепочке, агент проверяет, можно ли завершить задачу до начала следующей операции. В случае успеха перепланирование завершается.

- Запрос на смещение времени следующих задач:

Если завершение задачи до начала следующей операции невозможно, агент запрашивает другие ресурсы о возможности смещения времени выполнения их задач. Если смещение возможно, агент проводит перепланирование и завершает процесс. В противном случае агент отменяет задачи у всех ресурсов.

- Завершение перепланирования:

При успешном перепланировании агент обновляет время завершения операции и передает его другим заинтересованным агентам. В случае неудачи агент отменяет выполнение всех операций, связанных с текущей задачей[5].

Таким образом, алгоритм позволяет агенту оперативно реагировать на возникшие проблемы и минимизировать последствия сбоев, поддерживая гибкость и адаптивность всей производственной системы.

В данной статье рассмотрены проблемы перепланирования задач на производстве с использованием мультиагентного подхода. В условиях современных производственных процессов, где динамичность и гибкость являются ключевыми факторами успеха, применение мультиагентных систем становится всё более актуальным. Агенты, представляющие собой отдельные элементы предприятия, такие как станки, оборудование и персонал, взаимодействуют между собой для создания оптимального производственного расписания, реагируя на изменения и сбои в режиме реального времени.

Мы выделили основные вызовы, связанные с перепланированием в мультиагентных системах, такие как задержки в коммуникации, каскадные эффекты, возникающие при изменении расписания одной задачи, и конфликты при распределении ограниченных ресурсов. Для решения этих проблем предложены различные методы, включая улучшение коммуникационной инфраструктуры, использование предсказательных моделей, гибкость расписаний и интеграцию человека в процесс принятия решений.

Реализация предложенных методов позволяет значительно повысить эффективность производственного процесса, минимизировать риски и обеспечить своевременное выполнение задач даже в условиях непредвиденных изменений. Важно отметить, что процесс перепланирования должен оставаться адаптивным, а его эффективность постоянно мониториться с использованием ключевых показателей.

Таким образом, мультиагентный подход к управлению производственными процессами открывает новые возможности для повышения производительности и устойчивости предприятий. Однако его успешная реализация требует тщательной настройки и адаптации системы под конкретные условия и потребности производства. В будущем развитие данных систем будет направлено на дальнейшее улучшение алгоритмов и интеграцию с внешними процессами, что позволит ещё более эффективно реагировать на вызовы современного производства.

Список литературы

1. Weiss, G. (2003). *Multi-Agent Systems for Manufacturing Control: A Design Methodology*. Springer.
2. Koen H. Dam, Igor Nikolic, Zofia Lukszo (2013). *Agent-Based Modelling of Socio-Technical Systems*
3. Shoham, Y., & Leyton-Brown, K. (2009). *Multiagent Systems: Algorithmic, Game-Theoretic, and Logical Foundations*. Cambridge University Press.
4. Wooldridge, M. (2009). *An Introduction to MultiAgent Systems*. Wiley.
5. Petcu, A. (Ed.). (2013). *Distributed and Multi-Agent Planning: Theory and Practice*. Springer. №. 4 (49). – С. 78-85.

References

1. Weiss, G. (2003). Multi-Agent Systems for Manufacturing Control: A Design Methodology. Springer.
 2. Cohen H. Dam, Igor Nikolis, Sofia Lux (2013). Agent-Based Modeling of Socio-Technical Systems
 3. Shoham, Y., & Leyton-Brown, K. (2009). Multiagent Systems: Algorithmic, Game-Theoretic, and Logical Foundations. Cambridge University Press.
 4. Wooldridge, M. (2009). An Introduction to MultiAgent Systems. Wiley.
 5. Petcu, A. (Ed.). (2013). Distributed and Multi-Agent Planning: Theory and Practice. Springer.
-