Александр Григорьевич ИВАШКО —
зав. кафедрой информационных систем
Института математики и компьютерных наук
доктор технических наук, профессор

Инна Ивановна КОЛОМИЕЦ —
ассистент кафедры информационных систем
Института математики и компьютерных наук

Тюменский государственный университет

УДК 004.942

ВОЗМОЖНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ АППАРАТА СЕТЕЙ ПЕТРИ ДЛЯ ВАЛИДАЦИИ АНАЛИЗА БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ

АННОТАЦИЯ. В статье рассмотрена возможность применения аппарата сетей Петри для построения математической модели валидации анализа бизнес-процессов.

In this article the application of the Petri nets for building the mathematical model of the business processes analysis validation is considered.

Задача анализа бизнес-процессов является одной из ключевых в инженерии программного обеспечения. Просчеты, допущенные на стадии проектирования информационных систем, могут привести к краху всего проекта. В силу этого уделяется большое внимание как в исследовательской, так и в учебной литературе.

В работах [1], [6] авторами была показана возможность применения информационной среды для автоматизации анализа бизнес-процессов. Предложена «Виртуальная среда исследования», которая дает возможность выполнять этот процесс в формализованном режиме, что, в свою очередь, позволяет применять этот инструмент для подготовки специалистов в области программного обеспечения. Одной из ключевых функций «Виртуальной среды» исследования бизнес-процессов является валидация выполненного анализа. Под валидацией понимается проверка адекватности модели анализа реальному бизнес-процессу. Основная техника, используемая при этом, заключается в имитации пошагового выполнения построенной модели с анализом полученных результатов.

Данная работа посвящена проверке возможности применения аппарата сетей Петри для построения имитационной модели валидации анализа бизнес-процессов.

Анализ наиболее широко применяемых моделей бизнес-процесса — IDEF0 [7], IDEF3 [8], eEPC (ARIS) [5], Activity Diagram (UML) [4] дает возможность представить теоретико-множественную модель:

$$BP = (N, Ow, Pre, Post, P, F, D, Op, C, A), \qquad (1)$$

где:

$N = \{n_i \,||\, i \models 1\}$ — название бизнес-процесса;

$Ow = \{ow_i \,||\, i \models 1\}$ — владелец;

$Pre = \{pre_i \,||\, i \models 1\}$ — предусловие;

$Post = \{post_i \,||\, i \models 1\}$ — постусловие;

$P = \{ p_i \parallel i \models \overline{0...n} \}$ — исполнитель;

$F = \{ f_i \parallel i \models \overline{0...n} \}$ — поток;

$D = \{ d_i \parallel i \models \overline{0...n} \}$ — узел решения;

$Op = \{ op_i \parallel i \models \overline{0...n} \}$ — логический оператор;

$C = \{ c_i \parallel i \models \overline{0...n} \}$ — узел управления;

$A = \{ a_i \parallel i \models \overline{1...n} \}$ — действие.

В такой интерпретации под потоком понимают множество связей временного предшествования — $CF = \{ cf_i \parallel i \models \overline{0...n} \}$ и объектные потоки — $OF = \{ of_i \parallel i \models \overline{0...n} \}$.

При этом $F = CF \cup OF = \{ f_i : f_i \in CF \text{ или } f_i \in OF \}$.

Одной из основных парадигм моделирования бизнес-процесса является декомпозиция его действий. Модель позволяет реализовать ее следующим образом:

$$A = (N_A , SU, Com, count),$$

$$SU = \begin{cases} SU = \{ su_i \parallel i \models \overline{1...n} \} (A \text{ - примитивный узел }), \\ SU \subset BP (A \text{ - деятельность}). \end{cases} \tag{2}$$

где:

N_A — название действия;

SU — набор структурных единиц;

Com — комментарий;

$count$ — ограничение на количество выполнений действия в цикле.

Исходя из поставленной задачи «валидация анализа бизнес-процесса», модель бизнес-процесса можно существенно упростить, т.к. такие параметры, как название бизнес-процесса, владелец, исполнитель бизнес-процесса и комментарий к действиям являются несущественными.

Определим модель бизнес-процесса в терминах сети Петри [2, 3]:
пусть F— непустое конечное множество элементов бизнес-процесса, называемых *потоками* (включает потоки бизнес-процесса, пред- и постусловия);
A — непустое конечное множество элементов бизнес-процесса, называемых *действиями* (включает действия бизнес-процесса, узлы решения, логические операторы, узлы управления).

Теоретико-графовым представлением бизнес-процесса является двудольный ориентированный мультиграф, структура которого представляет собой совокупность потоков и действий бизнес-процесса. В соответствии с этим граф бизнес-процесса обладает двумя типами узлов. Кружок является потоком бизнес-процесса, а прямоугольник — действием бизнес-процесса. Ориентированные дуги соединяют потоки и действия, при этом некоторые дуги направлены от потоков к действиям (входные дуги), а другие — от действий к потокам (выходные дуги).

Определение: Граф GBP бизнес-процесса есть двудольный ориентированный мультиграф, $GBP=(V, L)$, где $V=(u_1, u_2, ..., u_s)$ — множество вершин, а $L=(l_1, l_2, ..., l_r)$— множество *направленных дуг*, соединяющих потоки и действия бизнес-процесса, $l_i=(\nu_j, \nu_k)$, где $\nu_j, \nu_k \in V$. Множество V может быть разбито на два непересекающихся подмножества F и A, таких, что $V = F \cup A$, $F \cap A = \phi$, и для любой направленной дуги $l_i \in L$, если $l_i=(\nu_j, \nu_k)$, тогда либо $\nu_j \in F$ и $\nu_k \in A$, либо $\nu_j \in A$ и $\nu_k \in F$.

Таким образом, в сетях Петри события моделируются переходами [2, 3], тогда как в бизнес-процессе события моделируются узлами — действиями бизнес-процесса, условия в сетях Петри моделируются позициями [2, 3], а в бизнес-процессе позиции представляются потоками, в соответствии с рис. 1, причем входы действия бизнес-процесса представляют предусловия, выходы действия бизнес-процесса — постусловия соответствующего действия.

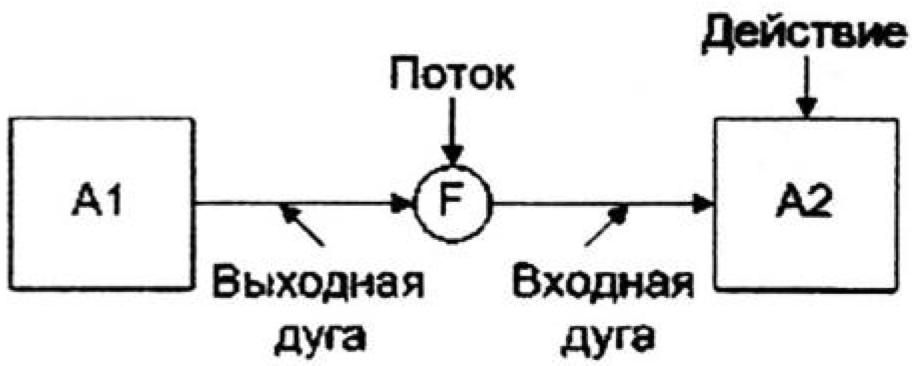

Рис. 1. Графическое представление структуры бизнес-процесса в виде сети Петри

В результате бизнес-процесс представляется как тройка (F, A, L), где $L \subseteq F\times A \cup A\times F$, $F\times A$ — отображение множества потоков в действия бизнес-процесса, $A\times F$ — отображение множества действий бизнес-процесса в потоки.

Выделим входное и выходное множества, для чего разобьем множество дуг L на множество входных дуг $\{(f_i, a_j) \mid (f_i, a_j) \in L\}$ и множество выходных дуг $\{(a_j, f_i) \mid (a_j, f_i) \in L\}$ для всех $f_i \in F$ и $a_j \in A$.

Тогда структура бизнес-процесса определяется ее потоками, действиями, входным и выходным множествами. Входное множество I отображает действие a_j во множество потоков $I(a_j)$, называемых входящими потоками действия бизнес-процесса. Выходное множество O отображает действие a_j во множество потоков $O(a_j)$, называемых выходящими потоками действия бизнес-процесса.

Определение: Сеть бизнес-процесса является четверкой $BP=(F, A, I, O)$. $F=\{f_1, f_2,..., f_n\}$ — конечное множество потоков, $n\geq 0$. $A=\{a_1, a_2,..., a_m\}$ — конечное множество действий, $m\geq 0$. Множество потоков и множество действий бизнес-процесса не пересекаются, $F\cap A=\phi$. $I: A\to F^{\infty}$ является входным множеством, $O: A\to F^{\infty}$ есть выходное множество — отображение из действий во множество потоков бизнес-процесса, где F^{∞}— множество, составленное из элементов множества F, возможно, с многократным их вхождением.

Поскольку I и O являются множествами, то кратность каждого потока есть либо 0, либо 1. Иначе говоря, $(f_i, I(a_j))\leq 1$ и $(f_i, O(a_j))\leq 1$ для всех $f_i\in F$ и $a_j\in A$. Такая сеть бизнес-процесса является ординарной [2, 3].

Определим, что действие a_j является входом потока f_i, если f_i есть выход a_j. Действие a_j есть выход потока f_i, если есть вход a_j, для этого установим расширенное входное множество I и выходное множество O, $I: F\to A^{\infty}$, $O: F\to A^{\infty}$, где A^{∞} — множество, составленное из элементов множества , возможно, с многократным их вхождением, так, что

$$(a_j, I(f_i))=(f_i, O(a_j)),\quad (a_j, O(f_i))=(f_i, I(a_j)).$$

На основе понятия сети бизнес-процесса, которая описывает только статическую топологию моделируемого процесса, были введены динамические сетевые структуры, в которых потокам бизнес-процесса приписываются специальные маркеры, моделирующие выполнение условия, и с сетью бизнес-процесса связывается понятие ее функционирования, изменяющего эти маркеры (условия) в результате так называемых выполнений действий бизнес-процесса.

Маркировка — распределение маркеров по потокам сети бизнес-процесса, обозначается как M. Каждое изменение маркировки называется событием, причем каждое событие связано с определенным действием бизнес-процесса. Считается, что события происходят мгновенно и разновременно при выполнении некоторых условий.

Маркер — это примитивное понятие сети бизнес-процесса. Маркеры присваиваются потокам бизнес-процесса. На графе бизнес-процесса маркеры изображаются точкой в кружке, который представляет поток сети бизнес-процесса, в соответствии с рис. 2. Количество и положение маркеров при выполнении сети бизнес-процесса могут изменяться. Маркеры используются для определения выполнения сети бизнес-процесса.

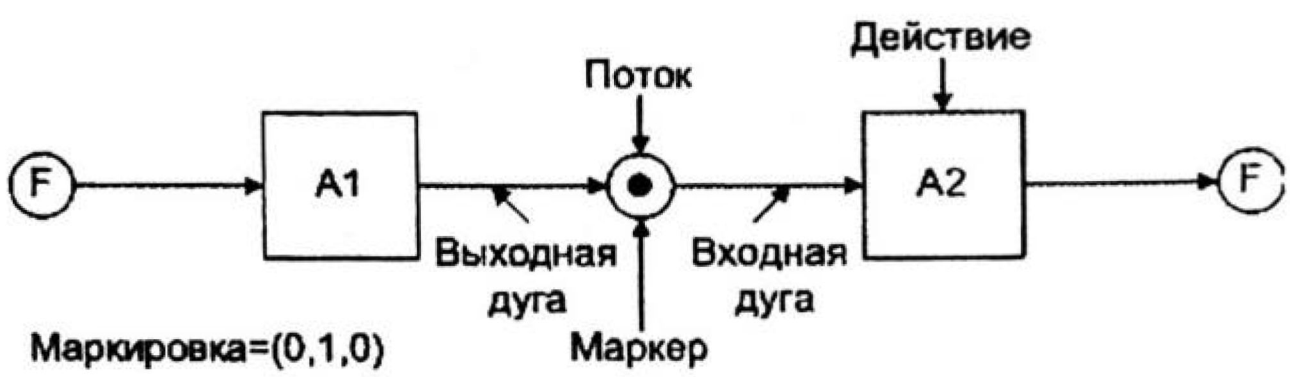

Рис. 2. Графическое представление маркера потока сети бизнес-процесса

Маркировка M сети бизнес-процесса $BP=(F, A, I, O)$ есть функция, отображающая множество потоков F во множество неотрицательных целых чисел N: $M : F \to N$.

Маркировка M может быть также определена как n-вектор $M=(m_1, m_2, \ldots m_n)$, где $n = |F|$ и каждое $m_i \in N$, $i=1, \ldots n$. Вектор M определяет для каждого потока f_i бизнес-процесса количество маркеров этого потока. Количество маркеров потока f_i есть m_i, $i=1, \ldots n$. Связь между определениями маркировки как функции и как вектора очевидным образом устанавливается соотношением $M(f_i)=m_i$.

Маркированная сеть бизнес-процесса может быть записана в виде $BP=(F, A, I, O, M)$.

Выполнением сети бизнес-процесса управляют количество и распределение маркеров в сети. Сеть бизнес-процесса выполняется посредством запусков выполнения действий. Действие запускается удалением маркеров из его входящих потоков и образованием новых маркеров, помещаемых в его выходящие потоки.

Действие бизнес-процесса может выполняться только в том случае, когда оно разрешено. Действие называется разрешенным, если каждый из его входящих потоков имеет число маркеров, по крайней мере, равное числу дуг из потока в действие.

Действие $a_j \in A$ в маркированной сети бизнес-процесса $BP=(F, A, I, O, M)$ с маркировкой M разрешено, если для всех $f_i \in F$ выполняется:

$$M(f_i) \geq (f_i, I(a_j)). \qquad (3)$$

Т.е. каждый входящий поток f_i действия a_j имеет маркировку, не меньшую, чем кратность дуги, соединяющей f_i и a_j. Поскольку сеть бизнес-процесса является ординарной, условие срабатывания выполнения действия означает, что любой входящий поток этого действия содержит хотя бы один маркер, т.е. имеет ненулевую маркировку.

Действие a_j в маркированной сети бизнес-процесса с маркировкой M может быть выполнено всякий раз, когда оно разрешено. В результате выполнения разрешенного действия a_j образуется новая маркировка M', определяемая следующим соотношением:

$$M'(f_i) = M(f_i) - (f_i, I(a_j)) + (f_i, O(a_j)). \tag{4}$$

Изменение в состоянии бизнес-процесса, вызванное выполнением действия, определяется функцией изменения δ — функция следующего состояния. Когда эта функция применяется к маркировке (состоянию) и действию бизнес-процесса, она образует новую маркировку M (состояние), которая получается при запуске действия a_j в маркировке M. Т.к. a_j может быть запущено только в том случае, когда оно разрешено, то функция записывается:

$$\delta(M, a_j) = \begin{cases} \text{не определена, если } a_j \text{ не разрешено в маркировке } M, \\ \delta(M, a_j) = M', \text{если } a_j \text{ разрешено в маркировке } M. \end{cases} \tag{5}$$

где M' есть маркировка, полученная в результате удаления маркеров из входящих потоков действия a_j и добавления маркеров в выходящие потоки a_j.

Функция следующего состояния $\delta : N^n \times A \to N^n$ (N^n — пространство состояний сети бизнес-процесса, обладающей n потоками), есть множество всех маркировок, для бизнес-процесса $BP=(F, A, I, O, M)$ с маркировкой M и действием $a_j \in A$ определена тогда и только тогда, когда выполняется неравенство (3) для всех $f_i \in F$. Если $\delta(M, a_j)$ определена, то $\delta(M, a_j)=M'$, $M'(f_i)$ где вычисляется по формуле (4) для всех $f_i \in F$.

При выполнении сети бизнес-процесса получаются две последовательности: последовательность маркировок (M^0, M^1, M^2,...) и последовательность действий, которые были запущены (a_{j0}, a_{j1}, a_{j2},...). Эти две последовательности связаны следующим соотношением: $\delta(M^k, a_{jk}) = M^{k+1}$ для $k=0, ...n$. Таким образом, обе эти последовательности представляют описание выполнения сети бизнес-процесса.

Пусть некоторое действие бизнес-процесса в маркировке M разрешено и, следовательно, может быть выполнено. Результат запуска действия в маркировке M есть новая маркировка M'. Тогда M' является непосредственно достижимой из маркировки M.

Для сети бизнес-процесса $BP=(F, A, I, O, M)$ с маркировкой M маркировка M' называется непосредственно достижимой из M, если существует действие $a_j \in A$, такое, что $\delta(M, a_j)=M'$.

Можно распространить это понятие на определение множества достижимых маркировок данной маркированной сети бизнес-процесса. Если M' непосредственно достижима из M, а M'' — из M', тогда M'' достижима из M. Определим множество достижимости $R(BP, M)$ сети бизнес-процесса с маркировкой как множество всех маркировок, достижимых из M. Маркировка M' принадлежит $R(BP, M)$, если существует какая-либо последовательность выполнения действий бизнес-процесса, изменяющих M на M'.

Тогда множество достижимости $R(BP, M)$ сети бизнес-процесса $BP=(F, A, I, O, M)$ с маркировкой М есть наименьшее множество маркировок, определенных следующим образом:

1. $M \in R(BP, M)$,

2. Если $M' \in R(BP, M)$ и $M''=\delta(M', a_j)$ для некоторого $a_j \in A$, то $M'' \in R(BP, M)$.

Удобно распространить функцию следующего состояния на отображение маркировки и последовательности действий бизнес-процесса в новую маркировку. Для последовательности действий бизнес-процесса $(a_{j1}, a_{j2}, \dots a_{jk})$ и маркировки M, маркировка $M'=\delta(M, a_{j1}, a_{j2}, \dots a_{jk})$ есть результат запусков действий: сначала — a_{j1}, затем — a_{j2} и т. д. до a_{jk}. (такая операция возможна только в том случае, если каждое действие к моменту его выполнения разрешено).

Исходя из поставленной задачи, необходимо указать и формально определить те свойства сетей Петри [2, 3], которые целесообразно анализировать. Анализ работы сети Петри и, в частности, свойств сети позволит произвести проверку адекватности разработанного бизнес-процесса, сделать некоторые выводы о функционировании моделируемого сетью бизнес-процесса, то есть выявить, какие действия бизнес-процесса невыполнимы, какие цепочки действий зациклены, какое выполнение последовательности действий может привести бизнес-процесс к тупиковому состоянию и т.д.

Основной задачей при валидации анализа бизнес-процессов является задача достижимости, которая позволяет ответить на вопрос: $M' \in R(BP, M)$ для данной сети бизнес-процесса BP с маркировкой М и маркировкой M'?

Для модели анализа это означает возможность перехода из предусловия в постусловие бизнес-процесса за конечное число действий. Действие может быть выполнено, если выполнены все условия реализации соответствующего события для этого действия. В результате работы модели анализа происходит передача управления от одного действия к другому и работа модели завершается, если ни одно из действий не может быть выполнено.

В работах [2, 3] показана эквивалентность задач достижимости и активности. В модели анализа действие называется активным, если оно не заблокировано для выполнения. Это не означает, что действие разрешено для выполнения, скорее оно может быть разрешенным для выполнения. Действие a_j сети бизнес-процесса BP называется потенциально выполнимым в маркировке M, если существует маркировка $M' \in R(BP, M)$, в которой a_j разрешено. Действие бизнес-процесса активно в маркировке M, если оно потенциально выполнимо во всякой маркировке из $R(BP, M)$. Следовательно, если действие активно, то всегда возможно перевести сеть бизнес-процесса из ее текущей маркировки в маркировку, в которой запуск действия бизнес-процесса станет разрешенным. Под *тупиковым действием* бизнес-процесса будем понимать действие, которое не может быть запущено для выполнения.

Модель может выявить следующие варианты выполнения действий.

1. Действие a_j никогда не может быть запущено для выполнения, ни при каких условиях запуска — мертвое действие.

2. Действие a_j является потенциально выполнимым, т. е. если существует такая $M' \in R(BP, M)$, что a_j разрешено в M'. Существуют условия запуска действий, при котором действие может быть выполнено/не выполнено — активное действие / тупик;

3. Для всякого целого n существует последовательность запусков действий, в которой действие a_j присутствует по крайней мере n раз, т.е. действие может быть выполнено произвольное число раз, но это число зависит от числа запусков другого действия;

4. Существует бесконечная последовательность запусков, в которой действие a_i присутствует неограниченно часто. Действие можно запускать бесконечное число раз;

5. Для всякой $M' \in R(BP, M)$ существует такая последовательность запусков σ, что действие a_i разрешено в $\delta(M', \sigma)$. Действие может выполниться, если до этого выполнится определенная последовательность действий.

Анализ свойства активности действия модели может быть основан не только на условиях передачи управления от одного действия к другому, но и на последовательностях запусков действий. В более общем случае определяется, возможна ли заданная последовательность выполнения действий или возможна ли какая-либо последовательность из множества последовательностей выполнений.

Сеть бизнес-процесса активна, если активно (выполнимо) всякое ее действие. Действие бизнес-процесса a_i активно в маркировке M, если для всякой маркировки $M' \in R(BP, M)$ существует последовательность σ, такая, что a_i разрешено в $\delta(M', \sigma)$. Действие a_i является мертвым в маркировке M, если не существует достижимой маркировки, в которой бы оно могло быть запущено на выполнение.

Свойство сети Петри — ограниченность — дает возможность выявить в модели анализа бизнес-процесса цепочки действий, образующие цикл. Последовательность действий модели в цикле, повторяющаяся конечное число раз, имеет ограничение на количество выполнений действия. Ограниченность определяется количеством маркеров потока f_i сети бизнес-процесса. Поток $f_i \in F$ сети бизнес-процесса $BP=(F, A, I, O, M)$ с начальной маркировкой M является k-ограниченным, если $M'(f_i) \leq k$ для всех $M' \in R(BP, M)$.

Выводы.

1. Построена теоретико-множественная модель анализа бизнес-процесса.
2. Разработана математическая модель валидации анализа бизнес-процессов на основе аппарата сетей Петри, которая дает возможность выявить такие действия (или группу действий), которые не могут быть выполнены ни при каких условиях запуска, приводят к возникновению тупиков бизнес-процесса и к его зацикливанию.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРА

1. Ивашко А.Г., Хамидулин Р.Н., Коломиец И.И. // Проектирование программного комплекса поддержки анализа бизнес-процессов в рамках Rational Unified Process: Сб. науч. ст. «Модернизация образования в условиях глобализации. 14-15 сентября 2005 года. Тюмень: Изд-во ТюмГУ, 2005. С. 41-43.

2. Питерсон Дж. Теория сетей Петри и моделирование систем: Пер. с англ. М.: Мир, 1984. 264 с.: ил.

3. Котов В.Е. Сети Петри. М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. литературы. 1984. 160 с.

4. Буч Г., Якобсон А., Рамбо Дж. UML. Классика CS. 2-е изд. / Пер. с англ. Под общ. ред. проф. С. Орлова. СПб.: Питер, 2006. 736 с.: ил.

5. Войнов И.В., Пудовкина С.Г., Телегин А.И. Моделирование экономических систем и процессов. Опыт построения ARIS-моделей: Монография. Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2002. 392 с.

6. Коломиец И.И., Ивашко А.Г., Григорьев М.В., Хамидулин Р.Н. Свидетельство об официальной регистрации для ЭВМ №2006613029. Специализированный учебный программный комплекс «Виртуальная среда исследования бизнес-процессов». 30.08.2006.

7. ГОСТ Р 50.1.028-2001 Информационные технологии поддержки жизненного цикла продукции. Методология функционального моделирования. М.: Госстандарт России.

8. IDEF3 method report, KBSI Inc. URL: http://idefinfo.ru/content/view/29/51.