УДК 519.714.5

РАЗРАБОТКА ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ГЕНЕТИЧЕСКОГО АЛГОРИТМА НА ОСНОВЕ МАТЕМАТИЧЕСКОГО АППАРАТА ТЕОРИИ СЕТЕЙ ПЕТРИ

Д.А. ПЕТРОСОВ[1], Н.В. ПЕТРОСОВА[1], В.Г. ФЕКЛИН[2]

[1]ФГБОУ ВО «Белгородский государственный аграрный университет имени В.Я. Горина», г. Белгород
[2]ФГБОУ ВО «Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации», г. Москва,

Ключевые слова и фразы: генетический алгоритм; имитационное моделирование; интеллектуальные системы; системный анализ; теория сетей Петри; технологические процессы; эволюционные методы.

Аннотация: Целью работы является разработка имитационной модели генетического алгоритма для решения задач структурного синтеза имитационных моделей технологических процессов. Предполагается, что разрабатываемая модель позволит выполнять синтез процессов на основе заданной элементной базы, способных обрабатывать заданный входной вектор в эталонный выходной, а также будет обладать свойством параллелизма, что позволит повысить быстродействие интеллектуальных систем поддержки принятия решений, построенных на ее основе. В качестве математического аппарата предлагается использование теорию сетей Петри. При создании модели предложено использовать позиции сети для хранения промежуточных и итоговых результатов, переходы моделируют работу операторов генетического алгоритма. Метка верхнего уровня может представлять модель синтезируемого технологического процесса, закодированного с помощью бинарного дерева в двоичный код. Результатом работы является модель генетического алгоритма, обладающая свойством параллелизма, на основе вложенных сетей Петри, выполненная в среде имитационного моделирования *PIPE v*. 4.3, способная выполнять синтез моделей технологических процессов на основе заданного поведения.

В настоящее время использование эволюционных алгоритмов при создании интеллектуальных систем поддержки принятия решений в различных предметных областях получило широкое распространение. К таким методам относятся искусственные нейронные сети, генетические алгоритмы, генетическое программирование, эволюционные стратегии и т.д.

В работах [1; 2] было предложено использование адаптированного генетического алгоритма для решения задач интеллектуального поиска решений в области технологических процессов. Стоит отметить, что реализация данного эволюционного алгоритма происходит не только программным способом, но и аппаратным, при этом современные исследования направлены на использование свойства параллелизма, которое заложено в данном подходе. Это дает возможность говорить о потребности создания математических моделей генетических алгоритмов на основе математического аппарата, который мог бы поддерживать оба способа реализации. К такому математическому аппарату можно отнести теорию сетей Петри, обладающую всеми перечисленными ранее свойствами: возможность программной реализации, возможность аппаратной реализации, свойство параллелизма [3].

Кроме приведенных достоинств стоит отметить, что данный инструментарий получил большое количество расширений и продолжает развиваться. Поэтому можно говорить о целесообразности применения теории сетей Петри к задаче создания имитационных моделей генети-

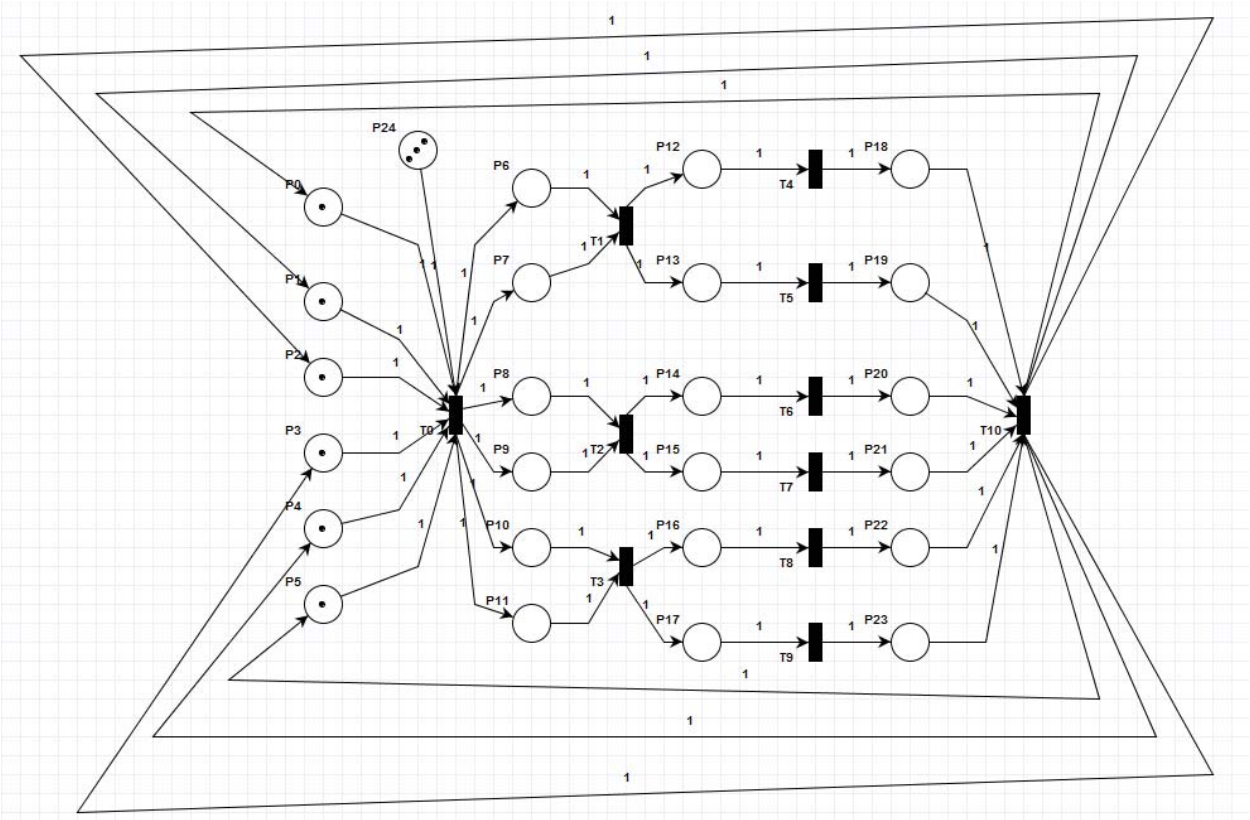

Рис. 1. Модель генетического алгоритма на основе математического аппарата теории сетей Петри

ческого алгоритма.

Сеть Петри представляет из себя двудольный ориентированный мультиграф, который состоит из позиций P, переходов T, дуг L и меток (маркеров) M, которые перемещаются по сети. Для программной и аппаратной реализации является удобным матричное представление данного математического аппарата. Это можно представить в следующем виде:

$$PN = (P, T, D^{-}, D^{+}, M_0),$$

где D^{-} и D^{+} – матрицы входных и выходных инциденций размерностью $m \times n$, где m – число переходов, а n – количество позиций; M_0 – начальная маркировка сети (размещение меток в позициях до запуска моделей). При этом элемент d_{ij}^{-} матрицы D^{-} равен кратности дуг, входящих в i-й переход из j-й позиции, а элемент d_{ij}^{+} матрицы D^{+} равен кратности дуг, выходящих из i-го перехода из j-ю позицию. На основе этих матриц можно построить матрицу инцидентности $D = D^{+} - D^{-}$ [4].

Математический аппарат сетей Петри обладает инструментальным средством анализа, к которому относится дерево достижимости, что может быть использовано для анализа функционирования моделируемого генетического алгоритма.

При разработке имитационной модели генетического алгоритма предлагается использовать такое расширение сетей Петри, как вложенные сети, в которых маркер верхнего уровня сети также является сетью, переход моделирует работу оператора генетического алгоритм, а позиции служат для установки условий срабатывания переходов и хранения результатов срабатывания переходов.

На рис. 1 представлена имитационная модель генетического алгоритма, разработанная в свободно распространяемом программном обеспечении *PIPE v*. 4.3. Матрицы D^{-}, D^{+} и D разработанной имитационной модели генетического алгоритма представлены на рис. 2.

В позиции P_0, P_1, P_2, P_3, P_4, P_5 размещается начальная популяция генотипов, каждая метка

D^+

	T0	T1	T10	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9
P0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
P1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
P10	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P11	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P12	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P13	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P14	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
P15	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
P16	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
P17	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
P18	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
P19	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
P2	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
P20	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
P21	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
P22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
P23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
P24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P3	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
P4	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
P5	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
P6	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P7	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P8	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P9	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

D^-

	T0	T1	T10	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9
P0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P10	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
P11	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
P12	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
P13	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
P14	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
P15	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
P16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
P17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
P18	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
P19	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
P2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P20	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
P21	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
P22	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
P23	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
P24	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P4	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P5	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P6	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P7	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P8	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
P9	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0

$D = D^+ - D^-$

	T0	T1	T10	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9
P0	-1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
P1	-1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
P10	1	0	0	0	-1	0	0	0	0	0	0
P11	1	0	0	0	-1	0	0	0	0	0	0
P12	0	1	0	0	0	-1	0	0	0	0	0
P13	0	1	0	0	0	0	-1	0	0	0	0
P14	0	0	0	1	0	0	0	-1	0	0	0
P15	0	0	0	1	0	0	0	0	-1	0	0
P16	0	0	0	0	1	0	0	0	0	-1	0
P17	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	-1
P18	0	0	-1	0	0	1	0	0	0	0	0
P19	0	0	-1	0	0	0	1	0	0	0	0
P2	-1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
P20	0	0	-1	0	0	0	0	1	0	0	0
P21	0	0	-1	0	0	0	0	0	1	0	0
P22	0	0	-1	0	0	0	0	0	0	1	0
P23	0	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	1
P24	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P3	-1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
P4	-1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
P5	-1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
P6	1	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P7	1	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P8	1	0	0	-1	0	0	0	0	0	0	0
P9	1	0	0	-1	0	0	0	0	0	0	0

M_0

	P0	P1	P10	P11	P12	P13	P14	P15	P16	P17	P18	P19	P2	P20	P21	P22	P23	P24	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9
Initial	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	3	1	1	1	0	0	0	0
Current	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	3	1	1	1	0	0	0	0

Рис. 2. Матрицы D^-, D^+ и D, разработанной модели генетического алгоритма

является бинарной строкой, с которой должен проводить работу генетический алгоритм. Переход T_0 моделирует работу оператора селекции. Позиции P_6, P_7, P_8, P_9, P_{10}, P_{11} служат для хранения меток, обработанных переходом T_0. Переходы T_1, T_2, T_3 моделируют работу оператора скрещивания и помещают обработанные маркеры в позиции: P_{12}, P_{13}, P_{14}, P_{15}, P_{16}, P_{17}. Переходы T_4, T_5, T_6, T_7, T_8 и T_9 моделируют работу оператора мутации и перемещают обработанные маркеры в позиции: P_{18}, P_{19}, P_{20}, P_{21}, P_{22} и P_{23}. Работу оператора редукции моделирует переход T_{10} и помещает результат обработки в первый слой позиций.

Позиция P_{24} служит для постановки условия количества обрабатываемых популяций (количество меток соответствует количеству итераций алгоритма, в качестве примера рассмотрено три итерации). Для обеспечения очередности срабатывания переходов использовалась расстановка приоритетов на переходы, что в значительной мере упростило модель, дала возможность не усложнять алгоритм очередности срабатывания переходов дополнительными условиями.

Разработанная сеть Петри выполнила три итерации над начальной популяцией и разместила полученные результаты в начальных позициях: P_0, P_1, P_2, P_3, P_4, P_5.

В ходе исследования была получена имитационная модель генетического алгоритма на основе математического аппарата теории сетей Петри, которая поддерживает свойство параллелизма, заложенное в рассматриваемый эволюционный алгоритм.

Показаны матрицы D^-, D^+ и D, а также дерево достижимости маркировок. Предложенный подход позволяет выполнять не только

программную реализацию генетического алгоритма, но и аппаратную независимо от области применения и поддерживает технологию параллельных вычислений (например, *GPGPU – General-Purpose Computing on Graphics Processing Units*).

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 16-29-12911.

Литература

1. Карамбиров, С.Н. Реализация генетического алгоритма для оптимизации водохозяйственных систем / С.Н. Карамбиров, С.А. Трикозюк // Природообустройство. – 2009. – № 5 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://cyberleninka.ru/article/n/realizatsiya-geneticheskogo-algoritma-dlya-optipomizatsii-vodohozyaystvennyh-sistem.
2. Куцый, Н.Н. Применение генетического алгоритма для оптимизации автоматических систем с ПИД-регулятором / Н.Н. Куцый, Н.Д. Лукьянов // Вестник ИрГТУ. – 2012. – № 6(65) [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://cyberleninka.ru/article/n/primenenie-geneticheskogo-algoritma-dlya-optimizatsii-avtomaticheskih-sistem-s-pid-regulyatorom.
3. Игнатенко, В.А. Моделирование динамики функционирования систем управления технологическим процессом с использованием математического аппарата сетей Петри / В.А. Игнатенко, Д.А. Петросов // Информационно-аналитические системы и технологии : сборник Материалов V международной конференции, 2018. – С. 34–39.
4. Котов, В.Е. Сети Петри / В.Е. Котов. – М. : Наука, 1984. – 160 с.

References

1. Karambirov, S.N. Realizatsiya geneticheskogo algoritma dlya optimizatsii vodokhozyajstvennykh sistem / S.N. Karambirov, S.A. Trikozyuk // Prirodoobustrojstvo. – 2009. – № 5 [Electronic resource]. – Access mode : https://cyberleninka.ru/article/n/realizatsiya-geneticheskogo-algoritma-dlya-optipomizatsii-vodohozyaystvennyh-sistem.
2. Kutsij, N.N. Primenenie geneticheskogo algoritma dlya optimizatsii avtomaticheskikh sistem s PID-regulyatorom / N.N. Kutsij, N.D. Lukyanov // Vestnik IrGTU. – 2012. – № 6(65) [Electronic resource]. – Access mode : https://cyberleninka.ru/article/n/primenenie-geneticheskogo-algoritma-dlya-optimizatsii-avtomaticheskih-sistem-s-pid-regulyatorom.
3. Ignatenko, V.A. Modelirovanie dinamiki funktsionirovaniya sistem upravleniya tekhnologicheskim protsessom s ispolzovaniem matematicheskogo apparata setej Petri / V.A. Ignatenko, D.A. Petrosov // Informatsionno-analiticheskie sistemy i tekhnologii : sbornik Materialov V mezhdunarodnoj konferentsii, 2018. – S. 34–39.
4. Kotov, V.E. Seti Petri / V.E. Kotov. – M. : Nauka, 1984. – 160 s.

© Д.А. Петросов, Н.В. Петросова, В.Г. Феклин, 2019