

УДК 004.891.3

МЕТОД АДАПТИВНОГО ПРОЦЕСНОГО УПРАВЛІННЯ НА ОСНОВІ ПРЕЦЕДЕНТНОГО ПІДХОДУ

С. С. Чалий, д-р техн. наук, проф.

І. В. Левикін, канд. техн. наук, доц.

Харьковский национальный университет радиоэлектроники

E-mail: levykinvictor@gmail.com

Запропоновано метод адаптивного процесного управління на основі прецедентного підходу. Метод містить етапи: адаптація прецедентних моделей процесів, виконання процесів згідно завдань в моделі послідовності дій; додавання нового процесу до множини тих, що виконуються, з урахуванням затримок при доступі до загальних ресурсів. На відміну від існуючих, метод реалізує управління множиною бізнес-процесів, що використовують спільні ресурси. Метод дає можливість оцінити можливість виконання часових обмежень при додаванні нових процесів і, на цій основі, підвищити ефективність процесного управління.

Ключові слова: прецедент, бізнес-процес, інтелектуальний аналіз процесів, процесне управління.

The method of adaptive process management-based approach proposed case. The method includes the steps: adaptation precedent process models; process execution according to the model; adding a new process to set those performed by calculating the delay when accessing shared resources. Unlike the existing method realizes control multiple business processes that use shared resources. The method makes it possible to assess the possibility of satisfaction of time constraints when adding new processes and, on this basis, improve process management.

Keywords: case-based reasoning, business process, process mining, process control.

Постановка проблеми

Концепція процесного управління організацією, на відміну від функціонального підходу, передбачає побудову *workflow* — моделей послідовностей робіт, що забезпечують вирішення відповідних функціональних завдань, пов'язаних з виробництвом продукції та послуг, адмініструванням, сервісним обслуговуванням тощо. Такі послідовності робіт, що використовують ресурси для створення продуктів, послуг, є бізнес-процесами (БП) підприємства. Після побудови моделей бізнес-процесів подальше управління підприємством здійснюється шляхом управління бізнес-процесами [1]. Для побудови моделей бізнес-процесів використовують як традиційні підходи, що пов'язані з розробкою «з чистого листа», так і підходи, що передбачають використання існуючого досвіду процесного управління. У останньому випадку моделі процесів адаптуються та тиражуються, що дозволяє зменшити витрати на впровадження бізнес-процесів.

Прецедентний підхід (Case-based reasoning, CBR) є одним із підходів, направлений на використання існуючого досвіду, зокрема при впровадженні процесного управління на нових підприємствах, для вирішення нових завдань, що мають реалізовані аналоги [1]. Прецедент містить досвід вирішення завдань у вигляді структурованих характеристик завдань, а також опис процесу її вирішення [2–4]. При використанні прецедентів у рамках процесного підходу процес

вирішення завдання являється бізнес-процесом. Реалізація процесного управління на основі прецедентного підходу передбачає виконання пошуку та адаптації прецеденту, його застосування, та подальше збереження [2, 4].

Під час реалізації прецедентного підходу процедура адаптації прецеденту виконується до початку управління відповідним процесом. Це не дозволяє адаптувати процес управління та змінювати послідовність роботи процесів у разі виконання, особливо при доступі до загальних ресурсів.

Таким чином, проблема адаптивного управління бізнес-процесами є актуальною.

Аналіз досліджень і публікацій

Реалізація процесного управління виконується з використанням процесних інформаційних управляючих систем. Такі системи забезпечують підтримку послідовності дій процесу згідно з поточним станом предметної галузі та записують інформацію про виконання процесів у журналі реєстрації подій [5].

Сучасні методи та інструментальні засоби інтелектуального аналізу процесів (*process mining*) забезпечують можливість побудови прецедентних вирішень завдань у вигляді моделей відповідних бізнес-процесів. Такі моделі містять причинно-наслідкові зв'язки між подіями, що записані в журналі реєстрації подій інформаційної управляючої системи [5]. Методи *process mining* призначені для побудови дискретних моделей у

вигляді мереж Петрі, темпоральних логічних моделей тощо [5, 6]. Отримані методами аналізу моделі прецедентів бізнес-процесів визначають послідовність вирішення завдання, але не враховують взаємодію процесів та можливість використання ними загальних ресурсів, що може приводити до значних затримок у виконанні БП [7]. Це не дозволяє в рамках прецедентного підходу вирішити завдання управління множиною процесів за умови зміни складу елементів цієї множини. Тому питання адаптивного управління множиною процесів, як елементів прецедентів потребують подальшого розгляду.

Постановка завдання

Мета роботи — розробка методу адаптивного процесного управління на основі прецедентного підходу, що полягає у виборі подальших трас виконання набору бізнес-процесів на підприємстві при зміні складу цього набору: додавання нових процесів, завершення поточних.

Це дає можливість підвищити ефективність управління множиною бізнес-процесів шляхом включення нових бізнес-процесів до множини працюючих з урахуванням затримок у разі доступу до загальних ресурсів.

Для досягнення поставленої в роботі мети необхідно вирішити такі завдання:

- визначити головні особливості адаптивного управління сукупністю бізнес-процесів підприємства;

- розробити методи оцінки стану та адаптації бізнес-процесів як складової прецеденту;

- розробити метод адаптивного управління множиною бізнес-процесів з урахуванням змін у складі цієї множини.

Виклад основного матеріалу

З метою обґрунтування методу адаптивного управління визначаємо головні відмінності адаптивного управління.

Розрізняють три базових типи управління: розімкнуте; зі зворотним зв'язком; адаптивне. При розімкнутому управлінні алгоритм управління використовує апріорно заданий алгоритм поведінки об'єкту управління. Алгоритм розімкнутого управління не враховує зовнішні впливи і тому не коригується залежно від фактичного значення параметрів об'єкту управління.

Управління зі зворотним зв'язком передбачає зміну керуючих впливів залежно від керованої величини.

При адаптивному управлінні використовується модель об'єкту управління. За допомогою цієї моделі прогнозується результати поточного управління та виконується відповідна зміна управляючих дій.

Відповідно до поставленого завдання, об'єктом управління є сукупність бізнес-процесів, кожен з яких входить до складу прецеденту. Це означає, що для кожного процесу задана множина всіх відомих з практики можливих послідовностей вирішення відповідної функціонального завдання з урахуванням затримок в обслуговуванні. Кожен бізнес-процес характеризується послідовністю його реалізованих станів, а не параметрами продукції чи послуг, які виробляються цим процесом. Реалізована послідовність станів процесу обмежує можливі варіанти його подальшої поведінки, задаючи тим самим напрямок його подальшого виконання. Подальше управління у кожний дискретний момент часу полягає в виборі такої послідовності класів станів, що забезпечує досягнення цільового стану процесу.

Тому завдання адаптивного управління множиною БП потребує ідентифікації стану кожного процесу та подальшого віднесення цього стану до одного з апріорно заданих класів:

- стани БП, що не можуть бути використані при його подальшому виконанні;

- стани, які забезпечують досягнення цільового стану із затримками;

- стани бізнес-процесу, що забезпечують досягнення цільового стану без інтервалів затримки.

До першої групи відносять такі стани, що не забезпечують досягнення цільового стану процесу. В рамках прецедентного підходу це означає, що не на практиці ще не було таких послідовностей дій, що забезпечили б досягнення цільового стану з поточного. До другої групи належать стани, у яких у прецедентній моделі існують траєкторії досягнення результату бізнес-процесу. Однак на цих траєкторіях поряд з діями процесу існують інтервали затримки [7], що пов'язані з очікуванням ресурсів. До третьої групи відносять стани, у яких у моделі прецеденту існують шляхи досягнення цільового стану та не існує інтервалів затримки.

Таким чином, для реалізації адаптивного процесного управління необхідно виконати ряд попередніх дій з визначення стану бізнес-процесу та його подальшої адаптації з урахуванням цього стану.

Такі дії містять:

- спрощення прецедентної моделі процесу з урахуванням поточного стану БП;

- оцінку часу виконання (досягнення цільового стану) процесу відносно його поточного стану;

- адаптацію моделей сукупності процесів, що виконуються;

- інтеграцію моделей процесів, що виконуються на підприємстві.

Вказані дії реалізовані у вигляді методів, що будуть розглянуті у подальшому.

Вхідними даними цих методів є:

– журнали подій процесів — прецедентів, що були записані відповідною інформаційною системою;

– моделі процесів у складі прецедентів, що були отримані методами *processmining* [5, 6] з додаванням інтервалів виконання робіт процесу та інтервалів очікування ресурсів відповідно до запропонованого авторами підходу [7];

– перелік об'єктів (продукція, послуги), які виробляються бізнес-процесом.

Розглянемо методи, що виконують попередні дії для визначення стану та коригування моделей бізнес-процесів.

Метод спрощення прецедентної моделі призначений для видалення з моделі тих шляхів вирішення завдань, які не будуть використані в заданих умовах предметної галузі. Метод містить такі етапи.

Етап 1. Формування обмежень на новий процес.

На цьому етапі формуються обмеження у вигляді комбінацій властивостей об'єктів, що обробляються бізнес-процесом. Такі властивості записані в описі подій логу.

Етап 2. Коригування логу.

На даному етапі з поточної копії логу процесу видаляються всі траси, що не передбачають обробку об'єктів з заданого переліку.

Лог Π містить множину трас π_k :

$\Pi = \{\pi_k\}$, $k = \overline{1, K}$. У свою чергу, траса логу містить повну послідовність подій, що відображують повне одноразове виконання бізнес-процесу.

$$\pi_k = \langle E_k, \succ \rangle, E_k = \{e_{k,i}\};$$

$$\forall e_{k,i}, e_{k,j} \in E_k (e_{k,i} \succ e_{k,j}) \vee (e_{k,j} \succ e_{k,i}),$$

де π_k — k -траса процесу; E_k — множина подій на трасі процесу; $e_{k,i}$ — i -подія траси π_k ; \succ — відношення переходу; наявність відношення переходу \succ між двома подіями $e_{k,i}$ та $e_{k,j}$ означає, що між ними немає проміжних подій.

Вхідна множина властивостей об'єктів задається множиною пар $\{(a, v)\}$, де a — назва властивості; v — значення властивості.

Тоді критерій спрощення задається так:

$$\begin{aligned} \Pi^{simpl} &= \{\pi_k \mid \exists e_{k,i} = \\ &= \{(a^e, v^e)\} : \{(a^e, v^e)\} \cap \{(a, v)\} \neq \emptyset, \end{aligned}$$

де Π^{simpl} — спрощений лог процесу; a^e — назва однієї з властивостей події $e_{k,i}$; v^e — значення відповідної властивості.

Етап 3. Адаптація моделі процесу шляхом видалення таких шляхів вирішення завдань, які не відповідають отриманим на етапі 1 обмеженням. Модель процесу за результатами даного етапу повинна відповідати логу. Тому така адаптація виконується методами *processmining*.

Етап 4. Видалення інтервалів виконання дій та очікування, що не відповідають отриманим на етапі 3 моделі.

Наступний метод — **оцінка часу виконання**. Даний метод дає можливість перевірити виконання темпоральних обмежень для процесу, що виконується.

Метод містить у собі такі етапи:

Етап 1. Визначення підмножини можливих траєкторій досягнення кінцевого стану процесу вирішення завдань. Така траєкторія може бути знайдена у результаті аналізу вхідних даних (як логу, так і моделі).

Етап 2. Визначення часу досягнення фінального стану процесу з поточного стану для кожної траєкторії виконання процесу.

На цьому етапі визначають мінімальні та максимальні значення тривалості вирішення завдань.

При реалізації цього етапу використовують вхідні дані: лог процесу; інтервали очікування та виконання дій. Тривалість виконання становить суму інтервалів очікування та виконання дій процесу. Тривалість виконання обраховується по кожній трасі процесу. Альтернативний варіант реалізації етапу — обчислення тривалості виконання по міткам часу подій процесу.

Етап 3. Відбір підмножини варіантів вирішення завдань, для яких час завершення процесу не перевищує заданий поріг рівня.

Етап 4. Визначення сумарної тривалості інтервалів очікування для кожної з можливих траєкторій виконання процесу.

На даному етапі використовують вхідні дані: інтервали очікування, що пов'язані з подіями процесу.

Метод адаптації моделей сукупності процесів, що виконуються

Даний метод містить такі етапи.

Етап 1. Формування поточної моделі сукупності процесів, що виконуються.

На даному етапі виконується видалення з інтегральної моделі процесів вирішення завдань тих інтервалів, що уже були виконані.

Етап 2. Спрощення моделі сукупності процесів. На даному етапі відбувається уточнення поточної інтегральної моделі згідно методу адаптації. З поточної моделі додатково видаляються ті траєкторії, що не вже будуть виконані внаслідок вибору, що був зроблений протягом виконання процесу.

Етап 3. Оцінка часу виконання інтегральної моделі відповідно до наведеного методу оцінки.

На даному етапі виконується поточна оцінка, мінімального та максимального інтервалів часу, що залишилися до завершення роботи інтегральної моделі. Завершення передбачає кон'юнкцію результатів всіх процесів, що входять до цієї моделі:

$$ПР \equiv \bigvee_i ПР_i,$$

де $ПР_i$ — результат одного процесу, що відповідає досягненню його цільового стану.

Метод інтеграції моделей процесів призначений для доповнення існуючої сукупності процесів, що виконуються, новим процесом. Така потреба виникає, наприклад, при обробці нового заказу, сервісного обслуговування обладнання тощо. Метод містить такі етапи:

Етап 1. Оцінка часу виконання нового процесу відповідно до наведеного вище методу оцінки.

Етап 2. Пошук ідентичних ресурсних обмежень у обох процесів.

Такі обмеження позначені в журналі процесу у вигляді атрибутів — ресурсів, наприклад: обладнання, виконавець тощо.

Етап 3. Визначення часових інтервалів для використання спільних ресурсів. Якщо одні й ті самі ресурси використовують одночасно у темпоральному вимірі, то новий процес буде їх очікувати. Тобто поточна модель процесу, що додається, буде відрізнятись від реального процесу. Потрібно врахувати нові інтервали очікування. Сумарний час виконання нового процесу збільшиться на суму цих інтервалів очікування.

Етап 4. Уточнення часу виконання нового процесу.

На даному етапі до часу рішення задачі нового процесу додається сумарний час використання спільних ресурсів.

Етап 5. Перевірка часових обмежень для нового процесу.

Якщо новий процес з додатковими інтервалами очікування не задовольняє темпоральним обмеженням, то робота метода на цьому завершується.

Етап 6. Об'єднання моделей процесів на інтервалах очікування.

На даному етапі перед діями нового процесу, що потребують уже затребуваних ресурсів, додається інтервал очікування. Тривалість цього інтервалу становить різницю між моментом запиту ресурсів новим процесом та моментом їх звільнення інтегральним процесом, що виконується.

Метод адаптивного управління використовує наведені методи підготовки моделей процесів та містить такі етапи:

Етап 1. Адаптація моделі процесу методом.

Етап 2. Реалізація поточної дії одного з процесів, що виконуються.

На даному етапі реалізується лише та дія процесу, яка може бути виконана у даний дискретний момент часу відповідно до вхідної дискретної моделі. Після виконання дії фіксується стан процесу та предметної області.

Етап 3. Перевірка появи нового процесу для виконання.

Якщо до процесів, що виконуються, потрібно додати новий процес, то перейти до етапу 4.

В іншому випадку перейти до етапу 3.

Етап 4. Поєднання процесів методом інтеграції.

Етап 5. Якщо досягнуто всі поточні процеси виконано, тобто досягнуто всіх станів з множини цільових для всіх процесів, то метод завершує роботу. В іншому випадку перейти до етапу 2.

Висновки

Визначено головні відмінності адаптивного управління бізнес-процесами.

Запропоновано метод адаптивного процесного управління на основі прецедентного підходу, що містить такі етапи: адаптацію моделей процесів, що виконуються відповідно до їх поточних станів; поетапне виконання процесів, згідно заданих в моделі послідовності дій; додавання нового процесу до множини тих, що виконуються, з урахуванням затримок при доступі до загальних ресурсів.

На відміну від існуючих, метод реалізує управління множиною бізнес-процесів, що використовують спільні ресурси.

Склад цієї множини БП, що виконуються, може змінюватись. Наприклад, при обробці нових заказів до множини додаються нові процеси.

Метод дає можливість оцінити можливість виконання обмежень на час виконання існуючих процесів при додаванні нових процесів. Залежно від результатів оцінки новий процес може бути поданий на виконання або залишитись у стані очікування. Це надає можливість підвищити ефективність процесного управління сукупністю бізнес-процесів підприємства. У рамках адаптивного управління запропоновано групу допоміжних методів, що забезпечують коригування процесних моделей відповідно до потреб управління.

Такі методи призначені для виконання наступних допоміжних дій: спрощення прецедентної моделі процесу з урахуванням поточного стану БП; оцінку часу виконання (досягнення цільового стану) процесу відносно його поточного стану; адаптацію моделей сукупності процесів, що виконуються; інтеграція моделей процесів, що виконуються на підприємстві.

ЛІТЕРАТУРА

1. *Weske M.* Business Process Management: Concepts, Languages, Architectures / M. Weske — 2nd ed. — Presented at Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2012. — 403 p.
2. *Watson I.* Case-based reasoning is a methodology not a technology // Knowledge-based systems. — 1999. — № 12. — P. 303–308.
2. *Николайчук О. А.* Применение прецедентного подхода для автоматизированной идентификации технического состояния деталей механических систем / О. А. Николайчук, А. Ю. Юрин // Автоматизация и современные технологии. — 2009. — № 5. — С. 3–12.
3. *Aamodt A.* Case-Based Reasoning: Foundational issues, methodological variations, and system approaches / A. Aamodt, E. Plaza // AI Communications. — 1994. — N 7 (1). — P. 39–59.
4. *Люгер Д. Ф.* Искусственный интеллект: стратегии и методы решения сложных проблем / Д. Ф. Люгер — М. : Вильямс, 2003. — 864 с.
5. *Van der Aalst, W. M. P.* Process Mining: Discovery, Conformance and Enhancement of Business Processes / W. M. P. Van der Aalst. — Springer Berlin Heidelberg, 2011. — 352 p.
6. *Van der Aalst, W. M. P.* Process Mining in the Large: A Tutorial / W. M. P. Van der Aalst // Business Intelligence. — Springer Science + Business Media, 2014. — P. 33–76.
7. *Чалый С. Ф.* Выявление интервалов ожидания в бизнес-процессах на основе анализа последовательностей событий / С. С. Чалый, И. В. Левыкин // Технологический аудит и резервы производства, 2016. — № 5/2(31). — С. 71–76.

Стаття надійшла до редакції 24.11.2016