

МЕТОДЫ ФОРМИРОВАНИЯ ДОПУСТИМЫХ РЕШЕНИЙ ЗАДАЧИ ОПТИМИЗАЦИИ МОДЕЛЕЙ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ НА БАЗЕ РАСШИРЕННЫХ СЕТЕЙ ПЕТРИ

А. Г. Волошко¹, О. С. Крюков²

Тульский государственный университет,
пр. Ленина, 92, 300012, г. Тула, Россия, ¹atroshina@mail.ru, ²ol_kryukov97@mail.ru

Рассматривается задача оптимизации времени выполнения производственного процесса. Сложность решения задачи оптимизации требует применения методов сокращения пространства допустимых решений, что приводит к необходимости формирования метода сокращения числа допустимых решений. Данный метод предложен в статье.

Ключевые слова: оптимизация, производственный процесс, допустимые решения, моделирование, расширенные сети Петри.

METHODS OF FORMING FEASIBLE SOLUTIONS TO THE PROBLEM OF OPTIMIZING PRODUCTION PROCESSES MODELS BASED ON EXTENDED PETRI NETS

A. G. Voloshko¹, O. S. Kryukov²

Tula State University,
ave. Lenin, 92, 300012, Tula, Russia, ¹atroshina@mail.ru, ²ol_kryukov97@mail.ru

The problem of optimization of the production process execution time is considered. The complexity of solving the optimization problem requires the use of methods for reducing the space of feasible solutions, which leads to the need to develop a method for reducing the number of feasible solutions. This method is proposed in the article.

Keywords: optimization, production process, feasible solutions, modeling, extended Petri nets.

Современное состояние экономики характеризуется высокой конкуренцией и постоянной необходимостью быстро реагировать на изменения рынка. Это приводит к высоким требованиям к организации всех бизнес-процессов на предприятии. Сложность анализа процессов связана с разнообразием процессов, факторов и параметров. Некоторые из процессов на производстве могут представляться хорошо проработанными аналитическими моделями, позволяющими выполнять глубокий анализ и оптимизацию. Однако в целом для анализа наиболее подходящими являются имитационные модели [1]. Среди имитационного моделирования производственных и бизнес-процессов особое место занимают методы, основанные на расширении сетей Петри [2; 3]. Однако классические сети Петри и их расширения зачастую не предусматривают перестроение модели для оптимизации процессов в виду сложности доказательства эквивалентности моделей. Такого недостатка лишена предлагаемая авторами теория расширенных сетей Петри с семантическими связями (РСПСС) [4]. Модель процесса представляется в виде временной раскрашенной сети Петри, где добавляется еще один вид вершин – переходы по семантическим связям, которые определяют логику развития процесса, то есть если две позиции сети связаны переходом по семантическим связям, то это означает, что действия, представленные выходной позицией перехода, не могут выполняться, пока не будут выполнены действия, представленные входной позицией данного перехода. Обычные переходы сети Петри теперь представляют переходы по управлению и демонстрируют последовательность выполнения действий при текущей организации процессов. Таким образом, можно выполнять реорганизацию процессов с сохранением логики. Более того, анализ моделей процесса может выполняться автоматизировано с использованием современных информационных технологий. В зависимости от текущего уровня цифровизации процессов на предприятии, возможно также автоматизированное построение такой модели процессов с использованием методов Process Mining.

Задача оптимизации может быть сформулирована следующим образом: найти такую реализацию сети, с учетом возможности интеграции существующих автоматизированных систем предприятия и возможности внедрения новых, а также возможности изменения потоков информации и управления для сокращения времени на подготовку продукции, учитывая все этапы ЖЦИ от проектирования и планирования до продажи. Для сети П данная задача может быть сформулирована следующим образом: $T(P) \rightarrow \min$, где T – общее время процесса, моделируемого сетью.

Следует отметить, что данная задача оптимизации является наиболее общей для предприятия и подразумевает анализ только общей организации процессов, а не оптимизацию внутри конкретных этапов. Иными словами, полагается, что каждое из действий, представленных позицией РСПСС, выполняется максимально эффективно и необходимо перераспределить работы с учетом имеющегося персонала, оборудования и возможности параллельного выполнения работ. С целью оптимизации процессов по времени изначальная сеть перестраивается. Все такие перестроения сети связаны со следующими случаями:

1. Наличие изолированных источников информации и материальных объектов – позиции порождения этих потоков информации и материальных объектов могут быть объединены в одну/несколько позиций в зависимости от типа источника. В этом случае добавляется непримитивный переход по семантическим типа s-share, связывающий все позиции-потребители данных и материальных объектов. В реальной системе это обозначает применение об-

щей информационной системы для доступа к необходимым данным, или автоматизацию складского хранения. Такие перестроения единичны и их невозможно исключить из решения оптимизационной задачи.

2. Возможности параллельного исполнения процессов. В таких случаях перестраивается часть сети, связанная с переходами по управлению, в соответствии с семантическими связями и раскраской сети и формируются непримитивные переходы по управлению типа *fork* (начало параллельных работ), *join* (завершение параллельных работ) и *synchro* (синхронизация нескольких потоков параллельных работ). Вариантов распределения работ по исполнителям и оборудованию может быть значительное количество. Следует отметить, что в данном случае задача оптимизации относится к задачам теории расписаний вида Qm [5] и является NP-трудной. В связи с большим количеством позиций сети, моделирующей реальные процессы, для разработки эффективных алгоритмов оптимизации необходимо разработать метод для формирования допустимых решений для последующего их анализа. Принципиальный подход к формированию допустимых решений следующий:

1. Анализ возможностей предприятия. На данном этапе формируется список оборудования и исполнителей, доступных для выполнения исследуемого процесса, в соответствии с их типом и количеством. Тип оборудования/исполнителя отвечает за возможность исполнения тех или иных операций и за производительность. Например, возможны несколько станков, на которых можно выполнить сверление, но их производительность может быть различна, либо возможно несколько работников на одной должности, но новичок выполняет задания медленнее. На данном этапе учитываются все указанные особенности и различия.

2. Анализ семантической подсети РСПСС. На этом этапе проводятся эквивалентные преобразования сети для получения минимально последовательной сети, то есть сети, обеспечивающей максимально возможный параллелизм выполнения работ. При таких преобразованиях переходы по управлению ставятся только между теми позициями, которые имеют переходы по семантическим связям.

3. Анализ раскраски РСПСС. На данном этапе устанавливается связь между существующими возможностями предприятия и минимально последовательной сетью. Раскраска сети позволяет привязывать определенные действия к определенному типу оборудования или исполнителю без учета разницы в производительности. Следует отметить, что раскраска имеет значение для эффективного планирования только в случаях, если в рамках одного отдела или цеха имеются работы, не связанные между собой переходами по семантическим связям, требующие как одного и того, так и разных ресурсов.

4. Анализ необходимости оптимизации. В случае, если количество имеющегося оборудования/исполнителей для реализации процесса превышает необходимое, то для сформированной минимально последовательной сети необходимо определить, только на каком из множества исполнителей исполняется каждый из параллельного потока работ, чтобы достигнуть минимума времени. Для этого необходимо оценить время выполнения работ на каждом исполнителе и выбрать такой вариант, когда все параллельные потоки работ будут выполняться за времена, максимально близкие друг другу. Это позволит, кроме того, избежать простоев оборудования и работников.

5. В случае, если число работников и оборудования недостаточно для полного распараллеливания работ, то в этом случае допустимые решения строятся по следующему принципу. Для каждой параллельной области создается множество доступных к распределению позиций минимально последовательной сети. Эти позиции формируются из первых позиций параллельных потоков работ. На каждом шаге алгоритма только эти работы могут распределяться по исполнителям. Для этого выбирается одна из позиций и случайным образом отправляется на подходящего исполнителя/оборудования. После этого указанная позиция удаляется из множества доступных к распределению позиций, а следующая позиция из потока работ добавляется. Так производится распределение работ до тех пор, пока все работы не будут распределены по исполнителям.

6. Затем проводится анализ полученного решения с точки зрения семантических связей и при необходимости добавляются переходы типа *synchro*.

Полученные таким образом решения должны быть проанализированы на общее время исполнения процесса и выбрано оптимальное решение. За счет наличия семантических связей и раскраски можно сократить число возможного перебора решений и сохранить логику исполнения процесса.

Библиографический список

1. Крышень Е. В., Лаврусь О. Е. Моделирование производственных процессов // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2012. Т. 14. № 4–1. С. 299–302.
2. Зеленский В. А., Коннов В. П., Щодро А. И. Имитационное моделирование производственных процессов с помощью сетей Петри // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета им. академика С. П. Королёва (национального исследовательского университета). 2012. № 7 (38). С. 1–6.
3. Lomazova I. A. Nested Petri nets for adaptive process modeling // Pillars of computer science. Springer, Berlin, Heidelberg, 2008. P. 460–474.
4. Voloshko A., Kryukov O. Extended Petri Nets Based Approach for Simulation of Distributed Manufacturing Processes // 2020 9th Mediterranean Conference on Embedded Computing (MECO). IEEE, 2020. P. 1–4.
5. Лазарев А. А., Гафаров Е. Р. Теория расписаний // Задачи и алгоритмы. М.: МГУ, 2011. С. 224.

Исследование выполнено при финансовой поддержке гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых – кандидатов наук МК-1160.2020.9.