

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ФОРМИРОВАНИЯ КОНФИГУРАЦИИ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ С ЗАДАНЫМ ПОВЕДЕНИЕМ

Д.А. Петросов

ГОУ ВПО «Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова», г. Белгород

Ключевые слова и фразы: вычислительная техника (ВТ); генетические алгоритмы (ГА); математическое моделирование; межкомпонентная шина; сети Петри (СП); триггеры; формализация сетями Петри.

Аннотация: Проведено моделирование вычислительной техники различной структуры (фиксированной и изменяющейся) с заданным поведением на основе элементной базы триггеров, предложено использование межкомпонентной шины. В качестве математического аппарата использовались генетические алгоритмы, адаптированные к предметной области и формализованные сетями Петри.

В настоящее время большинство задач формирования конфигураций вычислительной техники с заданным поведением относятся к многокритериальным. И при их решении необходимо учитывать большое число факторов.

Принятие решения в формировании конфигураций ВТ заключается в генерации возможных структурных и функциональных схем моделируемого вычислительного устройства, оценке этих схем и выборе среди них лучшей. «Правильное» решение – это такой вариант возможной схемы устройства, который оптимизирует некоторую целевую функцию (производительность, стоимость и т.п.) в пространстве рассматриваемых вариантов [1].

С появлением и развитием системы автоматизации проектных работ (САПР) ВТ указанные процессы генерации различных вариантов архитектуры и выбора лучшего решения реализуются в рамках комплексных компьютерных систем проектирования электронных компонентов. Однако генерация производится непосредственно разработчиками «вручную», а не самой системой проектирования. В связи с этим актуальной является задача формализации и алгоритмизации процесса генерации различных вариантов проектных решений.

Формализация заключается в описании параметров схемной реализации вычислительного устройства, взаимодействия этих параметров, их ограничений и критерия, оценивающего альтернативные архитектуры. Критерием является целевая функция, определенная на декартовом произведении значений указанных выше параметров. Наилучшей проектной схеме соответствует экстремум целевой функции.

В общем случае генерация вариантов архитектур приводит к всевозможным комбинациям значений параметров, а выбор наилучшей структуры сводится к определению комбинации, на которой целевая функция принимает экстремальное значение. Размерность пространства поиска определяется числом параметров проектного решения, а точками этого пространства являются все варианты схемной реализации.

Постановка задачи

Требуется провести моделирование вычислительной техники, имеющей различные структуры с заданным поведением на основе элементной базы триггеров, используя межкомпонентную шину.

Моделирование ВТ с жесткой структурой

В работе [2] было представлено решение задачи генерации вариантов проектных решения для моделирования ВТ с фиксированной структурой, авторами было предложено использовать в качестве инструментария генетические алгоритмы и сети Петри.

При этом описание объекта сводилось к следующему виду:

$$O = \langle S, C \rangle, \quad (1)$$

где O – объект, который необходимо спроектировать, $S = const$ – структура объекта, $C = const$ – состав объекта.

$$C = (C_1, \dots, C_R), \quad (2)$$

где C_i – i -ый компонент объекта, R – количество компонентов объекта.

$$C_i = \{C_{ij}\}_{j=1}^{M_i}, \quad (3)$$

где C_{ij} – j -ый экземпляр i -го компонента, M_i – количество экземпляров i -го компонента.

$$P = \{P_k\}_{k=1}^L, \quad (4)$$

где P – множество свойств, которыми может обладать проектируемый объект, P_k – k -ое свойство множества P , L – количество свойств множества P .

Требуется: для заданного свойства P_{k_0} , которым должен обладать объект O , подобрать по одному экземпляру $C_{ij(k_0)}$ каждого компонента C_i так, чтобы объект

$$O = \langle S, (C_{1j(k_0)}, \dots, C_{Rj(k_0)}) \rangle \quad (5)$$

обладал свойством P_{k_0} .

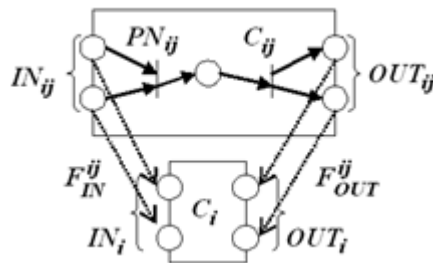


Рис. 1. Соответствие между компонентом и экземпляром

Из определений (2) и (3) следует, что состав C полностью определяется компонентами, поэтому каждый компонент C_i должен быть описан в виде СП, а это, в свою очередь, означает, что каждый экземпляр компонента C_i необходимо определять на языке СП.

Все сказанное относительно компонентов и экземпляров можно проиллюстрировать рис. 1.

Структура S объекта O полностью определяется взаимосвязями между компонентами, которые естественно моделировать переходами СП, что наглядно иллюстрируется рис. 2.

$$F: T \rightarrow \bigcup_{i=1}^R (IN_i \cup OUT_i)$$

Следовательно, соответствие F полностью определяет структуру S объекта O .

Таким образом, описана модель объекта O с фиксированной структурой, которая используется для запуска в ГА, описанного также с помощью СП и показанный на рис. 3.

Моделирование ВТ с гибкой структурой

При проектировании ВТ проектировщик сталкивается с задачей нахождения конфигураций, способных перестраиваться в процессе работы (иметь гибкую архитектуру). Предложенный выше подход был реализован с учетом того, что структура S объекта O является константой, то есть имеет фиксированную структуру.

Задача проектирования перестраиваемой в процессе работы ВТ является разновидностью более общей научной и практической проблемы: проектирование системы с заданным поведением, которая преобразует входные данные в необходимые выходные данные [3–5].

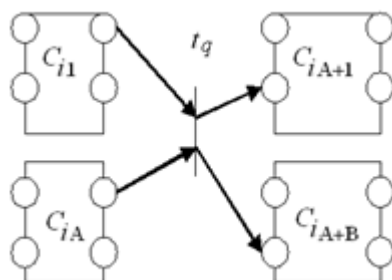


Рис. 2. Связь между компонентами

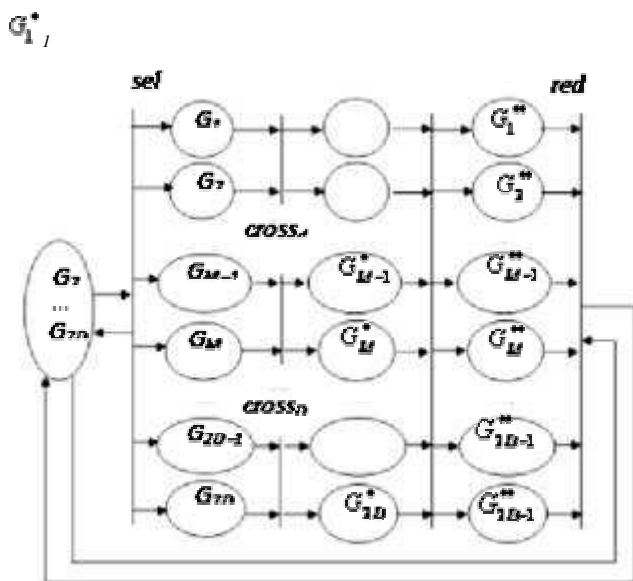


Рис. 3. Описание генетического алгоритма сетью Петри

Поэтому, в работе [6] автором было предложено решение для моделирования конфигураций ВТ с изменяющейся структурой, где ГА работал не только с элементами конфигурации, но и со связями внутри системы.

$$S = \langle In, Out, \{S_k\}_{k=1}^K, \{J_a\}_{a=1}^A, \{F_b\}_{b=1}^B \rangle, \quad (6)$$

где S – система, которую необходимо спроектировать;

In – множество входных данных системы S ;

Out – множество выходных данных системы S ;

S_k – k -ая подсистема системы S ;

f_a – функция, определяющая, какие выходные данные соответствуют входным данным: $f_a : In \rightarrow Out$;

F_a – бинарное отношение на множестве $\{S_k\}_{k=1}^K$: $F_a \subset \{S_k\}_{k=1}^K \times \{S_k\}_{k=1}^K$.

Для заданной функции f_a требуется подобрать бинарное отношение F_a , такое, чтобы множество подсистем $\{S_k\}_{k=1}^K$ обеспечивало обработку системой S входных данных в выходные данные в соответствии с функцией f_a .

Формирование элементной базы на основе СП

Основываясь на предложенных математических моделях для запуска процесса формирования ВТ с фиксированной и гибкой архитектурами, нужно сформировать элементную базу компонентов с использованием СП, на основе которой будут формироваться генотипы.

Компонентами, из которых формируется конфигурация, являются триггеры. Для достижения цели наполнения элементной базы были построены математические модели RS , D и T триггеров показанные на рис. 4.

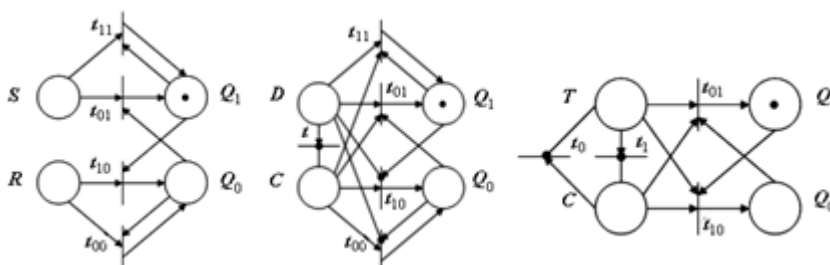


Рис. 4. Модели RS , D и T триггеров на основе СП

Рассматривая задачу нахождения конфигурация S , предположим, что она имеет «прямоугольную» структуру (рис. 5), моделируемую сетью Петри $PN = \{P^{in}, T^{in}, S_1, S_2, \dots, S_n, \dots, S_N, T_1, T_2, \dots, T_n, \dots, T_{N-1}, T_N = T^{out}, P^{out}\}$. Множество $P^{in} = \{p_{2m}^{in}\}$ входных позиций используется для приема данных, загружаемых множеством $T^{in} = \{t_m^{in}\}$ входных переходов конфигурации S ($m=1, \dots, 2M$) по правилу $In(t_m^{in}) = p_{2m}^{in}$.

Слой $S_n = \{S_{mn}\}$ содержит M подсистем S_{mn} , каждая из которых имеет по две входные позиции $p_{2m-1,n}^{in}$ и $p_{2m,n}^{in}$, и по две выходные позиции $p_{2m-1,n}^{out}$ и $p_{2m,n}^{out}$ ($n=1, \dots, N$). Каждая подсистема S_{mn} может моделироваться любым из трех рассмотренных выше триггеров.

Входы слоя S_1 связаны с множеством P^{in} по правилу $Out(t_m^{in}) = p_{m,1}^{in}$.

Выходы слоя S_n связаны с входами следующего слоя S_{n+1} с помощью множества $T_n = \{t_{m,n}\}$ по правилам: $In(t_{m,n}) = p_{m,n}^{out}$, $Out(t_{m,n}) = \{p_{F_n(m),n+1}^{in}, p_{m,n}^{out}\}$, где F_n – некоторая подстановка $2M$ -й степени.

Выходные данные конфигурации S загружаются множеством $T^{out} = \{t_m^{out}\}$ во множество $P^{out} = \{p_m^{out}\}$ выходных позиций по правилам $In(t_m^{out}) = p_{m,N}^{out}$, $Out(t_m^{out}) = \{p_{m,N}^{out}, p_{m,N}^{out}\}$.

Модель конфигурации с «квадратной» структурой 2×2 и тождественной подстановкой

$F_1 = \begin{pmatrix} 1 & 2 & 3 & 4 \\ 1 & 2 & 3 & 4 \end{pmatrix}$ показана на рис. 5 ($Out(t_{i,1}) = \{p_{E(i),2}^{in}\} = \{p_{i,2}^{in}\}$).

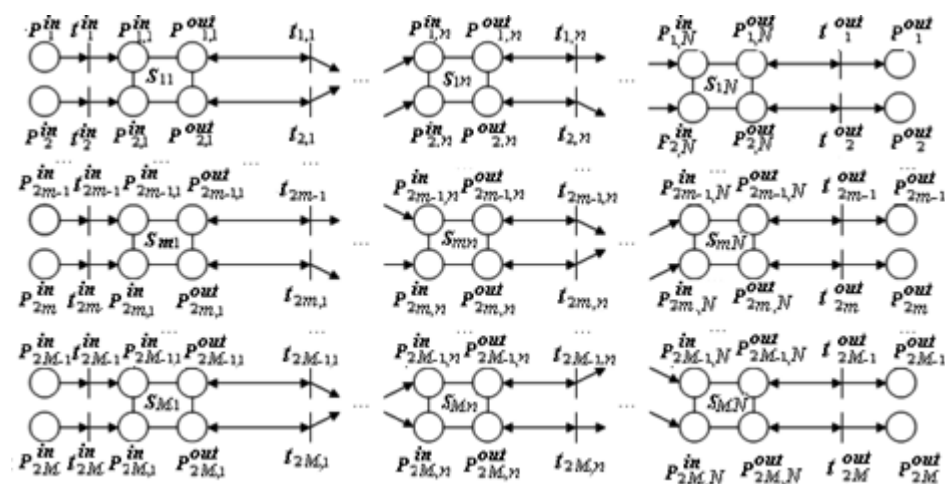


Рис. 5. Модель конфигурации $M \times N$

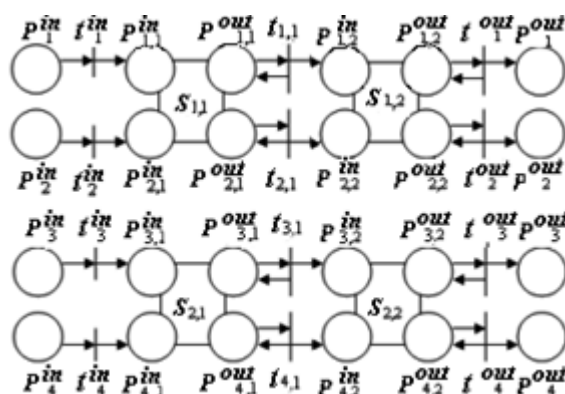


Рис. 6. Модель конфигурации 2×2

Если подсистема $S_{1,1}$ моделируется RS -триггером, подсистема $S_{1,2}$ – T -триггером, $S_{2,1}$ – D -триггером, а подсистема $S_{2,2}$ – T -триггером, и все триггеры находятся в единичном состоянии, то конфигурация $S=(RS, T, D, T)$ будет иметь такой вид, как показано на рис. 6.

Конфигурация $S=(RS, T, D, T)$ работает по следующему алгоритму:

- на вход подаются данные, моделируемые метками;
- запускаются «входные» переходы $t_1^{in} - t_4^{in}$;
- запускаются триггеры «первой очереди» $RS_{1,1}$ и $D_{2,1}$;
- запускаются переходы «первой очереди» $t_{1,1} - t_{4,1}$;
- запускаются триггеры «второй очереди» $T_{1,2}$ и $T_{2,2}$;
- запускаются «выходные» переходы $t_1^{out} - t_4^{out}$;
- в результате получается выходной вектор.

Например, если на вход конфигурации подать вектор $(0, 1, 0, 1)$, то на выходе получится вектор $(1, 0, 1, 0)$.

Решением задачи нахождения конфигурации ВТ на основе триггеров, имеющей вид матрицы 2×2 и преобразующей входной вектор $(0, 1, 1, 0)$ в выходной вектор $(1, 0, 1, 0)$, может быть конфигурация, показанная на рис. 7 и полученная с помощью адаптированного ГА.

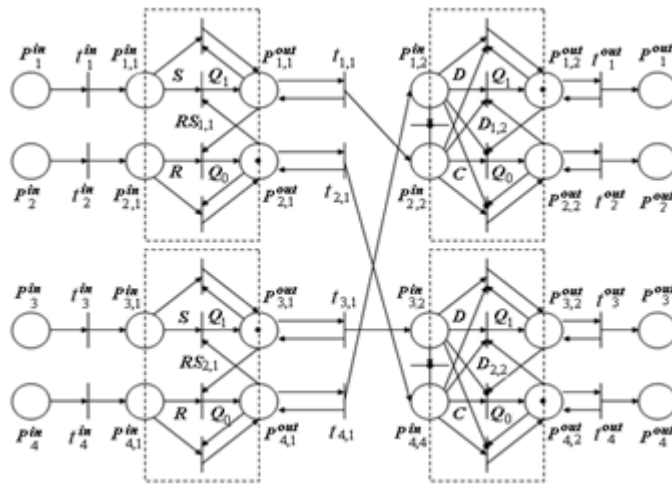


Рис. 7. Конфигурация 2x2 (RS, D, RS, D), преобразует входной вектор (0, 1, 1, 0) в выходной вектор (1, 0, 1, 0)

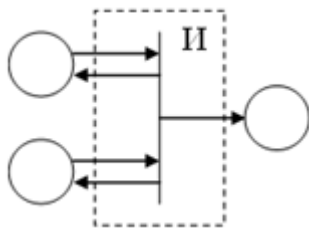


Рис. 8. Представление элемента «И» СП

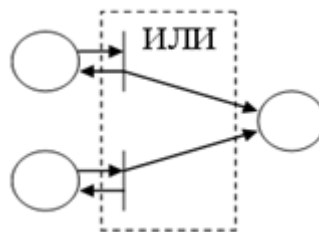


Рис. 9. Представление элемента «ИЛИ» СП

Разработка и использование межкомпонентной шины на элементах «И» и «ИЛИ»

При построении конфигураций с различной структурой, имеющих на входе векторы различной длины, предлагается использовать межкомпонентную шину из элементов «И» и «ИЛИ» описанных с помощью СП.

Элемент «И» моделируется переходом, входы которого связаны с позициями, из которых поступают сигналы, а выход – с позицией, в которую они поступают (рис. 8).

Элемент «ИЛИ» моделируется блоком переходов, входы которых связаны с позициями, из которых поступают сигналы, а выходы – с позицией, в которую они поступают (рис. 9).

Блок работает по следующему правилу: переходы опрашиваются «сверху вниз»; если какой-то переход может сработать, то он запускается, а остальные переходы уже не опрашиваются.

Выходной позиции могут быть сопоставлены один блок «ИЛИ» и несколько блоков «И». такая система может работать по следующему правилу: сначала проверяется блок «ИЛИ», потом проверяются блоки «И». Для ускорения процесса сначала проверяются блоки «И» с меньшим количеством входных позиций. Проверка останавливается, когда найден блок, который можно будет запустить. Формально, для каждой шины задано множество входных позиций $In = \{In_m\}$ и множество выходных позиций $Out = \{Out_m\}$ ($m = 1, 2, \dots, M$). Входные позиции – это выходы предыдущего блока триггеров, а выходные позиции – входы последующего блока триггеров (рис. 10).

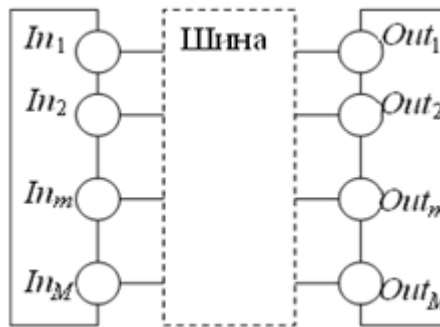


Рис. 10. Межкомпонентная шина

Каждой выходной позиции Out_m сопоставляются (генерируются случайным образом):

- блок «ИЛИ» с указанием множества входных позиций;
- количество блоков «И»;
- множество входных позиций для каждого блока «И».

Шина работает следующим образом: выходные позиции обрабатываются по порядку от Out_1 до Out_M , согласно описанному выше алгоритму.

Вся система триггеров и шин обрабатывается последовательно от входа системы к ее выходу. Сначала первый слой триггеров получает и обрабатывает входные сигналы. Затем по первой шине сигналы передаются на второй слой триггеров. После обработки сигналы по второй шине поступают на третий слой триггеров и т.д. Процесс заканчивается после обработки сигналов последним слоем триггеров. Выходной вектор сравнивается с искомым.

Таким образом, шина полностью характеризуется набором блоков, сопоставленных каждой выходной позиции. Поэтому скрещивание шин – это обмен выходными позициями.

Родители:

X-шина: $xOut_1, \dots, xOut_m, xOut_{m+1}, \dots, xOut_M$

Y-шина: $yOut_1, \dots, yOut_m, yOut_{m+1}, \dots, yOut_M$

Потомки:

X-шина: $xOut_1, \dots, xOut_m, yOut_{m+1}, \dots, yOut_M$

Y-шина: $yOut_1, \dots, yOut_m, xOut_{m+1}, \dots, xOut_M$

Мутация шины – изменение для какой-либо выходной позиции:

- множества входных позиций блока «ИЛИ»;
- количества блоков «И»;
- множества входных позиций для какого-то блока «И».

Вывод

Основным результатом статьи является повышение эффективности процесса формирования конфигурации ВТ как с фиксированной, так и с изменяющейся структурой с заданным поведением на основе элементной базы RS , D и T триггеров и использованием межкомпонентной шины на элементах «И» и «ИЛИ».

Список литературы

1. Трахтенгерц, Э.А. Компьютерная поддержка принятия решений / Э.А. Трахтенгерц. – М. : «Синтег», 1998.
2. Ельчанинов, Д.Б. Применение генетических алгоритмов при проектировании компьютерной техники / Д.Б. Ельчанинов, Д.А. Петросов, Механа Сами // Вестник Херсонского государственного университета. – 2003. – № 2(18). – С. 45–49.
3. Бондаренко, М.Ф. Системная технология моделирования информационных и организационных систем : учеб. пособие / М.Ф. Бондаренко, С.И. Маторин, Д.Б. Ельчанинов. – Херсон : ХНУРЭ, 2005. – 116 с.

4. Бондаренко, М.Ф. Объектная технология моделирования информационных и организационных систем : учеб. пособие / М.Ф. Бондаренко, Е.А. Соловьева, С.И. Маторин, Д.Б. Ельчанинов. – Херсон : ХНУРЭ, 2005. – 160 с.

5. Бондаренко, М.Ф. Системологическая технология моделирования информационных и организационных систем : учеб. пособие / М.Ф. Бондаренко, Е.А. Соловьева, С.И. Маторин, Д.Б. Ельчанинов. – Херсон : ХНУРЭ, 2005. – 136 с.

6. Петросов, Д.А. Адаптация генетических алгоритмов при моделировании вычислительной техники с изменяющейся структурой и набором компонентов на основе сетей Петри / Д.А. Петросов // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В.И. Вернадского. – 2009 № 6(20). С. 151–160.

© Д.А. Петросов, 2009