

ПЛАНИРОВАНИЕ РЕСУРСОВ ПРОИЗВОДСТВА НА ОСНОВЕ СЕТЕВЫХ МОДЕЛЕЙ

Сочнев А. Н.¹

(ФГАОУ ВО Сибирский федеральный университет,
Красноярск)

В статье рассматривается вариант применения в качестве математической основы системы планирования ресурсов производства имитационных моделей на основе сетей Петри. Предложен механизм решения задачи планирования материальных потребностей производства на основе обратной (инверсной) сети Петри или обратной имитации. Приведен пример решения указанной задачи для участка типичного среднесерийного машиностроительного предприятия и выявлены особенности практического использования предложенного подхода.

Ключевые слова: планирование производства, MRP-система, сеть Петри, обратная (инверсная) сеть Петри, обратная имитация.

1. Введение

Одной из типичных логистических концепций, сформировавшихся в последнее время, является концепция “планирования ресурсов” (requirements planning, RP), которую реализуют программные системы MRP (MRP II) (англ. Material Requirements Planning — планирование потребности в материалах) [4]. Система планирования потребностей в материалах на входе принимает данные о заказах потребителей, а на выходе формирует заказы на материальные ресурсы для поставщиков. В основе MRP-системы лежат систематизированные расписания и аналитические зависимости потребления ресурсов от спроса на продукцию. В данной статье предлагается подход к решению базовой задачи MRP-системы на основе имитационных моделей, реализованных сетями Петри.

Сети Петри являются одним из базовых средств моделирования дискретных систем любой природы, в частности производственных [3, 6, 9]. Основной задачей, связанной с производством и решаемой имитационными экспериментами, является

¹ Алексей Николаевич Сочнев, к.т.н., доцент (asochnev@sfu-kras.ru)

задача планирования производственного процесса. Формально при её решении требуется составить оптимальное по заданному критерию расписание работы производственной системы [3]. Накоплена обширная статистика по использованию сетей Петри для решения задач планирования производства [1, 5, 10].

Основная функция MRP-системы, связанная с определением количества исходного сырья или заготовок [3, 4] в терминологии сетей Петри трансформируется в задачу определения по начальному состоянию (маркировке) конечного состояния либо его достижимость. Основной идеей данной статьи является разработка методов изменения состояний сетевой модели производственного процесса, позволяющих определять потребности в ресурсах на основе имитационных экспериментов с той же моделью, которая используется и для планирования производства.

2. Методы определения потребностей в сырье

Определим основные подходы, используемые для практического решения задачи определения необходимого количества входных ингредиентов производства.

Первый, наиболее понятный подход состоит в использовании технологических соотношений, связывающих количество объектов производства до выполнения операций и после. Формализованный технологический процесс содержит информацию о входимости отдельных деталей в сборки, о нормах расхода сырья, логистические зависимости и т.д. Недостатками указанного подхода являются: высокая трудоемкость расчетов для сложных разветвленных производственных процессов, неоднозначность результата при наличии многовариантных технологических операций, а также невозможность исследовать потребление ресурсов в динамике.

Второй подход предполагает использование для решения задачи имитационного эксперимента с применением математической модели процесса. Рассмотрим реализацию данного подхода на основе формализмов сетей Петри.

Поскольку решение задачи состоит в выявлении количественных зависимостей между количеством входных ingredi-

ентов, то необходимо определить модельное соответствие входа и выхода процесса. В сетях Петри состояние модели определяется маркировкой ее позиций. Поэтому требуется в множестве позиций выделить подмножества, соответствующие входным и выходным векторам системы. Обозначим эти множества I и O соответственно.

Представим подход решения задачи в виде обобщенного алгоритма.

1. Определить множества позиций I и O .
2. Задать маркировку позиций множества I заведомо большой.
3. Определить в структуре модели элементы, останавливающие имитацию после достижения требуемых маркировок в позициях множества O .
4. Оценить изменение маркировок входных позиций за время имитации.

Основной недостаток сформулированного подхода состоит в том, что он дает граничные, а не реальные оценки расходов сырья по каждой позиции номенклатуры. Это связано с тем, что остановка сети производится при достижении конечной маркировки по всем пунктам номенклатуры изделий. Фактически, по большинству типов изделий формируется такая маркировка сети Петри, которая соответствует большому объему незавершенного производства, что не соответствует плановому заданию. Следовательно, данный подход целесообразно использовать для определения потребностей в сырье для предельного, граничного режима функционирования производственной системы.

В современных производственных системах требования к скорости и точности определения потребностей в ресурсах постоянно растут, что актуализирует вопрос разработки более рациональных способов решения этой задачи.

3. Обратная сеть Петри и обратная имитация сети Петри

Наиболее перспективно, с точки зрения автора, решать задачу определения потребностей в материальных ресурсах с ис-

пользованием имитационной модели процесса. Если имеется имитационная модель процессов, представленная сетью Петри, то вполне естественно, что она описывает процессы как есть, т.е. от входа системы к выходу, от заготовок до готовой продукции. Если необходимо рассчитать количество сырья с использованием структуры имеющейся модели, то требуется реализовать механизм изменения состояний (маркировок) в обратном порядке. Некоторые подходы к формированию обратных (инверсных) моделей систем предложены в работах [7, 8] и предлагаемые подход в целом является их продолжением.

Формирование сети Петри, обратной к исходной (инверсия сети).

Идея данного подхода состоит в прямом развороте всех структурных связей в исходной сети. Фактически, предлагается формировать обратную (инверсную) к исходной сеть Петри. Входные позиции становятся выходными и наоборот (рис.1).



Рис. 1. Механизм создания обратной сети Петри

Формально описание сети выполняется переопределение матрицы инцидентий исходной сети Петри:

$$(1) \quad B^{*-} = -B^{-}, \quad B^{*+} = -B^{+}, \quad B^{*} = -B,$$

где B^{*-}, B^{-} – матрицы входных инцидентий обратной и исходной сети соответственно;

B^{*-}, B^{-} – матрицы выходных инцидентий обратной и исходной сети соответственно;

B^{*}, B – матрицы инцидентий обратной и исходной сети соответственно.

Очевидно, что не для каждого класса сетей Петри можно выполнить такую трансформацию. В [8] описана ее реализация для ординарных сетей Петри. Этот вопрос требует дальнейшего исследования. Предлагаемый подход применен для подмноже-

ства сетей Петри, которые называются **сети-процессы** [6]. Этот класс сетей характеризуется простой (линейной) структурой, выделенными входными и выходными позициями. Также близкими по типу структурирования модели, являются Workflow-сети или WF-сети [2].

Обратная имитация сети Петри.

Вторым вариантом реализации предлагаемого подхода может быть изменение только уравнения состояний при сохранении исходной структуры сетевой модели.

Условие срабатывания переходов:

$$(2) \quad x[k] \geq B^+ \cdot u[k].$$

Уравнение изменения состояний:

$$(3) \quad x[k+1] = x[k] - B^+ \cdot u[k] + B^- \cdot u[k],$$

где $x[k]$ – текущая маркировка сети;

$x[k+1]$ – следующая маркировка сети;

$u[k]$ – управляющий вектор сети.

Подобный вариант по сравнению с первым более удобен для визуализации, поскольку структура сети Петри никак не изменяется.

Динамические характеристики сети Петри определяются задержками срабатывания переходов. Если в исходной сети они заданы, то в обратной их можно убрать, если решается задача в статике или оставить, если необходимо исследовать потребление ресурсов в динамике.

Обобщенный алгоритм решения задачи определения количества материальных ресурсов предлагается следующим.

1) Определяются позиции сети, моделирующие накопители готовой продукции, и позиции, отображающие заготовки и сырье.

2) Задается начальная маркировка этих позиций.

3) Формируется обратная сеть или выполняется обратная имитация исходной сети.

4) Анализируется конечная маркировка сети. Если в промежуточных позициях сети остается ненулевое количество маркеров, то выполняется шаг 5.

5) Интерпретация количества маркеров в сети и окончательное определение количества требуемых заготовок и сырья.

В целом, описанный подход, несмотря на очевидную простоту, имеет важные недостатки, выявленные в процессе применения.

1. Процесс прямой имитации сети Петри, как правило, имеет множество вариантов динамики. Это обусловлено свойством недетерминированности сети Петри, описанном в литературе [9] либо применением дополнительных решающих правил, для выбора активируемых переходов [10].

2. Множества достижимых маркировок прямой и инверсной сети Петри не совпадают ни по количеству, ни по самим состояниям. Это приводит к необходимости интерпретации полученной конечной маркировки сети с целью определения результата решения.

Данные экспериментов с моделями нескольких производственных систем показали, что метод дает точность, достаточную для практического использования. Кроме того, анализ полученной маркировки всей сети Петри дает основания для оптимизации размеров партий изделий.

4. Пример решения задач планирования производства

Исследуется участок предприятия. Производятся детали двух типов. Имеются следующие операции производственного процесса – рубка листового металла, резка, гибка, сварка и окраска. Определены параметры технологических операций: длительности выполнения операций и объемы партий. Детализированная структура технологических процессов для изделий представлена на рис. 2.

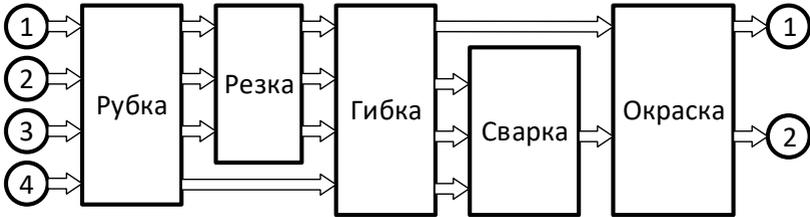


Рис. 2. Структура процессов производственной системы

На входе система потребляет сырье (листовой металл) четырех сортов, на выходе формирует готовые изделия двух типов.

Формирование сетевой модели. Для представления имитационной модели используются временные сети Петри (рис. 3). На первой стадии исследования модель описывает структуру процессов производственной системы и не использует каких-либо методов оптимизации. В целом, сопоставление рисунков 2 и 3 дает основания для интерпретации элементов модели, тем не менее более детально они описаны в таблице 1.

Таблица 1. Функциональное назначение элементов модели

Позиции	
$p1...p4$	Сырье типа 1, 2, 3, 4 для изделий
$p5... p7$	Детали 1, 2, 3 после рубки
$p8... p11$	Детали 1, 2, 3, 4 после резки
$p12...p15$	Детали 2, 3, 4, 1 после гибки
$p16$	Детали 2, 3, 4 после сварки
$p17, p18$	Детали 1 и 234 после окраски
Переходы	
$t1...t4$	Операция рубки деталей 1, 2, 3, 4
$t5...t7$	Операция резки деталей 1, 2, 3
$t8...t11$	Операция гибки деталей 1, 2, 3, 4
$t12$	Сварка деталей 2, 3, 4
$t13, t14$	Окраска деталей 1 и 234

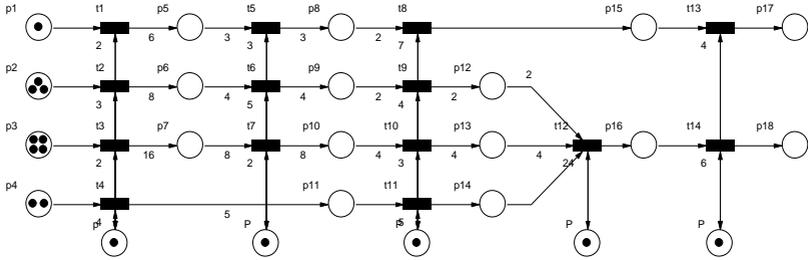


Рис. 3. Сеть Петри производственного процесса (СП)

При использовании приведенной модели для решения задачи необходимо сформировать условие остановки сети после достижения заданного объема производства и счетчики ресурсов на входе в отдельных позициях. Счетчики формируются в позициях $p1 \dots p4$. На рисунке 4 определено условие остановки моделирования при достижении объема производства по двум типам изделий: 3 и 10 единиц соответственно. После достижения этих маркировок выходных позиций, поступление в модель новых маркеров останавливается с помощью ингибиторных дуг на входе системы. Решением задачи является накопленная маркировка позиций $p1 \dots p4$.

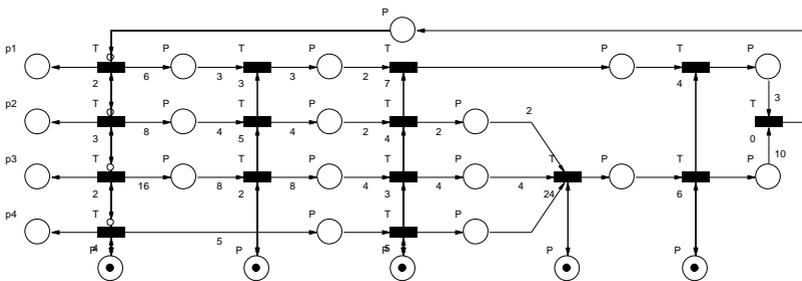


Рис. 4. Имитационная модель для оценки потребностей в ресурсах

Для иллюстрации применения предложенного подхода к решению задачи определения потребности системы в ресурсах выбирается первый описанный вариант, в соответствии с кото-

$x^*[n]$ присваивается выходным позициям, а $x^*[0]$ – входным позициям (рис.5).

По итогу имитационного эксперимента маркировка входных позиций (p_1, p_2, p_3, p_4) определяет потребность производства во входных ресурсах.

В процессе имитации обратной сети Петри выявлена особенность, заключающаяся в том, что часть маркеров в конце имитационного эксперимента задерживается в промежуточных позициях сети. По указанной причине после имитации требуется оценить и проанализировать конечную маркировку. Далее на основе результатов анализа ответить на вопрос о необходимом количестве заготовок и сырья. В рассматриваемом примере видно, что в позиции p_6 в конце имитационного эксперимента осталось 4 маркера. Этот факт требует добавить к количеству входного сырья второго типа дополнительную единицу. Маркировка позиции p_2 увеличивается на единицу: $x[p_2]=x[p_2]+1=2+1=3$.

Количественные соотношения определяются на основании описания операции представляемой соответствующим переходом (в данном случае t_2). В данном случае по кратности дуг видно, что из одной единицы сырья 2 получается 8 заготовок, соответственно для того, чтобы получить 4 заготовки потребуется одна единица. Аналогичные рассуждения проводятся для третьего типа сырья и окончательно получаем маркировку позиций, представляющих количество сырья: $x[n]=(1\ 3\ 3\ 2)$.

5. Заключение

По итогам работы по теме статьи получены следующие основные научные и практические результаты.

1. Обоснована актуальность поиска эффективных и быстрых методов определения потребностей производства в ресурсах в рамках базовых функций MRP-систем

2. Определена целесообразность использования на различных этапах производственного планирования единой имитационной модели процесса и обоснован выбор сетей процессов для представления имитационной модели производства.

3. Сформулированы задачи, приводящие к обоснованному использованию обратной имитации сетей-процессов (сети Петри) и формализованы методы получения обратной сети Петри и обратной имитации сети Петри.

4. Приведены примеры решения задачи определения материальных ресурсов производства на основе обобщенной и (инверсной) обратной сети Петри. На основе результатов экспериментов выявлены и проанализированы некоторые особенности решения подобных задач сетями Петри.

Стоит заметить большой перечень проблем, которые могут сопровождать использование обратных сетей. В частности, можно выделить задачи достижимости, анализа тупиков, безопасности получаемой сети и другие. В данной статье они не рассмотрены, основное внимание уделено описанию содержания самого подхода.

Литература

1. АМБАРЦУМЯН А. А. *Моделирование и синтез супервизорного управления на сетях Петри для рассредоточенных объектов. Механизм взаимодействия и базовый метод* / Автомат. и телемех., 2011, выпуск 8. – с. 151–169
2. АРТАМОНОВ И. В. *Моделирование сервисно-ориентированной архитектуры с помощью сетей Петри* // Вестник НГУ. Серия: Информационные технологии, 2014. – №2. – с. 5–9.
3. ЕМЕЛЬЯНОВ В. В., ГОРНЕВ В. Ф., ОВСЯННИКОВ М. В. *Оперативное управление в ГПС*. – М.: Машиностроение, 1990. – 256 с.
4. ГАВРИЛОВ Д.А. *Управление производством на базе стандарта MRP II*. – М: Питер, 2008. – 416 с.
5. ЗЕЛЕНСКИЙ В. А. *Имитационное моделирование производственных процессов с помощью сетей Петри* / В. А. Зеленский, В. П. Коннов, А. И. Щодро // Вестник СГАУ. – 2012. – №7 (38). – с. 137–142.
6. КОТОВ В. Е. *Сети Петри*. – М.: Наука, 1984. – 160 с.

7. МАРКОВ А.В., ВОЕВОДА А.А. Проверка достижимости сетей Петри при помощи инвертирования деревьев состояний для протокола передачи данных // Томск.: Доклады ТУСУРа, №1 (31), 2014. – с. 143 – 148.
8. МАРКОВ А.В. Инверсия сетей Петри // Сборник научных трудов НГТУ. – 2013. – № 4(74). с. 97–121.
9. ПИТЕРСОН ДЖ. Теория сетей Петри и моделирование систем: Пер. с англ.-М.: Мир, 1984. – 263 с.
10. СОЧНЕВ А. Н. Оперативное управление производственными системами на основе сетей Петри: дис. канд. техн. наук: 05.13.01: Красноярск, 2005. - 153 с.

PRODUCTION RESOURCES PLANNING BASED ON NET MODELS

Alexey Sochnev, Siberian Federal University, Krasnoyarsk, assistant professor (asochnev@sfu-kras.ru).

Abstract: An application is considered simulation models based on Petri nets as a mathematical basis for a resource planning system. A mechanism for solving the task of planning the production material needs based on the inverse Petri net or inverse simulation is proposed. An example of solving this task for a site of a typical medium-sized machine-building enterprise is given and features of the practical use of the proposed approach are revealed.

Keywords: production planning, MRP system, Petri net, inverse (inverse) Petri net, inverse imitation.

УДК 519.7

ББК 22.18

*Статья представлена к публикации
членом редакционной коллегии ...заполняется редактором...*

*Поступила в редакцию ...заполняется редактором...
Опубликована ...заполняется редактором...*