

**С. Ф. ЧАЛЫЙ**, д-р техн. наук, проф. ХНУРЭ, Харьков;  
**А. А. КРИВЧИКОВА**, асп. ХНУРЭ, Харьков

## **ПОДХОД К ВЕРИФИКАЦИИ ПРАВИЛ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЛИНГВИСТИЧЕСКИХ ПЕРЕМЕННЫХ В ЗАДАЧАХ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО АНАЛИЗА ПРОЦЕССОВ**

Запропоновано підхід до верифікації правил в задачах інтелектуального аналізу процесів, спрямований на виявлення протиріччя у обмеженнях на процес в умовах використання скритих (неявних) знань.

**Ключові слова:** бізнес процеси зі змінною структурою, бізнес-правила, бізнес-процедури, інтелектуальний аналіз процесів.

Предложен подход к верификации правил в задачах интеллектуального анализа процессов, направленный на выявление противоречий в ограничениях на процесс в условиях использования скрытых (неявных) знаний.

**Ключевые слова:** бизнес-процессы с изменяемой структурой, бизнес-правила, бизнес-процедуры, интеллектуальный анализ процессов.

The approach to the rules verification in mining tasks processes aimed at identifying inconsistencies in the constraints on the process in terms of hidden (implicit) knowledge.

**Keywords:** business processes with changeable structure, business rules, business procedures, process mining.

**Введение.** Актуальность разработки современных подходов к верификации процессов обработки ресурсов связана с быстрым развитием научного направления интеллектуального анализа процессов (Process Mining). Данное направление ориентировано на построение систем, моделирующих интеллектуальную деятельность человека по нахождению новых и доступных для интерпретации знаний, необходимых для выявления взаимосвязей между элементами процессов обработки ресурсов (в частности, бизнес-процессов (БП)), ограничений и условий их выполнения, а также восстановления структуры процесса [1, 2].

В качестве исходной информации для Process Mining используются зафиксированные во времени данные о результатах функционирования существующих процессов, а также документальные требования к таким БП.

Все больше и больше процессов оставляют свой «след» в виде журнала событий или логов, что расширяет возможности применения методов Process Mining. Будущие знание-ориентированные системы интеллектуального анализа процессов должны будут совместно с системами управления процессами обработки ресурсов обеспечить поддержку всего их жизненного цикла. Полученные методами Process Mining знания о процессах в перспективе позволят выполнить верификацию таких процессов в целом.

Следует отметить, что верификация знаний в условиях неопределенности является особенно важной для гибких бизнес-процессов с изменяемой структурой, т. к. для таких процессов характерны динамические изменения во время выполнения.

**Анализ исследований и публикаций.** Вопросам формальной верификации посвящено значительное количество работ. В частности, исследования, проведенные в [3, 4] позволяют утверждать, что верификация моделей правил ориентирована на оценку различных числовых параметров, входящих в состав рассматриваемой модели, которые характеризуют динамику выполнения реализаций процесса.

Одним из основных методов верификации является метод Model checking, основанный на проверке того, что на данной формальной модели заданная логическая формула выполняется (т.е. принимает истинное значение). Впервые этот метод был разработан для моделей систем переходов, так называемых «темпоральных» или CTL\* логик [3].

В [2] был разработан метод оценивания непротиворечивости правил для процесса с изменяемой структурой на основе проверки соответствия входных и выходных наборов данных. Совокупность таких правил формирует систему ограничений на процесс. Частичное использование неформализованных знаний при реализации процесса влияет на систему ограничений, приводя ее к нечеткости и последующей необходимости верификации совокупности нечетких правил. Это и определяет актуальность темы данной работы.

**Постановка задачи.** Формально задача верификации моделей процесса методами Model checking формулируется следующим образом. Дана модель  $M = P_1 \parallel \dots \parallel P_n$ , где  $P_1 \parallel \dots \parallel P_n$  – это помеченные системы переходов процесса из одного состояния в другое. Задана логическая формула  $\varphi$  относительно модели  $M$ . Необходимо проверить выполнимость формулы  $\varphi$  на модели  $M$  (т.е.  $M \models \varphi$ ).

В соответствии с изложенным, задача верификации правил бизнес-процесса с использованием лингвистических переменных процесса формулируется следующим образом.

Исходными данными задачи являются:

- входные данные пары правил  $Vpr_1$  и  $Vpr_2$  – это два пересекающихся множества  $A$  и  $B$ , которые имеют много пересекающихся вершин;
- модель бизнес-правил верхнего уровня знание-ориентированной модели [5], которая отражает взаимодействие правил и объектов бизнес-процесса с помощью логической сети.
- в результате применения пары правил имеем единственный набор выходных данных, множество  $C$ .

Требуется выполнить проверку того, похожи ли наборы входных данных или нет для заданного набора выходных и непротиворечивых действий,

связанных с правилами. Если множества не похожи, тогда правила, которые задают выполнение процесса верные или непротиворечивы. Если множества похожи, то необходимо определить, степень схожести и доказать или опровергнуть противоречивость правил.

В практическом аспекте метод должен обеспечивать возможности для построения такого набора бизнес-правил, которые, во-первых, позволяли бы достичь конечного состояния бизнес-процесса, а во-вторых обеспечивали бы возможность проверки достижимости конечного состояния БП.

**Верификация бизнес-правил с использованием лингвистических переменных.** При построении предлагаемого подхода необходимо применять этапы обработки информации с использованием нечеткой логики, которые были обоснованы в работе [6]. К ним относится этап фаззификации – преобразование численного значения в символьное нечеткое значение, и этап дефаззификации (необязательный) – преобразование нечеткого символьного значения в число.

На этапе фаззификации опишем с помощью лингвистических переменных бизнес-правила  $Vpr_1$  и  $Vpr_2$ . Лингвистические переменные – это переменные, которые нельзя описать с помощью математического языка, т.е. им сложно придать точную (объективную) количественную оценку. Согласно Л. Заде, лингвистической переменной называется такая переменная, значениями которой являются слова или предложения естественного языка [6, 7].

Формируем два нечетких бизнес-правила  $Vpr_1^*$  и  $Vpr_2^*$  (см. табл. 1), которые имеют следующую фреймовую структуру.

Таблица 1 – Фреймовое представление бизнес-правил

Имя бизнес-правила	$Vpr_1^*$	$Vpr_2^*$
Нечеткий набор входных данных	$A = \{a_1, a_2, \dots, a_m\}$	$B = \{b_1, b_2, \dots, b_n\}$
Хранимые процедуры	$Br_j(x), j = \overline{1, J}$	$Br_i(x), i = \overline{1, I}$
Типы действий	$TD_1^*$	$TD_2^*$
Выходные данные	$C = \{c_1, c_2, \dots, c_n\}$	$C = \{c_1, c_2, \dots, c_n\}$

Кроме этого, необходимо построить функции принадлежности  $\mu_{Vpr_1^*}(A)$  и  $\mu_{Vpr_2^*}(B)$  которые задают степень или уверенность, с которой элементы множеств  $A$  и  $B$  принадлежат заданному нечеткому множеству  $Vpr_1^*$  и  $Vpr_2^*$ . Функция принадлежности должна ставить в соответствие множеству

$A$  и множеству  $B$  отрезок  $[0,1]$  и выбирается субъективно. Для нашей задачи будем использовать трапецевидные функции принадлежности. Зададим функции принадлежности для нечеткого множества в формальном виде

$$\mu_{Bpr_1^*}(A) = \left(1 + |a_j - 1|^m\right)^{-1} \quad (1)$$

$$\mu_{Bpr_2^*}(B) = \left(1 + |b_i - 1|^m\right)^{-1} \quad (2)$$

Имеем лингвистические переменные  $\langle A^*, U_1, Bpr_1^* \rangle$  и  $\langle B^*, U_2, Bpr_2^* \rangle$ , где  $U_1$  и  $U_2$  – область определения множеств  $A$  и  $B$  соответственно.

Нечеткое множество называется нормальным, если для его функций принадлежности  $\mu_{Bpr_1^*}(A)$  и  $\mu_{Bpr_2^*}(B)$  справедливо утверждение:  
 $\exists a_j \in A \wedge \exists b_j \in B$ : и  $\mu_{Bpr_1^*}(A) = 1$ ,  $\mu_{Bpr_2^*}(B) = 1$ ;  $\mu_{Bpr_1^*}(A) \in [0;1]$ ;  
 $\mu_{Bpr_2^*}(B) \in [0;1]$ .

При построении функций использовались прямые методы с учетом специфики предметной области. Такие методы характеризуются тем, что эксперт непосредственно задает правила определения значений функции принадлежности  $\mu_{Bpr_1^*}(A)$  и  $\mu_{Bpr_2^*}(B)$ , характеризующей элементы множеств  $A$  и  $B$ . К прямым методам относится непосредственное задание формулой функции принадлежности. Недостатком этой группы методов является большая доля субъективизма.

На следующем этапе нечеткого вывода с помощью построенных функций принадлежности определяем много или мало пересекающихся вершин входных данных, похожи они или нет.

Много пересекающихся входных вершин, если  $A \vee B$ ,  
 $\max\left(\mu_{Bpr_1^*}(A), \mu_{Bpr_2^*}(B)\right)$ ;

Мало пересекающихся входных вершин, если  $A \wedge B$ ,  
 $\min\left(\mu_{Bpr_1^*}(A), \mu_{Bpr_2^*}(B)\right)$ ;

Похожи множества  $A$  и  $B$ , если  $\mu_{Bpr_1^*}(A) \approx \mu_{Bpr_2^*}(B)$ ;  $A$  и  $B$  непохожи, если  $\mu_{Bpr_1^*}(A) \neq \mu_{Bpr_2^*}(B)$ .

В табл. 2 сформировано множество объектов основе фреймового представления в базе знаний.

Таблица 2 – Фреймовое представление объектов

Объект $Bg$	
Имя объекта	$Bg_i, i = \overline{1, I}$
Атрибуты объекта	$bg_k = \{bg_k^1, bg_k^2, \dots, bg_k^M\}, k \in [1, K]$
Операции	$O_j(y), j = \overline{1, J}$
Переменные	$z_i, z = \overline{1, Z}$

На основании вышесказанного, осуществим проверку противоречивости типов действий с объектами. Определим множество типов действий.

Введем два непересекающихся множества действий: множество  $K$  – множество заведомо противоречивых типов действий и множество  $\Phi$  – множество непротиворечивых типов действий, а  $TD = K \cup \Phi$ . Если  $\forall O_j \in K, j = \overline{1, J}$ , тогда действия с набором объектов  $B_j$  являются противоречивыми, а если  $\forall O_j \notin K, j = \overline{1, J} \Rightarrow O_j \in \Phi$ , тогда действия с набором объектов  $B_j$  являются непротиворечивыми. Необходимо проверить, противоречивы ли типы действий, при условии, что объект относится к одной группе правил. Если противоречивы, то необходимо оценить количество пересекающихся вершин входных данных.

Шаг 1. Исходя из модели бизнес-правил, вводим нечеткое множество типов действий  $TD_1^* = K_1^* \cup \Phi_1^*$  и  $TD_2^* = K_2^* \cup \Phi_2^*$  для первого и второго типов правил соответственно, а также противоречивые действия  $\forall O_j \in K_1^*, j = \overline{1, J}, \forall O_i \in K_2^*, i = \overline{1, I}$  для каждого из бизнес-правил. Обозначим объект  $Bg$ , который относится к типу правил  $Bpr_1^*$ .

Шаг 2. Построение функции принадлежности для множеств  $K_1^*$  и для  $K_2^*$ , а именно  $\mu_{K_1^*}(Bg)$  и  $\mu_{K_2^*}(Bg)$ . Построение таких функций проводится исходя из рассуждений, которые приведены ранее

$$\mu_{K_1^*}(Bg) = (1 + |O_j - 1|)^{-1}, \quad (3)$$

$$\mu_{K_2^*}(Bg) = (1 + |O_i - 1|)^{-1}. \quad (4)$$

Шаг 3. Сделать вывод о том, насколько велико противоречие, можно исходя из следующих соотношений:

Противоречие слабое, если  $\min(\mu_{K_1^*}(Bg), \mu_{K_2^*}(Bg)) = \mu_{K_1^* \cap K_2^*}$

Противоречие сильное, если  $\max(\mu_{K_1^*}(Bg), \mu_{K_2^*}(Bg)) = \mu_{K_1^* \cap K_2^*}$ .

Очень существенным является определение того факта, являются ли «важными» входные данные  $A$  и  $B$  для выполнения (т.е. для конечного результата) бизнес – правил  $Bpr_1^*$  и  $Bpr_2^*$ . Для определения этого предположения вводим нечеткие множества  $A^* = \{a_1^*, a_2^*, \dots, a_m^*\}$  и  $B^* = \{b_1^*, b_2^*, \dots, b_n^*\}$  и, соответственно, функции принадлежности

$$\mu_{A^*}(C) = (1 + |c_j - 1|)^{-1} \quad (5)$$

и

$$\mu_{B^*}(C) = (1 - |c_j - 1|)^{-1}. \quad (6)$$

Далее проводим сравнение функций принадлежности, на основе ранее приведенных рассуждений.

**Алгоритм проверки непротиворечивости бизнес-правил.** Разработаем алгоритм проверки непротиворечивости бизнес-правил, который основан на идеях работы [6]. Исходные данные для алгоритма:

- множество бизнес-правил  $Bpr$  и множество объектов  $Bg$  ;
- пространство  $T$ , на котором определены бизнес-правила и объекты;
- заданные ограничения в виде функции принадлежности  $g : Bpr_1 \times Bpr_2 \rightarrow \{0,1\}$
- множество дужек  $(T, Bpr, Bg)$ .

Необходимо проверить противоречивость входных данных бизнес-правил и атрибутов объектов.

Предлагаемый алгоритм основывается на результатах работы [6] и называется алгоритмом вычеркивания дужек третьего порядка и состоит в следующем.

1. Исходные данные алгоритма составляет четверка  $\langle T, Bpr, Bg, g \rangle$  с целочисленной функцией  $g$ .

2. Выбрать число  $\varepsilon < \frac{1}{2|Bg|}$ ; для каждого  $t \in T$  определить множество

$K(t) = K$ ; выполнить эквивалентное преобразование функции  $g$  в

$\varepsilon$  - согласованную; найти максимальное число  $c$ , не превосходящее

$$\sum_{t' \in Bg} \max_{k \in K, k' \in K} g((t, k), (t', k')).$$

3. Найти бизнес-правило  $Bpr_i \in T$ , для которого  $|K(Bpr_i)| > 1$ ; если такого объекта нет, то перейти на п.5.

4. Для каждой метки  $k^* \in K(Bpr_i)$

{ выполнить над функцией  $g$  фиксирование вершины  $(k^*, Bpr_i)$ , результат которого запомнить как  $g'$ ;

преобразовать функцию  $g'$  в эквивалентную ей  $\varepsilon$ -согласованную функцию  $g''$ ;

если  $\sum_{t' \in Bg} \max_{k \in K, k' \in K} g''((Bpr_i, k), (Bpr_j, k')) > c$ , то выполнить

{  $K(Bpr_i) = \{k^*\}$ ;

$g = g''$ ;

перейти на п.3;

} }

5. Закончить работу алгоритма. Работа алгоритма заканчивается, когда будут вычеркнуты все дужки или какая-либо из дужек останется не вычеркнутой.

Таким образом, алгоритм проверяет противоречивы или нет бизнес-правила и атрибуты объекта. Если между бизнес-правилами и атрибутами объекта не осталось не вычеркнутых дужек, тогда они противоречивы, а если после окончания работы алгоритма все дужки оказались вычеркнутыми, то непротиворечивы.

**Сравнительная оценка подходов к верификации с использованием классической и нечеткой логики.** Особенности применения аппаратов четкой и нечеткой логики к построению методов верификации бизнес-правил заключается в следующем:

- при верификации правил, точные рассуждения рассматриваются как частный случай нечетких рассуждений;
- в соответствии с предлагаемым в работе подходом каждое правило интерпретируется как набор гибких или нечетких ограничений на наборе нечетких переменных;
- логический вывод рассматривается как процесс распространения нечетких ограничений;
- обобщение четких правил-ограничений, представленных в [2] может требовать из фазификации.

Нечеткая логика использует некоторые численные параметры для того, чтобы оценивать ошибку и скорость изменения ошибки, но точные значения этих величин обычно не требуется.

Основное отличие подходов к верификации с использованием четкой и нечеткой логики видно еще при постановке задачи. При построении метода верификации правил бизнес-процесса с использованием входных параметров и типов действий [2] исходными данными является определенный набор бизнес-правил у которых имеются пересекающиеся множества входных данных.

**Выводы.** В статье предложен подход к верификации бизнес-правил с использованием лингвистических переменных в задачах интеллектуального анализа процессов. Предлагаемый подход учитывает влияние неформализованных (или слабоформализованных) факторов, вызывающих отклонение в ходе выполнения процесса.

Дальнейшее развитие данного подхода связано с верификацией отдельных фрагментов процесса и, в дальнейшем, всего процесса в целом. Разработанный подход позволяет выявить ошибки при реорганизации бизнес-процесса во время его выполнения. Достоинством подхода является то, что он учитывает нечеткости и неопределенности в исходных данных и тем самым расширяет сферу применения разработанных методов верификации.

В рамках предлагаемого подхода разработан алгоритм проверки непротиворечивости правил, который создает возможности для реализации предлагаемого подхода к верификации в программных продуктах.

**Список литературы:** 1. *Van der Aalst, Wil M. P.* Trends in Business Process Analysis: From Verification to Process Mining // Proceedings of the 9th International Conference on Enterprise Information Systems «ICEIS 2007». – Portugal: Institute for Systems and Technologies of Information, Control and Communication, 2007. – P. 12–22. 2. *Чалый С. Ф.* Оценка непротиворечивости правил бизнес-процесса на основе проверки наборов входных и выходных данных / *С. Ф. Чалый, А. А. Кривчикова* // Бионика Интеллекта. – 2011. – №1. – С. 79–83. 3. *Wil M. P.* Process Mining Discovery, Conformance and Enhancement of Business Processes / *Wil M. P., Van der Aalst* – Springer, New York – 2011. – 352 p. 4. *Boudewijn van Dongen* Process Mining and Verification / *Boudewijn van Dongen* – Stellingen, Eindhoven, 2007. – 263 p. 5. *Левыкин В. М.* Логическая модель представления бизнес-процесса для решения задач интеллектуального анализа процессов / *В. М. Левыкин, С. Ф. Чалый, А. А. Кривчикова [и др.]* // Бионика Интеллекта. – 2010. – №1. – С. 24–29. 6. *Шлезингер М. И.* Оптимизационные задачи разметки и их эквивалентные преобразования / *М. И. Шлезингер, К. В. Антонюк, Е. В. Водолазский* // Управляющие системы и машины. – 2011, № 2. – с. 55-70.

*Поступила в редколлегию 06.11.2012.*