

ПРИМЕНЕНИЕ МЕХАНИЗМА ВИРТУАЛЬНОГО СРАБАТЫВАНИЯ ПЕРЕХОДОВ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ MRP-РАСЧЕТОВ В ИНВЕРСНЫХ СЕТЯХ ПЕТРИ

*Ван Дун*¹

1: Аспирант, СПбПУ, Санкт-Петербург, Россия

E-mail: jssdwang06@mail.ru

Планирование материальных ресурсов (MRP) в дискретных производствах требует учета партийности операций и ресурсных ограничений [1]. Использование сетей Петри позволяет формализовать динамику производства, однако для расчета начальных потребностей требуется обратный вывод в инверсных сетях [2]. Принципиальной сложностью обратного моделирования является дискретность партий. Если вес дуги не делит объем продукции нацело, возникают остаточные маркеры и структурная блокировка [3]. В работе предложен метод виртуального срабатывания, обеспечивающий алгоритмическую замкнутость планирования.

Механизм виртуального срабатывания переходов

В классической теории сетей Петри [4] переход t считается разрешенным, если маркировка всех его входных позиций достаточна для преодоления порога весов дуг. В инверсных моделях при расчете MRP это условие становится препятствием для полной декомпозиции заказа.

Рассматривается материальная позиция $p \in P_{mat}$, содержащая остаток $M(p) > 0$. Если для всех потенциальных переходов-производителей t выполняется условие $M(p) < W^{-1}(p, t)$, стандартная имитация прекращается. Для решения данной проблемы вводится механизм виртуального срабатывания, который игнорирует проверку достаточности маркеров в позиции p и принудительно активирует переход t . Необходимая кратность запусков перехода $\Delta u(t)$ для полного покрытия остаточной потребности рассчитывается на основе операции округления вверх до ближайшего целого:

$$\Delta u(t) = \left\lceil \frac{M(p)}{W^{-1}(p, t)} \right\rceil \quad (1)$$

Такой подход имитирует запуск полной производственной партии для покрытия даже незначительной невязки спроса, что соответствует реальной логике работы дискретных производств.

Поскольку механизм виртуального срабатывания принудительно увеличивает маркировку в предковых узлах, возникает риск ложного формирования потребностей в возобновляемых ресурсах (станках, персонале). Для обеспечения корректности расчета вводится индикаторная функция маскирования $\delta(p)$:

$$\delta(p) = \begin{cases} 1, & p \in P_{mat} \\ 0, & p \in P_{res} \end{cases} \quad (2)$$

При выполнении виртуального срабатывания приращение маркировки умножается на $\delta(p)$, что позволяет локализовать расчет исключительно на расходуемых материальных потоках, сохраняя неизменным состояние ресурсов узлов.

Анализ каскадного эффекта

Применение формулы (1) в многостадийных сетях позволяет выявить истинную потребность в материалах, которая скрыта при стандартном моделировании. Для верификации использовалась упрощенная модель (Рис. 1) с критическими коэффициентами партийности 5:2 и 1:3.

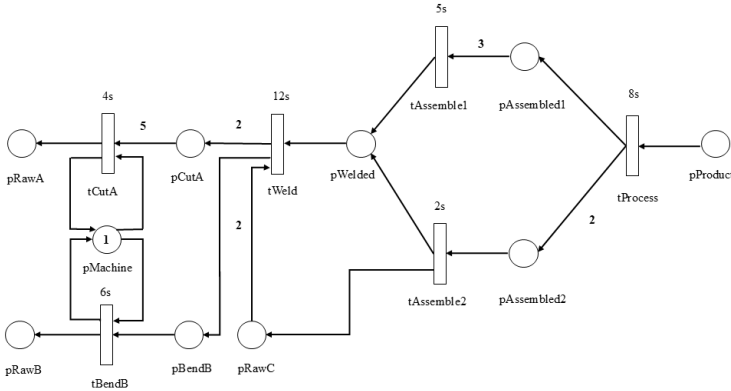


Рис. 1. Фрагмент инверсной сети Петри с некрatными весами дуг.

Анализ каскадного эффекта

В ходе эксперимента варьировался целевой объем выпуска продукции $M_{pProduct} \in \{1, \dots, 30\}$. Сравнивались результаты стандартной имитации и предложенного метода (Рис. 2).

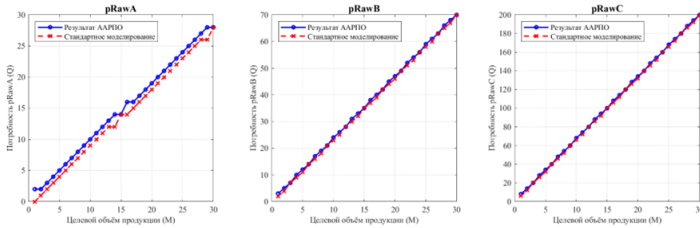


Рис. 2. Влияние целевого объема выпуска на потребность в сырье

Анализ графиков (Рис. 2) показывает, что стандартное обратное моделирование (красная пунктирная линия) систематически занижает потребность в сырье из-за структурных блокировок при некратных значениях заказа. Внедрение механизма виртуального срабатывания (синяя сплошная линия) доводит расчет до исходного сырья и выявляет нелинейность процесса. Ступенчатый характер синей кривой (особенно для ресурса $pRawA$) наглядно демонстрирует работу оператора округления в формуле (1). Разрыв между кривыми отражает скрытый дефицит материалов, который при традиционном расчете привел бы к остановкам реального производства.

Заключение

Механизм виртуального срабатывания устраняет проблему алгоритмической незамкнутости обратных MRP-расчетов. Совместно с маскированием ресурсов подход обеспечивает точную декомпозицию материальных потоков, предотвращая дефицит в дискретных производствах.

Литература

1. Orlicky J. Material Requirements Planning. New York: McGraw-Hill, 1975.
2. Shanlin Y., Jie Z., G. Jun. Inverse Petri Nets: Properties and Applications // IFAC Proceedings Volumes. 1991. Vol. 24 (14). P. 91–95.
3. Сочнев А.Н. Планирование ресурсов производства на основе сетевых моделей // Управление техническими системами и технологическими процессами. 2020. № 86. С. 116–131.
4. Murata T. Petri Nets: Properties, Analysis and Applications // Proc. IEEE. 1989. Vol. 77(4). P. 541–580.