

УДК 004.02

СПОСОБЫ АНАЛИЗА НЕЧЕТКИХ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ РИСКАМИ

¹Букачев Д.С., ²Сеньков А.В., ²Сорокин Е.В., ²Марголин М.С.

¹ФГБОУ ВО «Смоленский государственный университет», Смоленск, e-mail: dsbuka@yandex.ru;

²Филиал ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет Московский энергетический институт», Смоленск, e-mail: a.v.senkov@mail.ru, scorppwork@mail.ru, mikemarg@mail.ru

В статье предложены способы анализа, оценивания результатов выполнения нечетких бизнес-процессов, включая оценивание рисков на основе формализации бизнес-процессов в нечеткие высокоуровневые сети Петри. В рамках рассмотренной задачи осуществляется последовательный переход от бизнес-процесса, представленного в нотации ARIS eEPC, к нечеткой высокоуровневой сети Петри, её обучение, поиск маршрутов обеспечивающих достижение искомых показателей и их дальнейший анализ. На основании полученных маршрутов, осуществляется моделирование последовательного срабатывания переходов высокоуровневой нечеткой сети Петри, что обеспечивает получение значений как рисков, так и других искомых характеристик. Полученные значения могут агрегироваться для получения обобщенной оценки либо рассматриваться отдельно для каждого из рассматриваемых путей. Предложенные способы обеспечивают лицо, принимающее решение, необходимой информацией для совершения управляющих воздействий в ходе выполнения бизнес-процесса, обеспечивающих снижение рисков бизнес-процессов.

Ключевые слова: бизнес-процесс, нечеткая высокоуровневая сеть Петри, задача покрываемости маркировки

METHODS FOR THE ANALYSIS OF FUZZY BUSINESS PROCESSES FOR A RISK MANAGEMENT

¹Bukachev D.S., ²Senkov A.V., ²Sorokin E.V., ²Margolin M.S.

¹Federal State Educational Institution of Higher Education Smolensk State University, Smolensk, e-mail: dsbuka@yandex.ru;

²Smolensk branch of Federal Autonomous Educational Institution of Higher Education Moscow Power Engineering Institute (National Research University), Smolensk, e-mail: a.v.senkov@mail.ru, scorppwork@mail.ru, mikemarg@mail.ru

In article methods of the analysis, estimation of results of accomplishment of fuzzy business processes, including estimation of risks based on formalization of business processes in high-level fuzzy Petri nets are offered. Within the considered task consecutive transition from the business process provided to notations of ARIS eEPC to high-level fuzzy Petri nets, its training, searching of the routes providing achievement of required indicators and their further analysis is performed. Based on these routes is carried out modeling of serial triggering high-level transitions fuzzy Petri network that provides the values of both the risks and other desired characteristics. These values can be aggregated to produce a generalized assessment or be considered separately for each of the routes considered. The offered methods provide the person making the decision, necessary information for making of the corrective actions during performance business process providing decrease in risks of business processes.

Keywords: business process, high-level fuzzy Petri net, the covering problem of labeling

В настоящее время большинство крупных предприятий, таких как ПАО НК «Роснефть», ПАО «Газпром», ПАО «ИНТЕР ПАО ЕЭС» и др., имеют значительные наработки в формализации и стандартизации бизнес-процессов на базе методологии ARIS [7].

В ряде публикаций, например в [3, 5, 8], предлагается проводить анализ бизнес-процессов, представленных в нотации ARIS eEPC, с использованием аппарата сетей Петри.

Стоит подчеркнуть, что в указанных публикациях не рассмотрено решение существенных для анализа бизнес-процессов и оценки рисков в них классических задач для сетей Петри, таких как задача достижимости маркировки и задача покрываемости маркировки.

В настоящей статье для анализа нечетких бизнес-процессов и оценки рисков предлагаются способы, основанные на интерпретации нечетких бизнес-процессов с помощью аппарата высокоуровневых нечетких сетей Петри [5], решении задачи покрываемости маркировки с построением совокупности маршрутов и расчетом искомых характеристик исследуемого состояния сети с использованием нечеткой продукционной модели (на примере модели Сугэно 0-го порядка).

Интерпретация бизнес-процесса, представленного в нотации ARIS eEPC, в виде сети Петри

Основными элементами бизнес-процессов [5] являются:

• $F = \{f_1, \dots, f_h\}$ – множество функций ARIS eEPC, где h – количество функций в бизнес-процессе;

• $E = \{e_1 \dots e_r\}$ – множество событий ARIS eEPC, где r – количество событий в бизнес-процессе;

• $P = \{p_1 \dots p_c\}$ – множество организационных единиц ARIS eEPC, где c – количество организационных единиц в бизнес-процессе;

• $D = \{d_1 \dots d_v\}$ – множество документов ARIS eEPC, где v – количество документов в бизнес-процессе;

• $S = \{s_1 \dots s_z\}$ – множество прикладных систем ARIS eEPC, где z – количество прикладных систем в бизнес-процессе;

• $K = \{k_1 \dots k_y\}$ – множество кластеров информации ARIS eEPC, где y – количество кластеров информации в бизнес-процессе.

Совместно множества P, D, S, K обозначим в виде множества R – ресурсов бизнес-процесса. Таким образом, модель бизнес-процесса, представленного в нотации ARIS eEPC, является 3-дольным графом. Для установления связей между элементами, вводятся следующие матрицы переходов [7]:

• EF – матрица размерности $r \times h$, отражающая связи между событиями и вызываемыми ими функциями;

• FE – матрица размерности $h \times r$, отражающая связи между функциями и порождаемыми ими событиями;

• RF – матрица размерности $(c + v + z + y) \times h$, отражающая связи ресурсов с функцией, в которую они передаются;

• FR – матрица размерности $h \times (c + v + z + y)$, отражающая связи функции с порождаемыми ей ресурсами.

Таким образом, бизнес-процесс может быть задан кортежем:

$$BP = \langle F, E, P, D, S, K, EF, FE, RF, FR \rangle.$$

Для моделирования бизнес-процессов в [10] предложено использовать формализм нечетких высокоуровневых сетей Петри (HLFPN) [9]. Между формальным описанием бизнес-процесса в нотации ARIS eEPC и HLFPN устанавливается следующее соответствие:

• множество функций F соответствует множеству переходов T HLFPN – $F \leftrightarrow T$;

• множество атрибутов событий и ресурсов ARIS eEPC E, P, D, S, K ставится в соответствие множеству позиций P HLFPN – $E \cup P \cup D \cup S \cup K \leftrightarrow P$;

• множества переходов ARIS eEPC EF, FE, RF, FR ставятся в соответствие с набором направленных дуг F HLFPN – $EF \cup FE \cup RF \cup FR \leftrightarrow F$.

Перед моделированием осуществляется наполнение HLFPN знаниями.

Шаг 1. Проводится извлечение информации об обстоятельствах протекания бизнес-процессов (атрибутах ресурсов бизнес-процессов) и их результатах (атрибутах выходных ресурсов каждой функции) из экспертов и/или баз данных. Эта выборка станет обучающей выборкой для каскада продукционных моделей, представленных HLFPN.

Шаг 2. Для всех атрибутов всех ресурсов с привлечением экспертов формируются функции принадлежности (membership functions).

Шаг 3. Набор нечетких продукционных правил образуется путем полного комбинаторного перебора всех возможных комбинаций всех термов всех атрибутов всех ресурсов, поступающих на вход перехода.

Следует учитывать, что ряд атрибутов ресурсов может одновременно являться и входными и выходными для нечеткой продукционной модели. Так, например, при выполнении функции бизнес-процесса может изменяться эмоциональное состояние исполнителя как в лучшую сторону (получение удовлетворенности от работы), так и в худшую сторону (угнетение от выполнения работы с некачественными исходными данными, документами и т.д.).

Шаг 4. Проводится обучение каждой отдельной нечеткой продукционной модели.

Рассмотрим обучение на примере продукционной модели Сугэно 0-го порядка, в которой консеквент каждого из нечетких продукционных правил является константой. Такая модель может быть достаточно быстро обучена на нескольких примерах с использованием, например, метода генетического алгоритма, как показано в [4], или на основании градиентного метода (см., например, [2]).

Построение маршрута бизнес-процесса в терминах сетей Петри

Для выполнения анализа бизнес-процессов одной из основных задач является задача построения маршрута между начальным и конечным событиями с целью определения возможности достижения требуемого результата или совокупности результатов. С учетом предлагаемого в настоящей статье подхода к формализации бизнес-процессов в терминах сетей Петри задачу построения маршрута бизнес-процесса можно переформулировать в виде задачи покрываемости маркировки сети Петри [6].

При реализации алгоритма используют следующие входные данные:

- сеть Петри, заданная орграфом;
- начальная и конечная позиции сети Петри.

В результате функционирования предлагаемого алгоритма по входным данным формируется структура, содержащая упорядоченную (по идентификаторам вершин) совокупность маршрутов, связывающих фиксированную начальную вершину-позицию с остальными вершинами-позициями сети Петри, после чего осуществляется выборка маршрутов по идентификатору конечной вершины.

Основные обозначения

1. Пусть P – множество вершин-позиций сети Петри, T – множество вершин-переходов, $|P| = n_p$, $|T| = n_T$.

2. Маршрут Ω_k^n между вершинами-позициями P_S и P_n представляет собой классический однонаправленный список вершин:

$$\{P_S = P_{k,0}^n \rightarrow T_{k,1}^n \rightarrow P_{k,1}^n \rightarrow \dots \rightarrow P_{k,q-1}^n \rightarrow T_{k,q}^n \rightarrow P_{k,q}^n = P_n\}.$$

3. Под длиной пути $L(\Omega_k^n)$ будем понимать количество переходов в списке Ω_k^n .

4. Под ресурсным весом $W(\Omega_k^n, R_j)$ маршрута Ω_k^n будем понимать суммарное количество ресурса R_j , потребляемого системой при осуществлении всех переходов Ω_k^n .

5. Под условным фактором $U(\Omega_k^n)$ будем подразумевать совокупное множество условий, необходимых для осуществления всех переходов Ω_k^n .

6. Под условностью $C(\Omega_k^n)$ маршрута будем понимать мощность множества $U(\Omega_k^n)$. Если $C(\Omega_k^n) = 0$, то маршрут Ω_k^n будем называть безусловным.

7. Под пространством маршрутов будем подразумевать одномерный массив Ω длины n_p , n -й элемент которого представляет собой множество маршрутов Ω^n с началом в вершине P_S и окончанием в вершине P_n .

В таком случае способ построения маршрута можно описать следующим набором шагов.

1. Формируем массив Ω длины n_p , описанный в пункте 7 «основных обозначений». Формируем очередь Q для размещения пар $(n; k)$, где n – номер вершины-позиции, а k – номер маршрута до этой вершины от вершины P_S .

Ω_1^s присваиваем значение $\{P_S\}$ (путь нулевой длины). Помещаем в очередь пару $(s; 1)$.

2. Пока $Q \neq \emptyset$:

2.1. Извлекаем очередной элемент $(n; k)$ из очереди Q .

2.2. Рассматриваем все возможные переходы из позиции P_n . Для определенности пусть позиция P_m достижима из P_n через переход T_j . Если ни один из маршрутов Ω^m не содержит в качестве субсписка маршрут Ω_k^n :

2.2.1. Копируем Ω_k^n в Ω_+ .

2.2.2. Добавляем в конец списка Ω_+ T_j и P_m .

2.2.3. $\Omega^m = \Omega^m + \{\Omega_+\}$.

2.2.4. Помещаем пару $(m; |\Omega^m|)$ в очередь Q .

3. Множество всех маршрутов от вершины P_S до вершины P_F определяется как Ω^F . Если $\Omega^F = \emptyset$, маршрут между P_S и P_F не существует. В противном случае переходим к пункту 4.

4. Удаляем из Ω^F все маршруты, для которых хотя бы одно из условий $F(\Omega_k^n)$ не может быть выполнено. Если $\Omega^F = \emptyset$, маршрут между P_S и P_F не существует. В противном случае переходим к пункту 5.

5. В случае необходимости определения оптимального маршрута между P_S и P_F выполняем многокритериальную сортировку маршрутов Ω^F с учетом $W(\Omega_k^F, R_j)$, $L(\Omega_k^F)$, $C(\Omega_k^F)$.

Таким образом, в результате работы алгоритма формируется структура, содержащая все ациклические маршруты, связывающие вершину P_S с остальными вершинами-позициями сети Петри, после чего определяется возможность покрываемости позиции P_F из вершины P_S и формируется список всех маршрутов до этой позиции.

Способы анализа нечетких бизнес-процессов

Анализ нечетких бизнес-процессов заключается в оценке качества искомых результатов бизнес-процесса. Сами результаты при этом могут не достигаться в рамках одного запуска бизнес-процесса. Поэтому можно предложить семейство способов анализа нечетких бизнес-процессов, отличающихся набором одновременно получаемых результатов:

1) способ анализа нечетких бизнес-процессов, при одновременном получении всех заявленных результатов;

2) способ анализа нечетких бизнес-процессов, при получении отдельных результатов.

Способ анализа нечетких бизнес-процессов, при одновременном получении всех заявленных результатов

Предполагается, что перед началом анализа бизнес-процесс интерпретирован в высокоуровневую сеть Петри, в которой каждой искомой характеристике сопоставлена вершина сети Петри. Нечеткая высокоуровневая сеть Петри обучена. При соблюдении обозначенных условий способ будет включать следующие шаги.

1. С использованием алгоритма построения маршрутов бизнес-процесса, изложенного в разделе 2, для каждого искомого атрибута, формируется совокупность маршрутов сети Петри, связывающих начальную и конечную вершины-позиции сети Петри (конечная позиция сети Петри соответствует возникновению события бизнес-процесса, связанного с формированием конечного требуемого документа).

2. Осуществляется анализ маршрутов полученных маршрутов с целью нахождения общих из них.

3. В случае, если общие маршруты найдены, то для каждого из них осуществляется моделирование нечеткого бизнес-процесса по правилам нечеткой высокоуровневой сети Петри.

4. Осуществляется агрегирование значений каждой искомой характеристики по общим маршрутам с использованием, например, операций T- и S-норм [1].

5. Полученные на шаге 4 обобщенные оценки совместно с результатами оценки искомых характеристик по каждому из общих маршрутов принимаются к рассмотрению.

6. При наличии определенных критериев рисков осуществляется отсев маршрутов, которые приводят к неудовлетворительным значениям рисков. Оставшиеся маршруты развития бизнес-процесса считаются предпочтительными.

7. Оптимальный в некотором смысле маршрут бизнес-процесса может быть получен исходя из оценки маршрутов по следующим показателям: длина пути (количество переходов), объем используемых ресурсов. При этом, при дополнении сети до временной сети Петри, длина пути также может измеряться временем выполнения процесса.

Способ анализа нечетких бизнес-процессов, при получении отдельных результатов

Как и в предыдущем способе, предполагается наличие соответствующим образом обученной нечеткой высокоуровневой

сети Петри, отражающей бизнес-процесс. В таком случае способ включает следующие шаги:

1. С использованием алгоритма построения маршрутов бизнес-процесса, изложенного в разделе 2, для каждого искомого атрибута, формируется совокупность маршрутов сети Петри, связывающих начальную и конечную вершины-позиции сети Петри (конечная позиция сети Петри соответствует возникновению события бизнес-процесса, связанного с формированием конечного требуемого документа).

2. Осуществляется анализ маршрутов полученных маршрутов с целью нахождения общих из них.

3. Для всех маршрутов осуществляется моделирование нечеткой высокоуровневой сети Петри. Полученные результаты принимаются к рассмотрению.

4. Определяются критерии выбора оптимальных в некотором смысле маршрутов. Результаты бизнес-процесса делятся на обязательные и факультативные. Для каждого обязательного результата критерий его удовлетворительности.

5. Осуществляется отсев маршрутов, не обеспечивающих получение обязательных результатов, удовлетворяющих критериям.

6. В случае, если после шага 5 не остается ни одного маршрута, осуществляется поиск маршрута, обеспечивающего получение максимального количества обязательных результатов.

7. В случае, если после шага 5 остается несколько маршрутов, с использованием, например, модели предпочтений экспертов, на основании характеристик обязательных и факультативных результатов, осуществляется ранжирование полученных маршрутов. В модели предпочтений экспертов также могут учитываться длина маршрута (количество переходов) и объем используемых ресурсов.

Полученные с использованием приведенных способов маршруты могут использоваться в дальнейшем для регулирования бизнес-процесса (направления его по нужному маршруту).

Заключение

Таким образом, предложенные способы, применяемые в зависимости от потребности, обеспечивают анализ нечетких бизнес-процессов для управления рисками и позволяют лицу, принимающему решения, своевременно влиять на

ход бизнес-процесса с целью достижения результата, удовлетворяющего заданным критериям.

Работа выполнена при поддержке Совета по грантам Президента РФ в рамках научного проекта МК-6184.2016.8.

Список литературы

1. Борисов В.В., Круглов В.В., Федулов А.С. Нечеткие модели и сети. – 2-е изд. стереотип. – М.: Горячая линия – Телеком, 2012. – 284 с.
2. Букачев Д.С. Градиентный способ коррекции параметров производственной модели Такаги-Сугэно // Международный журнал информационных технологий и энергоэффективности. – 2016. – Т. 1, № 1. – С. 11–15.
3. Елиферов, В.Г., Репин В.В. Бизнес-процессы: регламентация и управление: учеб. пособ. для слушателей образоват. учрежд., обуч. по MBA и др. программам подготовки управленческих кадров // Ин-т экономики и финансов «Синергия». – М.: Инфра-М, 2011.
4. Зернов М.И., Сак-Саковский В.И., Сеньков А.В., Букачев Д.С. Генетический алгоритм обучения системы нечеткого вывода // Нейрокомпьютеры: разработка, применение. – М., 2016. – № 7. – С. 57–60.
5. Марголин М.С., Сеньков А.В. Подход к идентификации рисков бизнес-процессов в нотации ARIS eEPC на основе высокоуровневых нечетких сетей Петри // Пятнадцатая национальная конференция по искусственному интеллекту с международным участием КИИ-2016 (3–7 октября 2016 г., г. Смоленск, Россия). Труды конференции. В 3-х томах. Т. 1. – Смоленск: Универсум, 2016. – С. 265–273.
6. Питерсон Дж. Теория сетей Петри и моделирование систем: пер. с англ. – М.: Мир, 1984. – 264 с.
7. Сеньков А.В. Вариант построения модели риск-ситуаций для управления рисками в сложных организационно-технических системах на основе бизнес-процессов // Энергетика, информатика, инновации – 2015: сб. тр. V Межд. научно-технической конф.: НИУ «МЭИ», филиал в г. Смоленске. – 2015.
8. Сеньков А.В., Марголин М.С., Сорокин Е.В. Способ интерпретации бизнес-процессов в нечеткие временные сети Петри // Нейрокомпьютеры: разработка, применение. – М., 2016. – № 7. – С. 34–38.
9. Alcalá R., Alcalá-Fdez J., Casillas J., Cordon O., Herrera F. Local identification of prototypes for genetic learning of accurate TSK fuzzy rule-based systems // International Journal of Intelligent System. – 2007. – № 22.

10. Senkov A., Borisov V., Risk assessment in fuzzy business processes based on High Level Fuzzy Petri net // International Journal of Applied Engineering Research. – 2016. – Vol. 11, № 16. – P. 9052–9057.

References

1. Borisov V.V., Kruglov V.V., Fedulov A.S. Nечеткие модели и сети. 2-е изд. стереотип. М.: Gorjachaja linija Telekom, 2012. 284 s.
2. Bukachev D.S. Gradientnyj sposob korrekcii parametrov produkcionnoj modeli Takagi-Sugeno // Mezhdunarodnyj zhurnal informacionnyh tehnologij i jenergojeffektivnosti. 2016. T. 1, no. 1. pp. 11–15.
3. Eliferov, V.G., Repin V.V. Biznes-processy: reglamentacija i upravlenie: ucheb. posob. dlja slushatelej obrazovat. uchrezhd., obuch. po MBA i dr. programmam podgotovki upravlencheskich kadrov // In-t jekonomiki i finansov «Sinergija». M.: Infra-M, 2011.
4. Zernov M.I., Sak-Sakovskij V.I., Senkov A.V., Bukachev D.S. Geneticheskij algoritm obuchenija sistemy nechetkogo vyvoda // Nejrokompjutyry: razrabotka, primenenie. M., 2016. no. 7. pp. 57–60.
5. Margolin M.S., Senkov A.V. Podhod k identifikacii riskov biznes-processov v notacii ARIS eEPC na osnove vysokourovnevnyh nechetkih setej Petri // Pjtnadcataja nacionalnaja konferencija po iskusstvennomu intellektu s mezhdunarodnym uchastiem KII-2016 (3–7 oktjabrja 2016 g., g. Smolensk, Rossi-ja). Trudy konferencii. V 3-h tomah. T. 1. Smolensk: Universum, 2016. pp. 265–273.
6. Piterson Dzh. Teorija setej Petri i modelirovanie sistem: per. s angl. M.: Mir, 1984. 264 p.
7. Senkov A.V. Variant postroenija modeli risk-situacij dlja upravlenija riskami v slozhnyh organizacionno-tehnicheskikh sistemah na osnove biznes-processov // Jenergetika, informatika, innovacii 2015: sb. tr. V Mezhd. nauchno-tehnicheskoy konf.: NIU «MJeI», filial v g. Smolenske. 2015.
8. Senkov A.V., Margolin M.S., Sorokin E.V. Sposob interpretacii biznes-processov v nechetkie vremennye seti Petri // Nejrokompjutyry: razrabotka, primenenie. M., 2016. no. 7. pp. 34–38.
9. Alcalá R., Alcalá-Fdez J., Casillas J., Cordon O., Herrera F. Local identification of prototypes for genetic learning of accurate TSK fuzzy rule-based systems // International Journal of Intelligent System. 2007. no. 22.
10. Senkov A., Borisov V., Risk assessment in fuzzy business processes based on High Level Fuzzy Petri net // International Journal of Applied Engineering Research. 2016. Vol. 11, no. 16. pp. 9052–9057.