

С. Ф. ЧАЛИЙ, Є. О. БОГАТОВ

ТЕХНОЛОГІЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ ПОБУДОВИ МОДЕЛІ ПРОТОТИПУ БІЗНЕС-ПРОЦЕСУ НА ОСНОВІ ПОПЕРЕДНЬОЇ ОБРОБКИ ЖУРНАЛУ ПОДІЙ

Предметом дослідження є процеси побудови моделей прототипів бізнес-процесів «AS–IS», що відображають поточну діяльність підприємства. Для побудови моделі «AS–IS» використовуються журнали подій, що містять запис реалізованих при функціонуванні підприємства операцій із мітками часу. Побудова процесної моделі «AS–IS» в використанні логів виконується засобами інтелектуального аналізу процесів. Результуюча модель прототипу бізнес-процесу має вигляд графу, що відображає всі відомі із журналу подій його реалізації. Метою роботи є підвищення ефективності впровадження процесного управління шляхом розробки технології побудови моделей прототипів процесу «AS–IS» в умовах неупорядкованих по бізнес-процесам та помилкових вхідних даних. Для досягнення поставленої мети в статті вирішуються такі задачі: розробка технології формування моделей прототипів бізнес-процесів; експериментальна перевірка технології. Отримано наступні результати. Розроблено технологію автоматизованої побудови прототипів моделей бізнес-процесів «AS–IS», яка містить у собі етапи структуризації журналів подій у процесно-орієнтовану форму і подальшої побудови моделей бізнес-процесів методами інтелектуального аналізу процесів. Розроблена технологія дозволяє отримати графову модель прототипу бізнес-процесу, яка використовується при впровадженні процесного управління в рамках першого та другого рівнів процесної зрілості. На базі отриманої моделі «AS–IS» формується удосконалена процесна модель «TO–BE». Проведена експериментальна перевірка показала, що розроблена технологія забезпечує побудову процесно-орієнтованого лога та подальше формування моделі прототипу бізнес-процесу, що відображає поточну діяльність підприємства.

Ключові слова: бізнес-процес, лог, модель «AS–IS», інтелектуальний аналіз процесів, process mining.

С. Ф. ЧАЛЫЙ, Е. О. БОГАТОВ

ТЕХНОЛОГИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПОСТРОЕНИЯ МОДЕЛИ ПРОТОТИПА БИЗНЕС-ПРОЦЕССА НА ОСНОВЕ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ ЖУРНАЛОВ СОБЫТИЙ

Предметом исследования являются процессы построения моделей прототипов бизнес-процессов «AS–IS», отражающие текущую деятельность предприятия. Для построения модели «AS–IS» используются журналы событий, содержащие записи реализованных при функционировании предприятия операций с метками времени. Построение процессной модели «AS–IS» с использованием логов выполняется средствами интеллектуального анализа процессов. Результирующая модель прототипа бизнес-процесса имеет вид графа, отражающий все известные из журнала событий его реализации. Целью работы является повышение эффективности внедрения процессного управления путем разработки технологии построения моделей прототипов процесса «AS–IS» в условиях неупорядоченных по бизнес-процессам и ошибочных входных данных. Для достижения поставленной цели в статье решаются следующие задачи: разработка технологии формирования моделей прототипов бизнес-процессов; экспериментальная проверка технологии. Получены следующие результаты. Разработана технология автоматизированного построения прототипов моделей бизнес-процессов «AS–IS», которая включает в себя этапы структуризации журналов событий в процессно-ориентированную форму и дальнейшего построения моделей бизнес-процессов методами интеллектуального анализа процессов. Разработанная технология позволяет получить графовую модель прототипа бизнес-процесса, которая используется при внедрении процессного управления в рамках первого и второго уровней процессной зрелости. На базе полученной модели «AS–IS» формируется усовершенствованная процессная модель «TO–BE». Проведенная экспериментальная проверка показала, что разработанная технология обеспечивает построение процессно-ориентированного лога и дальнейшее формирование модели прототипа бизнес-процесса, которая отражает текущую деятельность предприятия.

Ключевые слова: бизнес-процесс, лог, модель «AS–IS», интеллектуальный анализ процессов, process mining.

S. CHALYI, I. BOGATOV

TECHNOLOGY OF AUTOMATED CONSTRUCTION OF A BUSINESS PROCESS PROTOTYPE MODEL BASED ON PRE-PROCESSING OF EVENT LOGS

The subject of the study are the processes of building models of prototypes of business processes "AS–IS", reflecting the current activities of the enterprise. To build the "AS–IS" model, event logs are used, which contain a record of operations with timestamps implemented during the operation of the enterprise. Construction of the process model "AS–IS" in the use of logs is performed by means of intellectual analysis of processes. The resulting model of the prototype of the business process has the form of a graph showing all known from the log of events of its implementation. The aim of the work is to increase the efficiency of process control implementation by developing the technology of building prototype models of the process "AS–IS" in the conditions of disordered business processes and erroneous input data. To achieve this goal, the article solves the following tasks: development of technology for modeling business process prototypes; experimental verification of technology. The following results were obtained. The technology of automated prototyping of business process models "AS–IS" has been developed, which includes the stages of structuring event logs in a process-oriented form and further construction of business process models by methods of intellectual analysis of processes. The developed technology allows to obtain a graph model of a business process prototype, which is used in the implementation of process management within the first and second levels of process maturity. On the basis of the received model "AS–IS" the improved process model "TO–BE" is formed. The experimental test showed that the developed technology provides the construction of a process-oriented log and the subsequent formation of a prototype model of a business process that reflects the current activities of the enterprise.

Keywords: business process, log, "AS–IS" model, process analysis, process mining.

Вступ. Цикл функціонування сучасних підприємств передбачає постійний розвиток та покращення існуючих бізнес-процесів [1, 2]. Для вирішення цієї задачі необхідно від моделей існуючих бізнес-процесів «AS–IS» перейти до цільових процесних моделей «TO–

BE» [3, 4]. Модель «TO–BE» створюється з урахуванням поточного стану ринку, аналізу стану конкурентів та бажань кінцевих споживачів продукту або послуги, що випускається на підприємстві. Модель «AS–IS» має базуватися на даних, що відображають поточну

діяльність підприємства. У якості таких даних використовуються журнали подій (логи), що містять запис реалізованих при виконанні бізнес-процесів дій. Побудова процесної моделі «AS–IS» в використанні логів виконується засобами process mining – інтелектуального аналізу процесів (ІАП) [5, 6]. В результаті застосування цих методів бізнес-аналітик має змогу отримати графову модель, що відображає послідовність дій бізнес-процесу. Дана модель не містить умов переходів між діями і тому визначає прототип бізнес-процесу. У подальшому модель може бути уточнена на основі опитування експертів та виконавців.

Існує певний перелік вимог до логів подій інформаційних систем, що можуть бути оброблені засобами ІАП. До таких обмежень відносять: групування подій за екземплярами процесів; упорядкування подій екземпляру процесу за часом виникнення. Додатково може задаватись перелік обов'язкових та опціональних атрибутів опису подій.

Значна частина логів, в особливості логи функціонально-орієнтованих інформаційних систем, не відповідають наведеним вимогам. В таких логах не визначено належність подій до процесів. Тому перетворення таких логів у процесну форму з метою побудови прототипів бізнес-процесів «AS–IS» є актуальною задачею.

Вирішення цієї задачі базується на можливості трансформації логів до формату, необхідного для роботи засобів ІАП за рахунок аналізу додаткової інформації, що представлена атрибутами подій. Зазвичай атрибути або групи атрибутів характеризують окремі кроки із вирішення функціональних задач, що виконуються на підприємстві. Послідовності виконаних функцій визначають потоки робіт підприємства, що призводять до створення кінцевого продукту, аналогічно бізнес-процесам. Головна відмінність таких логів полягає у невідповідності між записами та послідовностями робіт, тобто неупорядкованості записів в рамках процесу створення кінцевого продукту. Події ж бізнес-процесів зазвичай упорядковані в рамках однієї траси, що фіксує виконання одного екземпляру бізнес-процесу.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Існуючі підходи до побудови графових моделей бізнес-процесів [5–8] накладають додаткові вимоги до вхідних даних: незначна кількість помилкових даних; наявність наскрізного процесу або послідовності подій; відсутність паралельного виконання великої кількості процесів. Такі вимоги які не завжди задовольняються в логах реальних, зокрема функціонально-орієнтованих, інформаційних систем.

У роботах [9–11] було запропоновано моделі структурованого та неструктурованого логів, а також запропоновано методи структуризації логів, які відрізняються за вимогою до вхідних даних та знань. Інтеграція результатів цих робіт в єдину послідовність дій дає можливість побудувати технологію автоматизованої побудови прототипів бізнес-процесів «AS–IS».

Метою цієї статті є підвищення ефективності впровадження процесного управління шляхом розробки технології побудови моделей прототипів процесу

«AS–IS» в умовах неупорядкованих по процесам та помилкових вхідних даних.

Для досягнення поставленої мети в статті вирішуються такі задачі:

- розробка технології формування моделей прототипів бізнес-процесів;
- експериментальна перевірка технології.

Технологія побудови моделі прототипу бізнес-процесу.

Розроблена технологія інтегрує методи структуризації журналів подій, що були запропоновані в роботах [6, 7].

Головна ідея даної технології полягає у попередньому упорядкуванні подій за приналежністю до певного потоку робіт на основі порівняння атрибутів цих подій. Після аналізу атрибутів подій формуються вхідні дані до запропонованих методів трансформації лога для його перетворення у форму, придатну для обробки засобами ІАП. Переструктуровані логи передаються на вхід засобам ІАП з метою побудови моделей бізнес-процесів «AS–IS». В якості платформи ІАП було використано програмний засіб ProM.

Запропонована технологія містить у собі такі етапи.

Етап 1. Підготовка вхідного лога.

Етап 2. Аналіз атрибутів вхідного журналу подій.

Етап 3. Формування процесно-орієнтованого журналу подій.

Етап 4. Побудова моделі процесу «AS–IS» методами інтелектуального аналізу процесів.

На першому етапі перевіряється можливість побудови процесної моделі із журналу подій інформаційної системи. Умова побудови моделі – наявність мінімальної кількості атрибутів події, що задають опис дій з вирішення функціональних задач. До таких атрибутів відносять: час настання події, виконавець та ідентифікатор події лога. При подальшому аналізі до значного покращення кінцевих результатів призводить наявність множини додаткових атрибутів подій визначеної у даній предметній області. Приклад опису такої події наведено на рис. 1.

```
<event>
  <string key="org:group" value="M8"/>
  <string key="resource country" value="Sweden"/>
  <string key="organization country" value="se"/>
  <string key="org:resource" value="Johanna"/>
  <string key="organization involved" value="Org line C"/>
  <string key="org:role" value="V3_2"/>
  <string key="concept:name" value="Accepted"/>
  <string key="impact" value="Low"/>
  <string key="product" value="PROD262"/>
  <string key="lifecycle:transition" value="Wait - User"/>
  <date key="time:timestamp" value="2012-04-23T09:48:24+02:00"/>
</event>
```

Рис. 1. Приклад опису події лога

Після успішної перевірки виконується фільтрація існуючого журналу подій з урахуванням додаткових (зокрема, експертних) знань про процеси на підприємстві. Фільтрація подій виконується за такими атрибутами: час виконання; виконавці; підрозділ, тощо. Даний етап дає можливість на основі контекстної інформації виключити події, що не мають відношення до виробничих процесів підприємства та не можуть бути

використані для побудови моделі бізнес-процесу. Прикладом таких невірних подій може бути подія, що описує діяльність бухгалтерії при розрахунку зарплатні співробітника. Включення таких подій у вхідний набір лише призводить до формування «спагеті-подібного» графу моделі бізнес-процесу [5]. Даний граф містить надлишкову множини дуг та вершин, що не дає можливості виявити ключові причинно-наслідкові зв'язки між діями бізнес-процесу. Тому спагеті-подібну модель важко трансформувати у модель бізнес-процесу «ТО–ВЕ».

На другому етапі виконується аналіз отриманого журналу подій. Результатом аналізу є числова оцінка важливості кожного з атрибутів події журналу, а також оцінка зв'язків між атрибутами. Оцінка важливості атрибутів базується на частоті їх використання з урахуванням діапазону можливих значень цих атрибутів. Ця оцінка виконується у два кроки. Першим кроком розраховуються ваги для кожного атрибуту окремо з метою виявлення атрибутів з критично малою або великою кількістю припустимих значень атрибуту. Ці атрибути виключаються з подальшого аналізу як такі, що не дозволяють визначити приналежність події до певної траси. На другому кроці формуються множини подій з атрибутів, що не були виключені на першому кроці. Після чого розраховують оцінки повторюються для визначених множин. Оцінка множин атрибутів дозволяє виявити перелік атрибутів, котрі дозволять віднести подію до певної траси. Оцінка зв'язків між атрибутами визначається на основі аналізу всіх припустимих значень атрибутів для певної множини атрибутів та може доповнюватися знаннями, що були надані експертами. Отримані оцінки використовуються на наступному етапі технології і є вхідними даними для методів структуризації логів подій.

На третьому етапі технології виконується структуризація подій з метою побудови процесно-орієнтованого лога. Для цього використовується методи структуризації журналів подій. Метод побудови атрибутивного опису бізнес-процесу [9] дозволяє отримати попереднє групування подій за приналежністю до певного потоку робіт. На вхід методу подається отримана на попередньому етапі таблиця ваг атрибутів. Проведена низка експериментів доводить, що цей метод є швидшим за існуючі аналогічні методи і є достатньо ефективним за умови, що існує достатня кількість додаткових атрибутів предметної області. У разі відсутності останніх, а також для уточнення результатів, отриманих цим методом, можливе додаткове використання методу структуривання лога, котрий базується на інваріантах подій [10]. Інваріанти подій визначаються за рахунок аналізу зміни значень послідовності подій, що виконується на попередньому етапі технології, або шляхом опитування експертів.

Четвертий етап передбачає побудову моделей «AS–IS» шляхом аналізу структурованих логів методами process mining. Для цього передбачено використання існуючого відкритого програмного додатку ProM 6.0. На виході з програмного додатку користувач отримує готову модель прототипу бізнес-процесу «AS–IS», що побудована згідно з заданою нотацією. Нотація

і алгоритм, що використовуються для аналізу лога, обираються безпосередньо користувачем під час використання додатку.

Експериментальна перевірка технології побудови моделі прототипу бізнес-процесу.

Під час проведення експериментальної перевірки було використано реальний лог, що є у вільному доступі в базі логів процесно-орієнтованих систем [12]. З метою приведення лога до структури, характерної для функціонально-орієнтованих систем, з нього було видалено всі ідентифікатори трас, а події було впорядковано за міткою часу. У результаті було отримано лог з однією трасою та 65 тисячами подій. Згідно вимог першого етапу технології, кожна подія лога була верифікована на наявність обов'язкових атрибутів подій. Фільтрація подій після верифікації не проводилася, внаслідок відсутності обмежень щодо припустимих значень атрибутів. Всі події було збережено у «*.xes» форматі.

На другому етапі в результаті аналізу мета-даних було виконано перший з кроків оцінки ваг атрибутів – оцінка важливості атрибутів окремо один від одного. Отримана результати наведено в табл. 1.

Таблиця 1 – Оцінка ваг кожного з атрибутів події лога

| Атрибути подій | Вага атрибуту події | Кількість значень припустимих атрибутів |
|-------------------------|---------------------|---|
| "org:group" | 0.004846153846 | 315 |
| "organization involved" | 0.000307692308 | 20 |
| "org:role" | 0.000307692308 | 20 |
| "concept:name" | 0.000076923077 | 3 |
| "impact" | 0.000046153846 | 3 |
| "product" | 0.002353846154 | 153 |
| "lifecycle: transition" | 0.000076923077 | 5 |
| "org:resource" | 0.009338461538 | 607 |

З таблиці 1 видно, що повторення значення "concept:name" відбувається у кожній третій події. Урахування цього атрибуту, як значущого, може призвести до розділення лога на три траси довжиною більш ніж 20 тисяч подій кожна. Такі атрибути виключаються з подальшого розрахунку ваг для множин подій.

В результаті виконання другого етапу з подальшого аналізу було вилучено наступні атрибути: "concept:name"; "impact"; "lifecycle: transition"; "org:role"; "organization involved".

На другому кроці даного етапу були отримані оцінки ваг атрибутів, що залишилися. Результати виконання даного кроку наведено в табл. 2.

Таблиця 2 – Оцінка ваг для множин атрибутів події лога

| Множина атрибутів | Кількість можливих значень | Розрахунок ваг на набору атрибутів |
|---|----------------------------|------------------------------------|
| ["org:resource", "product"] | 1393 | 0.021430769 |
| ["org:group", "org:resource"] | 1854 | 0.028523077 |
| ["org:group", "org:role", "product"] | 626 | 0.009630769 |
| ["org:group", "org:resource", "product"] | 2415 | 0.037153846 |
| ["org:group", "org:resource", "org:role", "product"] | 2415 | 0.037153846 |
| ["org:group", "org:resource", "organization involved", "org:role", "product"] | 2415 | 0.037153846 |

З таблиці 2 видно, що існують групові атрибути, що змінюються попарно. Прикладом таких атрибутів є "org:group", "org:role".

Тому при подальшому аналізі достатньо використовувати лише один атрибут з групи з метою оптимізації розрахунків, при цьому кінцевий результат аналізу не зміниться. В наслідок виконання другого етапу визначено наступні ваги атрибутів:

- "org:resource" – 0.14504727;
- "org:group" – 0.27950378;
- "product" – 0.57544896.

За результатами оцінки зв'язків між атрибутами було визначено наступні інваріанти:

- «Якщо значення атрибуту "product" є рівними для обох подій – події слід вважати за події однієї траси»;
- «Початковими вважаються події значення атрибуту «concept:name» яких рівно одному зі значень: «Queued», «Accepted»»;
- «Кінцевими вважаються події для котрих значення атрибуту «concept:name» є «Completed», а значення атрибуту «lifecycle:transition» є «Canceled»».

На третьому етапі першим було використано алгоритм, що базується на порівнянні атрибутів, після чого отримані результати було уточнено за рахунок використання методу, що базується на використанні інваріантів подій.

На четвертому етапі структуровані логи було передано на вхід програмному додатку ProM 6.8 з метою побудови моделей «AS-IS». Для цього було використано наступні алгоритми інтелектуального аналізу бізнес-процесів:

- альфа-алгоритм ++;
- евристичний алгоритм;
- фаззі-алгоритм.

Результати формування моделей «AS-IS» для структурованих логів наведено на рис. 2–7.

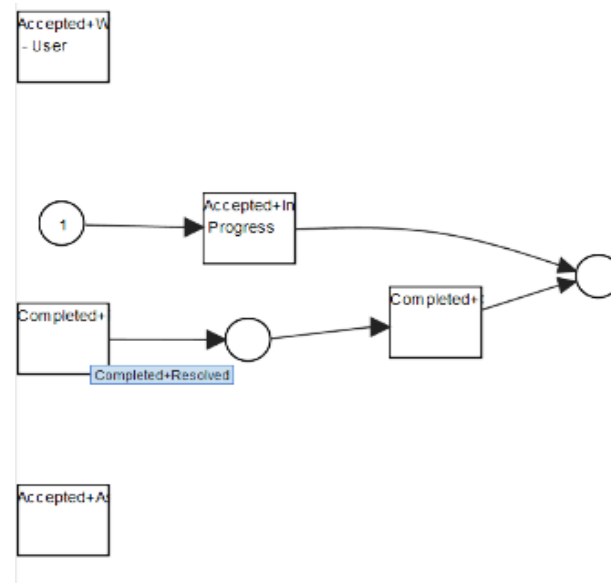


Рис. 2. Приклад використання покращеного альфа-алгоритму до лога отриманого, структурованого методом порівняння атрибутів

На рисунках 8–10 для порівняння наведено моделі «AS-IS», що отримані з використанням тих же алгоритмів ІАП для неструктурованих логів, що були отримані на початку експерименту шляхом видалення ідентифікаторів трас.

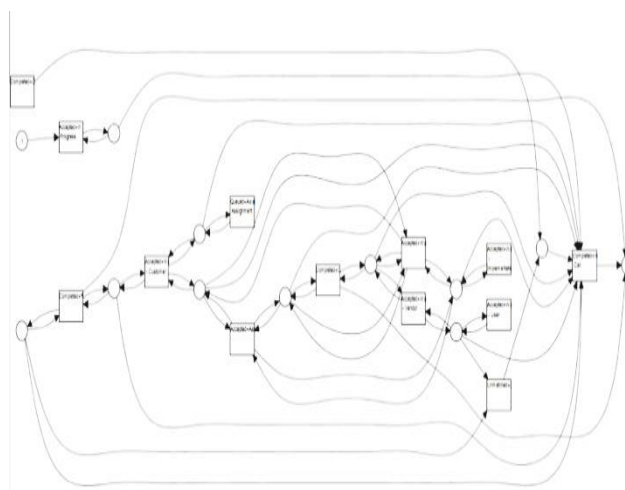


Рис. 3. Приклад використання покращеного альфа-алгоритму для побудови моделі прототипу бізнес-процесу із даних лога, структурованого з використанням інваріантів подій

Порівняння моделей прототипів бізнес-процесів показує, що використання методу інваріантів дозволяє виявити додаткові вершини та зв'язки.

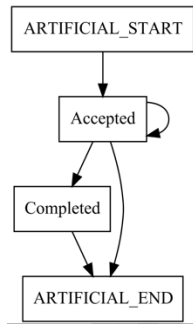


Рис. 4. Приклад використання евристичного алгоритму для побудови моделі прототипу бізнес-процесу із даних лога, структурованого методом порівняння атрибутів

Таким чином, модель «AS-ІS», яка отримана на основі аналізу лога, сформованою методом порівняння атрибутів, була додатково уточнена за рахунок використання методу, що використовує інваріанти подій.

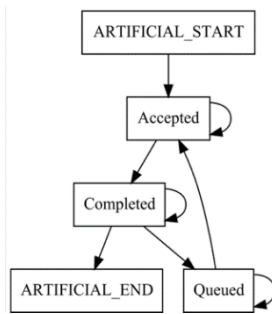


Рис. 5. Приклад використання евристичного алгоритму для побудови моделі прототипу бізнес-процесу із даних лога, структурованого з використанням інваріантів подій

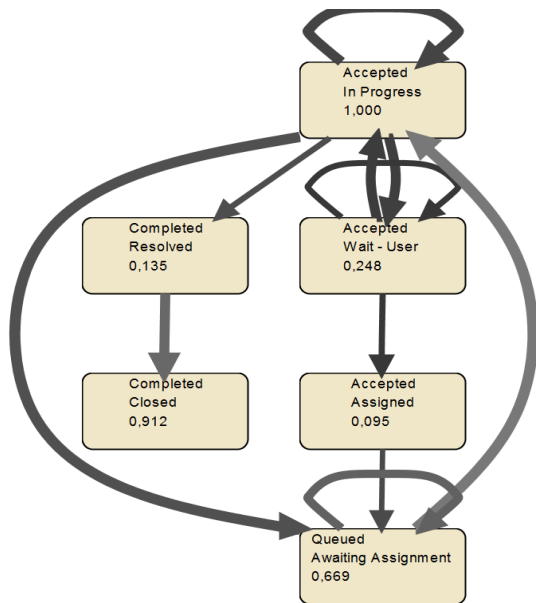


Рис. 6. Приклад використання алгоритму нечіткого пошуку для побудови моделі прототипу бізнес-процесу із даних лога, структурованого методом порівняння атрибутів

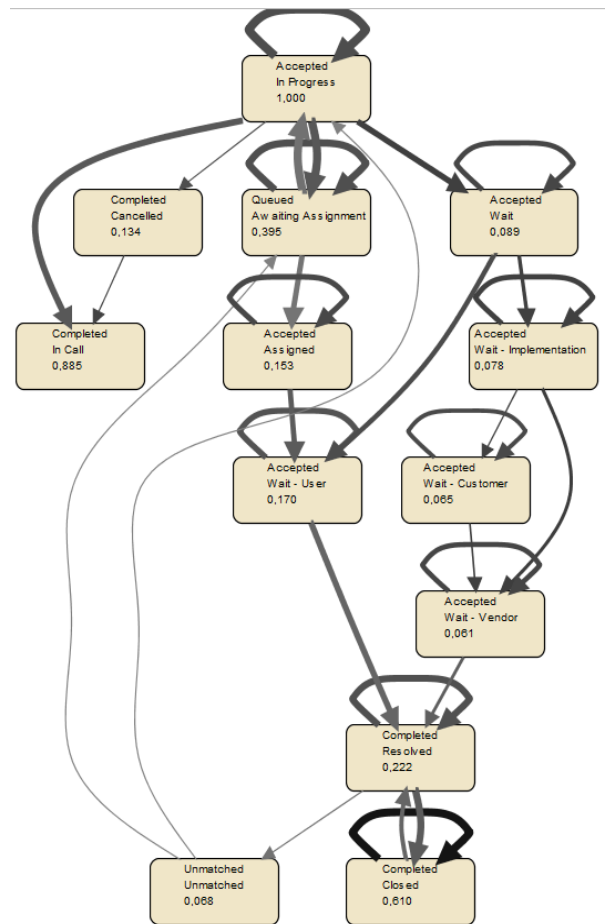


Рис. 7. Приклад використання алгоритму нечіткого пошуку для побудови моделі прототипу бізнес-процесу із даних лога, структурованого з використанням інваріантів подій

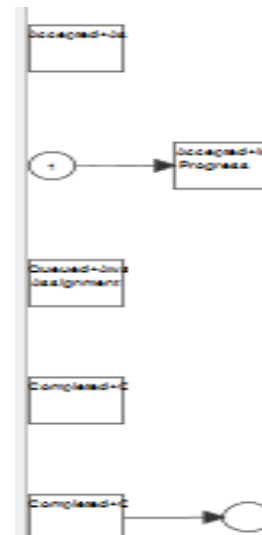


Рис. 8. Приклад використання покращеного альфа-алгоритму для побудови моделі прототипу бізнес-процесу із даних неструктурованого лога.

Порівняння моделей свідчить про важливість попередньої структуризації подій

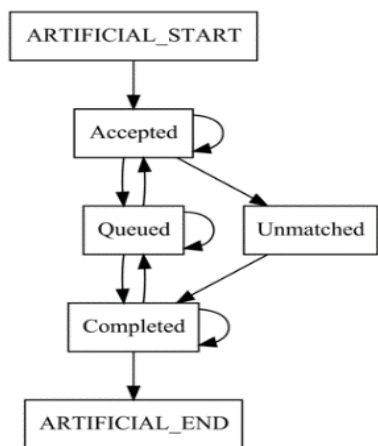


Рис. 9. Приклад використання евристичного алгоритму для побудови моделі прототипу бізнес-процесу із даних неструктурованого лога

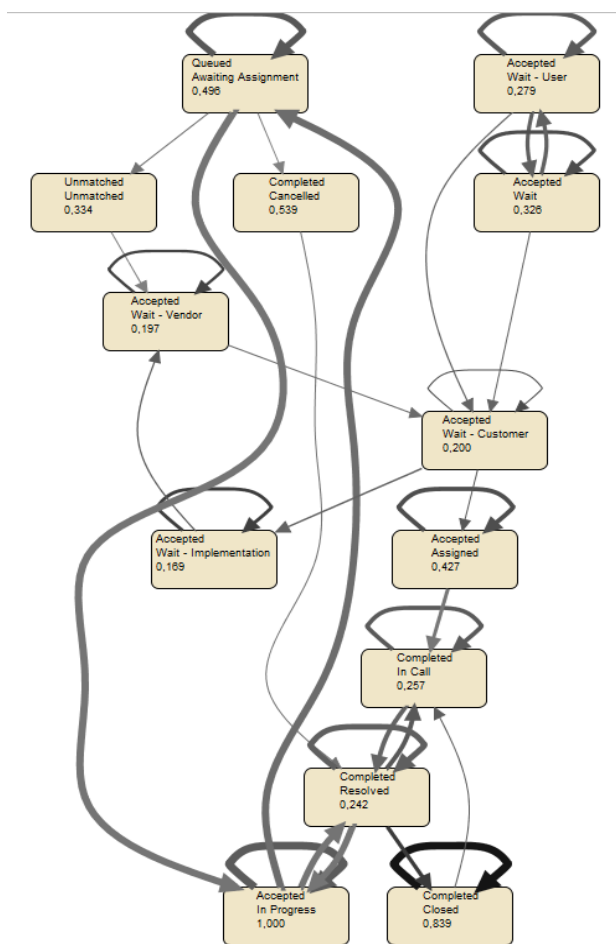


Рис. 10. Приклад використання алгоритму нечіткого пошуку для побудови моделі прототипу бізнес-процесу із даних структурованого лога

Згідно технологією ІАП, кінцеві моделі «AS-IS» можуть бути оцінені за наступними показниками: точність; гнучкість; узагальненість; простота [5].

Хоча перераховані критерії є суперечливими, вважається що адекватна модель має бути збалансована відносно кожного з них [5]. Так, моделі отримані з

використанням інваріантів є найбільш адекватними у порівнянні з усіма іншими моделями: вони є більш точними ніж моделі отримані за рахунок порівняння атрибутів, та більш гнучкими, узагальненими і простими у порівнянні з моделями що було сформовано на базі неструктурованого лога.

Висновки. Розроблено технологію автоматизованої побудови прототипів моделей бізнес-процесів «AS-IS», яка містить у собі етапи реструктуризації журналів подій у процесно-орієнтовану форму і подальшу побудову моделей бізнес-процесів методами process mining, що дає можливість сформувати графову модель прототипу бізнес-процесу при впровадженні процесного управління в рамках першого та другого рівнів процесної зрілості і, таким чином, забезпечити можливість удосконалення бізнес-процесів на основі формування моделі «TO-BE».

Проведена експериментальна перевірка показала, що розроблена технологія забезпечує побудову процесно-орієнтованого лога та подальше формування моделі прототипу бізнес-процесу «AS-IS».

Список літератури

1. Van Der Aalst W. M. P. Business Process Management: A Comprehensive Survey. *ISRN Software Engineering*. 2013. P. 1– 37.
2. Weske M. *Business Process Management: Concepts, Languages, Architectures*. Berlin: Springer-Verlag, 2012. 403 p.
3. Siska L. The concept of management control system and its relation to performance measurement. *The 16th Annual conference on finance and accounting (ACFA)*. 2015. Vol. 25. P. 141–147.
4. Репин В.В. *Бизнес-процессы. Моделирование, внедрение, управление*. Манн, Иванов и Фербер, 2013. 512 с.
5. Van Der Aalst W. M. P. *Process Mining: Data Science in Action*. Berlin: Springer-Verlag, 2016. 467 p.
6. Kalenkova A. A., Van Der Aalst W. M. P., Lomazova I. A., Rubin V. A. Process mining using BPMN: relating event logs and process models. *Software & Systems Modeling*. 2017. Vol. 16. P. 1019–1048.
7. Dumas M., Rosa M., Mendling J., Reijers H.A. *Fundamentals of business process management*. Springer, 2013. 391 p.
8. Brocke J., Rosemann M. *Handbook on business process management*. Berlin: Springer-Verlag, 2015. 709 p.
9. Chalyi S. Bogatov I. Method of constructing an attribute description of the business process «as is» in the process approach to enterprise management. *EUREKA: Physical Sciences and Engineering*, 2018. P. 63–72.
10. Чалий С. Ф., Богатов С.О., Прибильнова І.Б. Методи формування упорядкованих по процесам трас журналу подій в задачах процесного управління. *Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». Серія: Системний аналіз, управління та інформаційні технології*, 2018. № 21 (1297). С. 43–47.
11. Chalyi S., Levykin I., Biziuk A., Vovk A., Bogatov I. Development of the technology for changing the sequence of access to shared resources of business processes for process management support. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2020. Vol 2, № 3 (104). P. 22–29.
12. Steeman W. VINST information needed to understand the dataset. *Volvo IT*, 2012. 12 p.

References (transliterated)

1. Van Der Aalst W. M. P. Business Process Management: A Comprehensive Survey. *ISRN Software Engineering*. 2013. pp. 1–37.
2. Weske M. *Business Process Management: Concepts, Languages, Architectures*. Berlin, Springer-Verlag, 2012. 403 p.
3. Siska L. The concept of management control system and its relation to performance measurement. *The 16th Annual conference on finance and accounting (ACFA)*. 2015, vol. 25, pp. 141–147.

4. Repin V.V. *Biznes-processy. Modelirovanie, vnedrenie, upravlenie* [Business processes. Modeling, implementation, management]. Mann, Ivanov i Ferber Publ., 2013. 512 p.
5. Van Der Aalst W. M. P. *Process Mining: Data Science in Action*. Berlin, Springer-Verlag Publ., 2016. 467 p.
6. Kalenkova A. A., Van Der Aalst W. M. P., Lomazova I. A., Rubin V. A. Process mining using BPMN: relating event logs and process models. *Software & Systems Modeling*. 2017, vol. 16, pp. 1019–1048.
7. Dumas M., Rosa M., Mendling J., Reijers H.A. *Fundamentals of business process management*. Springer Publ., 2013. 391 p.
8. Brocke J., Rosemann M. *Handbook on business process management*. Berlin, Springer-Verlag Publ., 2015. 709 p.
9. Chalyi S. Bogatov I. Method of constructing an attribute description of the business process «as is» in the process approach to enterprise management. *EUREKA: Physical Sciences and Engineering*, 2018, pp. 63–72.
10. Chalyi S. F., Bogatov I.O., Pribylnova I.B. Metodi formuvannya uporyadkovanih po procesam tras zhurnalu podij v zadachah procesnogo upravlinnya [Techniques of reordering traces in the event logs in business process management tasks]. *Visnik Nacional'nogo tekhnichnogo universitetu «Harkivskij politekhnicheskij institut». Seriya: Sistemnij analiz, upravlinnya ta informacijni tekhnologii* [Bulletin of the National Technical University "KhPI". Ser. System analysis, control and information technology], 2018, № 21 (1297), pp. 43–47.
11. Chalyi S., Levykin I., Biziuk A., Vovk A., Bogatov I. Development of the technology for changing the sequence of access to shared resources of business processes for process management support. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2020, vol 2, № 3 (104), pp. 22–29.
12. Steeman W. VINST information needed to understand the dataset. *Volvo IT*, 2012. 12 p.

Hadziusha (received) 21.10.2020

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Чалий Сергій Федорович – доктор технічних наук, професор, Харківський національний університет радіоелектроніки, професор кафедри інформаційних управляючих систем, м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9982-9091>; e-mail: serhii.chalyi@nure.ua

Богатов Євген Олегович (Богатов Евгений Олегович, Bogatov Ievgen Olegovich) – Харківський національний університет радіоелектроніки, асистент кафедри інформаційних управляючих систем, м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0741-7242>; e-mail: bogatovevgeniy@gmail.com.

Чалий Сергій Федорович – доктор технических наук, профессор, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, профессор кафедры информационных управляющих систем, г. Харьков, Украина; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9982-9091>; e-mail: serhii.chalyi@nure.ua

Богатов Евгений Олегович – Харьковский национальный университет радиоэлектроники, ассистент кафедры информационных управляющих систем, г. Харьков, Украина; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0741-7242>; e-mail: bogatovevgeniy@gmail.com.

Chalyi Serhii Fedorovich – Doctor of Technical Sciences, Professor, Kharkiv National University of Radio Electronics, Professor of the Department of Information Control System, Kharkiv; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9982-9091>; e-mail: serhii.chalyi@nure.ua

Bogatov Ievgen Olegovich – Kharkiv National University of Radio Electronics, Assistant of Department of Information Control System, Kharkiv; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0741-7242>; e-mail: bogatovevgeniy@gmail.com.

УДК 004.9+519.85

DOI: 10.20998/2079-0023.2020.02.11

О. М. НИКУЛИНА, В. П. СЕВЕРИН, Н. В. КОЦЮБА

РОЗРОБКА ІНФОРМАЦІЙНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ОПТИМІЗАЦІЇ УПРАВЛІННЯ СКЛАДНИМИ ДИНАМІЧНИМИ СИСТЕМАМИ

Розроблена структура інформаційної технології оптимізації складних динамічних систем. Структура включає блок моделей систем, модуль методів інтегрування, блок обчислення критеріїв якості систем, блок методів оптимізації, модуль структур даних та блок подання інформації. Представлена функціональна модель інформаційної технології. У блоці моделей систем знаходяться моделі динамічних систем – об'єктів управління, регуляторів, інформаційних управляючих систем. Це дозволяє моделювати інформаційні управляючі системи енергоблоків АЕС, систему управління квадрокоптером, генератори електричних імпульсів та інші динамічні системи. У модулі інтегрування зібрані методи інтегрування систем диференціальних рівнянь: метод матричної експоненти для інтегрування лінійних систем, системні методи для інтегрування нелінійних систем, інші методи. У блоці обчислення критеріїв якості систем створені програми для обчислення різних критеріїв інформаційних управляючих систем: стійкості процесів управління, ідентифікації параметрів, прямих показників якості систем, інтегральних квадратичних оцінок. Розроблено блок методів оптимізації. Цей блок містить модулі методів одновимірного пошуку, багатовимірної безумовної оптимізації, глобального пошуку, генетичних алгоритмів, мінімізації суми квадратів, умовної оптимізації, векторної оптимізації. Для тестування методів створені модулі тестових функцій. Ці модулі включають тестові функції, їх бази даних та програми тестування. Розроблено модуль загальних структур даних. Запропоновані глобальні структури даних – структура постійних даних задач і методів

© О. М. Нікуліна, В. П. Северин, Н. В. Коцюба, 2020