

Петросов Д.А.
канд. техн. наук, доцент Белгородский ГАУ
им. В.Я. Горина
г. Белгород, РФ

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕОРИИ СЕТЕЙ ПЕТРИ В ЗАДАЧАХ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО СИНТЕЗА ИМИТАЦИОННЫХ «УЗЕЛ-ФУНКЦИЯ-ОБЪЕКТ» МОДЕЛЕЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Аннотация: в работе предлагается применение математического аппарата теории сетей Петри, для описания моделей элементной базы и процесса интеллектуального синтеза имитационных моделей технологических процессов с применением технологии «Узел-Функция-Объект». В качестве интеллектуального метода синтеза имитационных моделей предлагается использование генетических алгоритмов, адаптированных к задаче синтеза технологических процессов и использованием вложенных сетей Петри.

Ключевые слова: имитационное моделирование, интеллектуальные системы, эволюционные методы, генетические алгоритмы, структурно-параметрический синтез.

В настоящее время широкое распространение в области имитационного моделирования процессов получает методология «Узел-Функция-Объект» (УФО). Данный подход базируется на том, что «Узел» – это точка пересечения входных и выходных связей (поток) в структуре моделируемого процесса, «Функция» – процесс, который направлен на перевод входного вектора в выходной, а «Объект» – некоторый моделируемой системы, который реализует данную функцию. Связи между объектами в данной методологии представляются в виде информационных потоков по данным или управлению и материальных потоков:

вещество, энергия. [1, 2] Что является достаточным для создания имитационных моделей технологических процессов в различных предметных областях.

Программная реализация УФО-подхода выполнена в среде UFOModeler, однако, данное программное средство не обладает интеллектуальным модулем синтеза имитационных моделей по заданным входным и выходным данным.

Создание имитационных моделей в данном программном средстве происходит в ручном режиме и для описания работы компонента моделируемой системы требуется разрабатывать программный код на основе Object Pascal подобного языка. Имитационная модель системы представляет из себя программный код, состоящий из подпрограмм – элементов системы.

В данном случае сложно говорить о решении задачи структурно-параметрического синтеза имитационной модели технологического процесса на основе заданного поведения, даже при условии наличия базы компонентов, на основе которой будет проходить решение задачи синтеза. Поэтому целесообразно применение математического аппарата, который позволит решить как задачу описания моделей компонентов синтезируемой системы, так и моделировать процедуру интеллектуального поиска решений.

В данной работе предлагается использование математического аппарата теории сетей Петри для описания УФО-моделей компонентов синтезируемых технологических систем, всего технологического процесса и процесса поиска решений. Для обеспечения интеллектуального структурно-параметрического синтеза предлагается использовать генетический алгоритм, адаптированный к решению данного класса задач с помощью вложенных сетей Петри (разработанная модель представлена на рисунке 1)

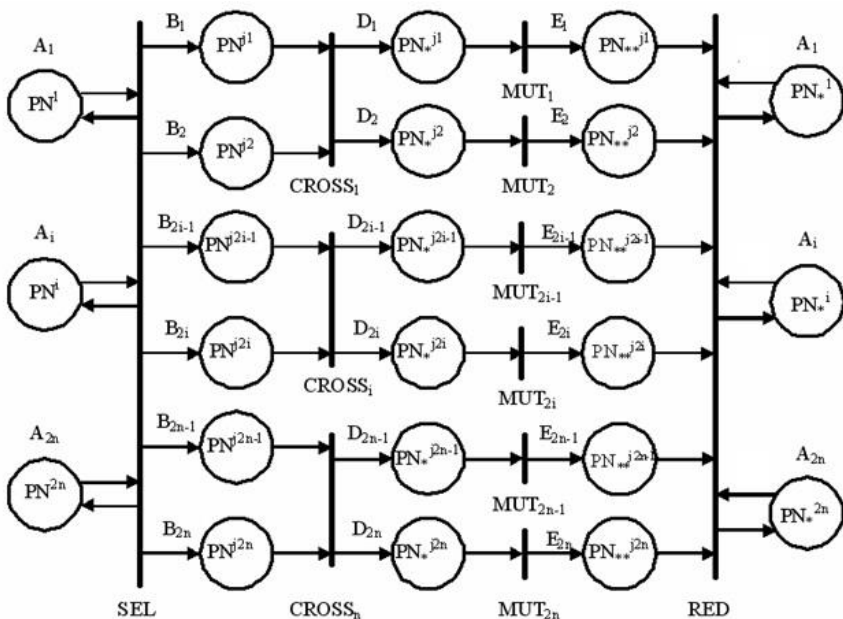


Рисунок 1. Имитационная модель генетического алгоритма на основе вложенных сетей Петри

Вложенные сети Петри позволяют представлять макро-метку первого уровня сети как сеть Петри [3], переходы выполняют работу операторов генетического алгоритма, а позиции служат для сохранения полученных результатов.

Работу представленной имитационной модели генетического алгоритма можно представить следующим образом:

1) начальная популяция, сформированная на основе элементной базы на основе сетей Петри, размещается в позициях слоя A;

2) переход SEL выполняет функцию оператора отбора, направляет полученные в результате пары макро-меток родителей в слой B;

3) переходы класса CROSS выполняют функцию оператора скрещивания и направляют обработанные макро-метки в слой позиций D;

4) переходы класса MUT выполняют функцию оператора мутации и направляют макро-метки в слой позиций E;

5) работу оператора редукции моделирует переход RED, обработанные макро-метки помещаются в слой позиций A;

6) работа предложенной имитационной модели продолжается до достижения критерия останова.

В качестве критерия останова можно рассматривать:

- нахождение модели сети Петри, способной обрабатывать заданный входной вектор в требуемый выходной. Для этого в работе операторов отбора и редукции выполняется вычислительный эксперимент, над полученными моделями на основе сетей Петри, во входные позиции подается заданный входной вектор, по окончании работы модели, выходной вектор, полученный в эндогенных позициях, сравнивается с эталонным выходным вектором. Если выходной вектор полностью совпадает с эталонным, то считается, что полученная в результате структурно-параметрического синтеза имитационная модель технологического процесса обладает заданным поведением и может быть предложена эксперту для оценивания. (для оценки расстояния между эталонным и выходным вектором можно применять различные подходы, например расчет расстояния Хэмминга по количеству меток в выходных позициях или по качеству информации, которую несет метка)

- обработано заданное количество популяций (циклов), но моделей, полностью удовлетворяющих условию поиска не найдено. В этом случае эксперту предлагаются модели, которые имеют минимальное расстояние между полученным и эталонным вектором;

- закончено время на работу модели. Эксперту для анализа предлагаются модели с минимальным расстоянием между выходным вектором и эталонным. [4-6]

Для синтеза технологического процесса возможно использование различных моделей элементной базы на основе сетей Петри.

Рассмотрим решение задачи синтеза технологического агро-процесса выращивания озимой пшеницы, который удовлетворяет финансовым требованиям.

На рисунке 2 показан простой пример имитационной модели подпроцесса, задача которого рассчитать стоимость технологической операции.

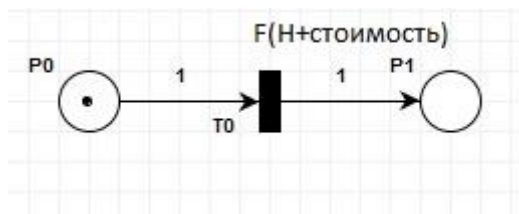


Рисунок 2. Пример имитационной модели процесс, протекающего в элементе синтезируемого технологического процесса

В позицию P_0 поступает метка, которая содержит стоимость предыдущих операций (H), переход t_0 добавляет стоимость данного подпроцесса (стоимость), в позицию P_1 сохраняется стоимость всех предыдущих операций. Представленную модель можно использовать для формирования элементной базы на основе которой будет происходить структурно-параметрический синтез. Установим критерий для данного технологического процесса как не более 5000.

Результатом работы предложенной имитационной модели генетического алгоритма является модель

технологического агро-процесса, представленная на рисунке 3.

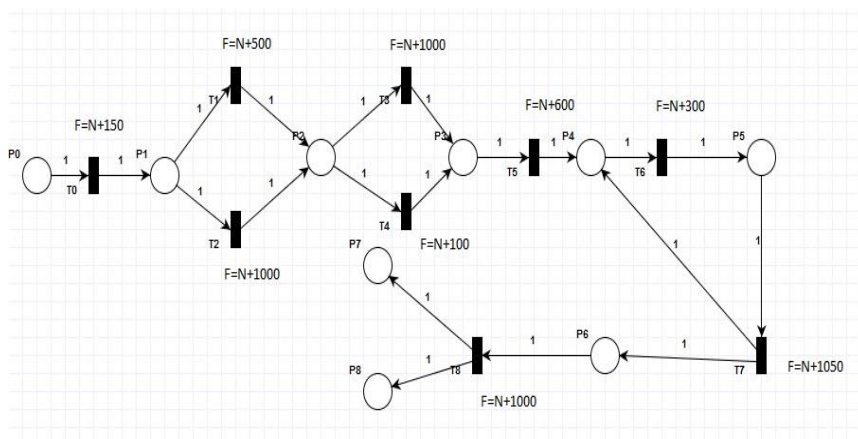


Рисунок 3. Пример имитационной модели технологического агро-процесса выращивания озимой пшеницы, удовлетворяющей заданному критерию, полученной в результате работы генетического алгоритма на основе вложенных сетей Петри

Полученную имитационную модель можно представить в виде УФО модели в имитационной среде UFOModeler (см. рис 4.)

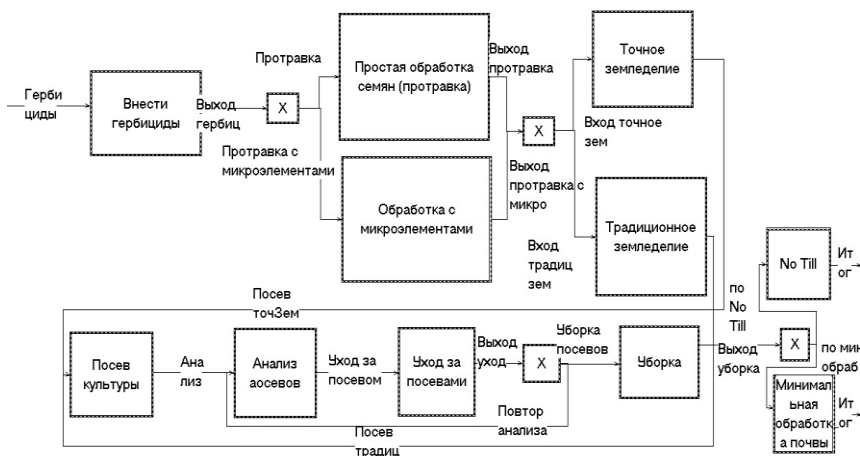


Рисунок 4. Имитационная УФО - модель технологического агро-процесса, полученная в результате работы модели генетического алгоритма на основе сетей Петри

Таким образом, можно говорить о возможности применения теории сетей Петри и генетических алгоритмов для создания интеллектуального модуля структурно-параметрического синтеза УФО-моделей в среде UFOModeler. Данный подход может в значительной мере уменьшить время разработки моделей технологических процессов и как следствие принятия управленческих решений. Применение математического аппарата сетей Петри упрощает задачу интеллектуального синтеза в среде UFOModeler, так как не приходится решать задачу синтеза программного кода, при котором достаточно сложно определить ошибки в структуре и параметрах синтезируемых подпрограмм.

Список использованной литературы

1. Жихарев А.Г., Маторин С.И., Зайцева Н.О. Системно-объектный инструментарий для имитационного моделирования технологических процессов и транспортных потоков // Искусственный интеллект и принятие решений. 2015. № 4. С. 72-80.
2. Зимовец О.А., Маторин С.И. Интеграция средств формализации графоаналитических моделей «Узел-Функция-Объект»// Искусственный интеллект и принятие решений. 2012. № 1. С. 57-64.
3. Lomazova I. A. Resource Equivalences in Petri Nets, in: Application and Theory of Petri Nets and Concurrency. 38th International Conference, PETRI NETS 2017, Zaragoza, Spain, June 25–30, 2017, Proceedings/ Ed. By W. van der Aalst, E. Best. Vol. 10258: Lecture Notes in Computer Science. Switzerland: Springer, 2017. P. 19-34
4. Lomazov V.A., Petrosov D.A., Dobrunova A.I., Lomazova V.I., Matorin S.I. Evolutionary selection of the models of interacting processes on the basis of expert assessments // International Journal of Applied Engineering Research. 2016. T. 11. № 3. С. 1867-1873.
5. Petrosov D.A., Lomazov V.A., Dobrunova A.I., Matorin S.L., Lomazova V.I. Evolutionary synthesis of large discrete systems with dynamic structure // Biosciences Biotechnology Research Asia. 2015. T. 12. № 3. С. 2971-2981.
6. Петросов Д.А., Адаптация генетического алгоритма при моделировании вычислительной техники с изменяющейся структурой и набором компонентов на основе сетей Петри // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В.И. Вернадского. 2009. № 6 (20). С. 151-160.

Благодарности: Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ: № 16-29-12911-офи_м

© Петросов Д. А., 2018