

РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ СЕЛЕКТИВНО-ПРЕФЕРЕНЦИАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССАМИ РЕСУРСНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВА

Си Ту Тант Син

Национальный исследовательский университет «МИЭТ», Зеленоград, Москва

Ключевые слова: селективно-преференциальный алгоритм, управление запасами, цепи поставок, ресурсное обеспечение, математическое моделирование, имитационное моделирование, многоэшелонные системы, стохастический спрос, адаптивное управление.

Аннотация. В данной статье рассматривается проблематика управления процессами ресурсного обеспечения в многоэшелонных цепях поставок. Традиционные модели управления запасами не всегда способны эффективно справляться со стохастичностью спроса и динамическими рыночными изменениями. Для решения этой проблемы предлагается новая математическая модель и архитектура автоматизированной системы управления ресурсным обеспечением, ядром которой является селективно-преференциальный алгоритм и многомерная матрица.

DEVELOPMENT OF METHODS FOR SELECTIVE-PREFERENTIAL MANAGEMENT OF PRODUCTION RESOURCE MANAGEMENT PROCESSES

Si Thu Thant Sin

National Research University of Electronic Technology (MIET), Zelenograd, Moscow

Keywords: selective-preferential algorithm, inventory management, supply chains, resource provisioning, mathematical modeling, simulation modeling, multi-echelon systems, stochastic demand, adaptive management.

Abstract. This article examines the challenges of resource provisioning management within multi-echelon supply chains. Traditional inventory management models are not always capable of effectively handling stochastic demand and dynamic market changes. To address this problem, the paper proposes a novel mathematical model and architecture for an Automated System of Resource Provisioning Management, the core of which is a selective-preferential algorithm and a multidimensional matrix.

Введение и проблематика

Управление процессами ресурсного обеспечения является важнейшей частью работы в цепочке поставок, которая напрямую влияет на рентабельность и способность компании удовлетворять спрос клиентов. Главная проблема для большинства компаний заключается в поиске оптимального баланса между хранением запасов (для снижения риска дефицита) и необходимостью сокращать избыточные запасы (для минимизации затрат) [1].

Исторически применялись различные стратегии:

Модель ЕОQ: Экономический объем заказа, предложенный Харрисом в 1913 году, предполагает постоянный спрос и отсутствие неопределенности.

Политики управления запасами: для борьбы со стохастичностью применяются политики статической (Q, r) , динамической (s, S) и статико-динамической (r, S) неопределенности. Например, стратегия (s, S) предполагает заказ до целевого уровня S , если запасы падают до точки s .

Однако эти подходы имеют ряд ограничений. Они опираются на оценки распределения спроса, которые не всегда точно отражают реальную вариативность, и не учитывают динамические факторы, такие как сезонные колебания и пиковые нагрузки. Это обуславливает необходимость разработки адаптивного механизма дифференцированного управления ресурсами.

Архитектура автоматизированной системы (АСУРО)

Для обеспечения селективного выбора наиболее рационального алгоритма пополнения ресурсов разработана обобщенная архитектура системы W . Принцип работы системы базируется на взаимодействии двух основных модулей: генератора G и исполнителя I .

Внутренняя структура системы включает следующие ключевые функциональные компоненты:

Сумматор: осуществляет интеграцию сведений о запросах, сбор статистических метрик, а также коррекцию ошибок.

Модуль хранения и архивирования (МХА): выполняет функции долговременного хранения данных и обеспечивает двунаправленную связь с исполнительным модулем $I(W)$.

Модуль-разделитель (МРД): классифицирует поступающие запросы, разделяя единый поток требований на три независимых направления (например, аннулированные запросы, запросы для модуля-накопителя и самогенерируемый поток).

Модуль-анализатор (A_n): обрабатывает поток ответов от исполнительного блока и генерирует сводный выходной поток для генератора G , завершая цикл обратной связи.

Систему W правомерно представить в виде математического оператора Ψ , который осуществляет преобразование и установление взаимосвязей между входными и выходными потоками требований [2].

Математическая формализация ресурсного требования

При анализе системы ресурсное требование трактуется как абстрактный объект [3]. Каждое требование на ресурсы q формализуется как упорядоченная пара:

$$q = \langle \Theta^{[Y]}, \Theta^{[R]} \rangle. \quad (1)$$

Предполагается, что востребованный ресурс обладает конечным числом характеристик $y_1, y_2, y_3, \dots, y_n$. Эти характеристики формализуются в виде множества $\gamma(y_i)$. Таким образом, множество всех существующих разновидностей ресурсов Y выражается зависимостью:

$$Y = \bigcup_{i=1}^n \gamma(y_i). \quad (2)$$

Для отдельного ресурса определяется произвольное число ограничивающих регуляторов $r_1, \dots, r_m$. Вся совокупность регуляторов R формализуется следующим уравнением:

$$R = \bigcup_{m=1}^M \gamma(r_m). \quad (3)$$

Каждое условие задает ограничения на параметры, что описывается декартовым произведением областей допустимых значений Q :

$$Q = \prod_{k=1}^K y_k^{(r_m)}. \quad (4)$$

При агрегации нескольких требований в единый пакет, формализованное представление задаётся следующим вектором:

$$q_i = \langle n_i, \tau_i, v_i, c_i \rangle, \quad (5)$$

где n_i – идентификатор ресурса, τ_i – лимит времени, v_i – ограничение по объему, а c_i – бюджетное ограничение.

Селективно-преференциальный алгоритм (СПА) и матрица

Разработанный селективно-преференциальный алгоритм функционирует как адаптивная система, автоматически выбирающая оптимальную стратегию L_j из множества стандартных решений $\{L_1, L_2, \dots, L_k\}$.

Процесс обработки разделен на несколько этапов:

Итерация по каталогу: применяется иерархическая структура каталога для высокоскоростного поиска релевантных ресурсов.

Формирование базы данных: Агрегация информационных массивов с общим набором данных $\{D\}$.

Проверка идентификаторов хранения: Каждому ресурсу назначаются коды: «I» (Включить в план), «N» (Исключить), «E» (Замена существующего), «D» (Замена при дефиците) и «Un» (Возврат).

Проверка флагов исключения: Исключение неактуальных ресурсов и передача остальных в механизм пополнения (МП-СПА) для расчета заказа [4].

Селективно-преференциальная матрица (СПМ) служит ключевым инструментом для создания взаимосвязей между кодами ресурсов и алгоритмическими решениями. Условие целостности матрицы V формулируется так:

$$V = \bigcup_{n=1}^N \bar{V}_n. \quad (6)$$

В зависимости от стоимости единицы ресурса и частоты запросов матрица назначает один из алгоритмов:

L_0 : Простой расчет на основе среднего потребления.

L_1 : Использование модели экономического заказа (EOQ).

L_2 : Введение концепции резервного запаса (Safety Stock).

L_3 : Модификация L_2 с учетом количества отказов и потерянного спроса.

Практическая реализация и обработка спроса

В реальных условиях интенсивность спроса подвержена цикличности и сезонным колебаниям. Интеграция циклических закономерностей в СПМ позволяет структурировать оси матрицы в соответствии с фазами возникновения требований [5].

Особое внимание уделяется обработке спорадических (случайных) запросов. Вместо анализа отдельных обращений используется агрегирующий критерий

«периоды запросов», что минимизирует избыточное моделирование виртуальных транзакций и гарантирует стабильность системы.

Кроме того, учитывается технологическая связанность ресурсов. На основе зависимостей формируется древовидная структура (номенклатура), где вершина – это базовый ресурс G , а узлы нижних уровней – вспомогательные ресурсы. Это позволяет применять комбинированный (гибридный) подход, при котором сначала планируются базовые ресурсы, а дочерние вычисляются через обход дерева спецификаций.

Результаты имитационного моделирования

Для оценки эффективности предложенного метода была разработана имитационная модель, сравнивающая работу стандартных алгоритмов $\{L_0, L_1, L_2, L_3\}$ с селективно-преференциальным алгоритмом (ПСАП) в комбинации $\{L_1, L_2, L_3\}$.

Основными критериями оценки выступали:

Процент обслуживания ($\xi_{обс}$): Эффективность удовлетворения потребностей клиентов.

Объем запаса ресурса ($\xi_{об_зан}$): Остаток ресурсов, определяющий затраты на хранение.

Объем потерь ($\xi_{об_ном}$): Количество незакрытых запросов.

Численные результаты:

Наиболее "жадный" стандартный алгоритм L_1 обеспечил процент обслуживания на уровне 61,90%, но потребовал значительного размера запасов (10987 единиц) и допустил объем потерь в 4139 единиц.

Использование селективно-преференциальной матрицы позволило комбинировать модели в зависимости от специфики каждого ресурса. В результате СПА достиг более высокого процента обслуживания – 72,75% (рост на 17,5% по сравнению с L_1). При этом рост размера запаса составил всего 2,2% (11234 единицы), а объем потерь снизился до 3892 единиц.

Заключение

Разработанная математическая модель и структурная организация автоматизированной системы управления ресурсным обеспечением позволяют эффективно управлять потоками ресурсных требований.

Селективно-преференциальный механизм обеспечивает автоматизированный выбор наиболее эффективного алгоритма пополнения запасов на основе экспертных критериев и многомерной матрицы. Предложенная методика агрегирования данных успешно сглаживает спорадические запросы и учитывает цикличность спроса. Результаты моделирования достоверно подтверждают, что данный подход существенно повышает долю обслуженных заявок при минимальном увеличении объемов складских запасов, обеспечивая надежность и экономическую эффективность цепей поставок.

Список литературы

1. Месарович М., Мако Д., Такахара И. Теория иерархических многоуровневых систем. – М.: Мир, 1973. – 344 с.

2. Si Thu Thant Sin. Development of a Model and Algorithms for Trigger Control of Technological Processes of Resource Provision // Advances in Automation VI. RusAutoCon 2024. Lecture Notes in Electrical Engineering, vol 1324. Springer, Cham, 2025. doi.org/10.1007/978-3-031-82494-4_13.
3. Рыжиков Ю.И. Теория очередей и управление запасами: учебное пособие для вузов. – СПб.: Питер, 2001. – 384 с.
4. Si Thu Thant Sin, Portnov E.M., Bain A.M. Research and Development of Algorithms for Dispatching Tasks in Distributed Computing Systems // International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM), Sochi, Russian Federation, 2024, pp. 700-704.
5. Сумец А.М. Выбор стратегии управления товарными запасами с учетом фактора сезонности // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия D: Экономические и юридические науки. – 2010. – №4. – С. 163-170.

Сведения об авторе:

Си Ту Тант Син – к.т.н., докторант.