

УДК 004.82



И.В. Левыкин

ХНУРЭ, г. Харьков, Украина ihor.levykin@nure.ua

РАЗРАБОТКА ОБОБЩЕННОЙ МОДЕЛИ ПРОЦЕССА РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ С ИНТЕРВАЛЬНЫМ ПРЕДСТАВЛЕНИЕМ ВРЕМЕНИ

В статье предложена обобщённая модель процесса решения задачи как элемента прецедента. Модель охватывает уровни событийного, дискретного и интервального представления процесса. Предложенная модель обеспечивает возможность построения интервальной модели процесса путем дополнения дискретного уровня представления интервалами выполнения действий.

БИЗНЕС-ПРОЦЕСС, ИНТЕРВАЛ ОЖИДАНИЙ, ПРОЦЕССНОЕ УПРАВЛЕНИЕ

Введение

Общие модели представления, методы построения и корректировки прецедентов в рамках задачи процессного управления полиграфическим предприятием, а также интервальные операции на процессах являются теоретическим базисом для разработки методов и технологий построения и адаптации прецедентов бизнес-процессов управления полиграфическим производством [1,2].

Основное преимущество прецедентного подхода состоит в формализации и последующем использовании имеющегося практического опыта для построения прецедента - аналога решения таких классов задач, для которых применение традиционных аналитических методов сопряжено со значительными трудностями [3].

В процессно-ориентированных информационных системах каждая реализация бизнес-процесс (БП) записывается в виде последовательности событий в логе процесса. Поэтому при построении прецедента бизнес-процесса для данного класса задач целесообразно использовать методы интеллектуального анализа процессов [4,5].

Традиционные методы анализа логов направлены на построение событийной модели бизнес-процесса с жестко предопределенной последовательностью действий [6,9], а записанные в логах события отражают начало либо завершение действий в такой workflow – модели.

1. Постановка задачи

Целью данной работы является формализация взаимосвязей между структурными элементами каждого уровня, а также связей между уровнями описания процесса с последующей разработкой трехуровневой обобщенной модели бизнес-процесса решения задачи, включающая в себя событийное, дискретное и интервальное представления последовательности действий процесса.

2. Проблематика процессного управления полиграфическим производством

В данной статье рассматривается задача «разработка обобщенной модели процесса решения

задачи с интервальным представлением времени» процессного управления полиграфическим производством.

В то же время общая задача процессного управления полиграфическим производством включает в себя, помимо построения модели действий процесса, подзадачи выделения подпроцессов с учетом имеющихся ресурсов, поиска узких мест процесса и прогнозирования длительности его выполнения, а также адаптации процесса во времени его выполнения с учётом требований к вновь поступившим заказам.

При решении данных задач необходимо учитывать продолжительность как отдельных действий процесса, так и подпроцессов, и всего процесса в целом [10]. Продолжительность выполняемых процессом одинаковых действий может отличаться в различных реализациях процесса в зависимости от состояния внешней среды. Из этого следует, что для выявления узких мест и последующей оценки продолжительности выполнения БП необходимо использовать интервальную оценку времени выполнения действий процесса, а так же интервальные операции над событиями, записанными в его логе.

При построении модели каждого процесса необходимо учитывать его взаимодействие с другими выполняющимися БП. Иными словами, в качестве базовых составляющих внешней среды для текущего процесса в полиграфии являются остальные выполняющиеся бизнес-процессы.

Отличие бизнес-процессов полиграфического производства (БПП) состоит в необходимости обеспечения своевременного выполнения асинхронно поступающих и параллельно выполняющихся заказов. Поэтому необходимо в первую очередь рассматривать не отдельные процессы, а систему взаимодействующих процессов в целом.

Существует общее множество операций (действий, процедур процесса), которые используются различными производственными процессами и, возможно, в различной последовательности. Это означает, что каждый производственный процесс в

данной сфере использует подмножество из общего набора операций в зависимости от типа обрабатываемого объекта (книга, журнал, буклет и т.п.).

Аналогично адаптируются процессы планирования, административные, сервисного обслуживания. В зависимости от вида обрабатываемого объекта изменяется требуемый отбор показателей качества продукции и процесса, а также последовательность процедур процессов управления качеством.

Для реализации идентичных операций в различных процессах используется одно и то же или однотипное оборудование. Поэтому для БПП характерны специфические ресурсные ограничения: «узкие места» процесса не полностью зависят от его workflow – последовательности. Они могут возникать в различных местах процесса в зависимости от текущих заявок и имеющихся ресурсных ограничений (в первую очередь по полиграфическому оборудованию).

Иными словами, при априорном анализе модели лишь одного процесса до его запуска очень сложно выявить операции, при выполнении которых возникнет недостаток производственных мощностей. Они будут динамически меняться, проявляться в новых фрагментах БПП во время его выполнения в зависимости от текущей загрузки отдельных единиц оборудования и сроков выполнения заказов для одновременно выполняющихся процессов.

Таким образом, окружение каждого производственного процесса в полиграфии непосредственно влияет на эффективность использования ресурсов и, следовательно, возможность достижения целей процесса.

Локальные цели производственных процессов в полиграфии могут быть связаны со сроками поставки продукции и с ее качеством, снижением затрат и т.п. Однако в условиях конкуренции набор локальных целей обычно с одной глобальной - своевременной поставке продукции при и заданных ограничениях по качеству, затратам и времени.

Из изложенного выше можно сделать вывод, что динамически изменяющиеся ресурсные ограничения непосредственно влияют на достижение глобальной цели процесса, поскольку изменяется продолжительность отдельных его операций. Поэтому в рамках технологии производства последовательность действий БПП может быть частично изменена с тем, чтобы достичь цели процесса при текущих ограничениях на характеристики оборудования.

Следовательно, БПП целесообразно рассматривать как процессы с переменной длительностью и изменяемой последовательностью операций, действующих в окружении таких же процессов и

конкурирующие с ними за ресурсы во время выполнения.

Новые процессы могут запускаться одновременно с выполнением существующих БПП. При этом последовательность операции зависит от типа обрабатываемого объекта, а количество таких процессов на предприятии ограничено возможностью существующего оборудования.

Рассмотренные свойства бизнес-процессов полиграфического производства затрудняют применение как аналитических методов, так и методов имитационного моделирования при планировании совокупности БПП.

В связи с этим необходимы эффективные модели и методы, позволяющие практически в реальном времени оценить возможность достижения темпоральных целей процессов при пополнении портфеля заказов во время выполнения уже имеющихся БПП и, по результатам такой оценки, принять новый заказ (отказаться от заказа, изменить сроки заказа и т.п.).

Таким образом, общая проблематика процессного управления полиграфическим производством связана с несоответствием между существующими подходами к управлению бизнес-процессами и выявленными свойствами БПП, а именно:

- переменная длительность и изменяемая последовательностью операций процесса;
- функционирование набора процессов с однотипными операциями;
- динамически изменяющиеся «узкие места», связанные с ограничениями по оборудованию.

Указанные выше особенности БПП, то есть использование упорядоченных подмножеств операций из общего набора возможных операций полиграфического производства в зависимости от типа выпускаемой продукции требуют разработки модели процесса решения задачи с интервальным представлением времени.

3. Модель процесса решения задачи с интервальным представлением времени

При решении задач применения и корректировки прецедента-аналога, в особенности при параллельном решении нескольких однотипных задач с использованием одного прецедента возникает проблема оценки продолжительности решения функциональной задачи с тем, чтобы она удовлетворяла ограничениям предметной области. Для решения этой проблемы необходимо перейти от событийного описания процесса, а также моделей процесса с дискретным временем к моделям с интервальным представлением времени, содержащим оценку времени выполнения отдельных операций процесса.

На событийном уровне данный процесс представляется набором трасс, для каждой из которых заданы отношения перехода. Данное отношение обладает свойствами рефлексивности и транзитивности.

Следовательно, на любой трассе π_k задается отношение строгого порядка. Тогда трасса процесса определяется следующим образом.

Трасса процесса π_k представляет собой упорядоченное подмножество E_k множества событий E процесса решения задачи:

$$\begin{aligned} \pi_k &= \langle E_k, \succ \rangle, \\ E_k &= \{e_{k,i}\}, \\ \forall e_{k,i} \exists e_{k,i+1} \neq e_{k,i} : e_{k,i} \succ e_{k,i+1}, E_k &\subseteq E, i = \overline{1, I-1}. \end{aligned} \quad (1)$$

Для произвольной пары несовпадающих событий $e_{k,j}, e_{k,i}$ трассы π_k , связанных последовательностью переходов, будет выполняться отношение совершенного строгого порядка \gg :

$$\begin{aligned} \forall (e_{k,j} \neq e_{k,i}) \in \pi_k \\ (e_{k,i} \gg e_{k,j} | e_{k,i} \succ \dots \succ e_{k,j}) \vee (e_{k,j} \gg e_{k,i} | e_{k,j} \succ \dots \succ e_{k,i}), \end{aligned} \quad (2)$$

где \gg – транзитивное замыкание отношения перехода

Покажем, что транзитивное замыкание отношения перехода, является отношением строгого порядка.

Отношение \gg обладает свойствами транзитивности, антирефлексивности и асимметричности. Первые два свойства вытекают из свойств исходного отношения перехода \succ и выражения (2).

Третье свойство определяется на основе свойства антирефлексивности для отношения перехода. Действительно, $(e_{k,i} \succ e_{k,j}) \wedge (e_{k,j} \succ e_{k,i}) \Rightarrow e_{k,j} = e_{k,i}$, что противоречит (1).

Для любой пары неравных событий $(e_{k,i}, e_{k,j})$ либо i – событие будет предшествовать j – событию, либо наоборот, поскольку временные метки (и соответственно индексы) у них упорядочиваются по мере выполнения процесса:

$$\forall e_{k,i}, e_{k,j} \in \pi_k \quad e_{k,i} \gg e_{k,j} \vee e_{k,j} \gg e_{k,i}. \quad (3)$$

Следовательно, транзитивное замыкание отношения перехода определяется для любой пары событий на трассе π_k и представляет собой отношение совершенно строгого порядка.

Таким образом, на трассе π_k процесса решения задачи R заданы отношения строгого порядка \succ и совершенного строгого порядка \gg , т.е. π_k является дважды упорядоченным множеством:

$$\pi_k = \langle E_k, R \rangle, R = \{\succ, \gg\}, \quad (4)$$

где E_k – подмножество событий процесса, зафиксированных на трассе π_k .

Известно что исходный лог Π содержит набор трасс процесса, на которых могут возникать одни и те же события. Поэтому лог является частично упорядоченным множеством:

$$\Pi = \langle E, R \rangle, R = \{\succ, \gg, \geq\}, \quad (5)$$

где $E = \bigcup_k E_k$ – множество всех событий, которые зафиксированы на всех трассах лога.

Поскольку одни и те же события возникают на различных трассах лога в различные моменты времени, то на уровне лога такие события считаются различными, что не позволяет задать отношения строгого порядка на данном уровне описания процесса решения.

Действительно, лог обладает свойствами транзитивности, антисимметричности и рефлексивности. Первые два свойства относятся к отдельным трассам процесса. Свойство рефлексивности является очевидным для одной трассы и позволяет получить качественную модель путем сопоставления событий, зафиксировавших идентичные действия в различных трассах лога:

$$\forall \pi_k \exists e'_k \in \pi_k, e'_l \in \pi_l : e'_k = e'_l | \pi_k \neq \pi_l, \quad (6)$$

где $\pi_k, \pi_l \in \Pi$ – различные трассы лога.

Теперь формализуем условия перехода от событийного к качественному описанию процесса на основе использования дискретного времени и к количественному описанию на основе интервального времени.

При решении этой задачи необходимо выполнить согласование порядков событий на различных трассах лога. Для этого докажем однозначность отображения упорядоченной последовательности событий, а также последовательности интервалов, отражающих выполнение процесса на отрезок натурального ряда.

Представление процесса в дискретном времени на втором качественном уровне предлагаемой модели должно объединять все возможные последовательности решения задачи, которые возникают в силу следующих факторов:

- влияние окружающей среды, представленное в форме одного из альтернативных наборов ограничений $\bigwedge \Pi_{o,m,l}$;
- дополнительные ограничения на процесс, задающие один из альтернативных результатов решения задачи Π_s .

Поэтому представления процесса на втором уровне задается упорядоченным множеством:

$$P_{dis} = \langle E_{dis}, R \rangle, E_{dis} = \{e_{k,i} \mid \forall (k \neq l) e_{k,i} \neq e_{l,i}\},$$

$$R = \{\succ, \succcurlyeq, \succeq\}, \quad (7)$$

где E_{dis} – набор событий процесса, который получен из множества E исключением совпадающих событий из разных трасс π_k ; \succ – отношение перехода, которое связывает два последовательно возникших события; \succcurlyeq – транзитивное замыкание на отношении перехода; \succeq – отношение частичной упорядоченности по времени.

Отношение частичной упорядоченности по времени позволяет упорядочить события из разных трасс, которые не связаны между собой отношением перехода или отношением \succcurlyeq . Более детально данное отношение будет рассмотрено далее.

Таким образом, для того, чтобы построить представление процесса (7) из лога (5) необходимо определить отношение равенства событий из разных трасс.

При определении равенства событий учитываются их дополнительные атрибуты, в частности наименование связанного с событием действия и предшествующие события, так как с одним действием может быть связано несколько событий. Для того, чтобы можно было сопоставлять несколько событий, определим понятие интервала событий.

В наиболее простом случае продолжительность текущего действия процесса определяется через разность времени возникновения пары событий, фиксирующих окончание предыдущего и текущего действия.

Тогда каждая пара вида (предшествующее событие e_i , текущее событие e_j), фиксирующая завершение предшествующего i и текущего j – действия определяют интервал ее выполнения.

Сопоставление нескольких таких числовых последовательностей для одного процесса позволяет найти узкие места и выполнить адаптацию процесса.

Таким образом, интервальное представление должно содержать набор подмножеств упорядоченных интервалов событий.

$$P_{int} = \langle \{ \langle A, \{\succ, \succcurlyeq\} \rangle \}, \{ \succeq \} \rangle, \quad (8)$$

где A – подмножество интервалов, для которых задан строгий порядок выполнения действий процесса, определяемый отношениями \succ, \succcurlyeq ; $\{ \langle A, \{\succ, \succcurlyeq\} \rangle \}$ – множество подмножеств строго упорядоченных интервалов.

Каждое подмножество упорядоченных интервалов $\{ \langle A, \{\succ, \succcurlyeq\} \rangle \}$ представляет такую последовательность действий процесса, которая

удовлетворяет соответствующему набору ограничений внешней среды.

Адаптация процесса решения задачи на основе данной модели выполняется с использованием отношения нестрогого порядка между подмножествами упорядоченных интервалов.

На практике это означает следующее. Каждый упорядоченный фрагмент процесса представляется в виде последовательности соответствующих интервалам рациональных чисел (например, меток относительного времени). Фактически эти фрагменты представляют собой подпроцессы процесса решения задачи. При изменении ограничений предметной области указанные фрагменты могут быть смещены по временной линии с тем, чтобы получить требуемый результат процесса в установленные сроки.

Иными словами, предлагаемая модель позволяет адаптировать подпроцессы. на основе их выделения и последующего комбинирования. При адаптации искомого подпроцесса остальные выступают в роли структурных ограничений.

Преобразование уровней представления процесса решения основывается на обоснованных выше правилах перехода от последовательности событий и интервалов к числовым последовательностям. Обобщенная модель процесса решения охватывает уровни упорядоченных последовательностей событий (5), дискретного (7) и интервального (8) представлений, а также правила преобразований между уровнями:

$$P = (\Pi, P_{dis}, P_{int}, O), \quad (9)$$

где O – операции преобразования элементов различных уровней.

Выводы

Предложена трехуровневая модель процесса решения задачи как элемента прецедента. Модель охватывает уровни событийного, дискретного и интервального представления процесса.

На первом уровне процесс представляется в виде набора строго упорядоченных трасс, каждая из которых отражает однократное выполнение процесса в виде последовательности событий.

На втором уровне процесс представляется в виде частично упорядоченного множества, объединяющего события из различных трасс процесса. Подмножества событий лога, фиксирующие выполнение идентичных действий при одинаковых ограничениях предметной области реализованы в модели в виде одного события.

На третьем уровне модели процесс отображается моделью с интервальным представлением времени.

В практическом аспекте предложенная модель обеспечивает возможность построения интервальной модели процесса путем дополнения интервалами выполнения действий процесса дискретного уровня представления. Последний может быть получен с помощью существующих средств process mining. Интервалы действий процесса формируются на основе анализа событийного представления.

Список литературы:

1. Richter M. M. Case-Based Reasoning. A Textbook [Text] / Michael M. Richter, Rosina O. Weber // Springer. — 2013. — 546 p.
2. Kolodner J. Case-Based Reasoning [Text] / J. Kolodner // Magazin Kaufmann. San Mateo. 1993. — 386 p.
3. Carbonell, J.G. Learning by analogy: Formulating and generalizing plans from past experience. [Text] / R.S. Michalski, J.G. Carbonell, & T.M. Mitchell (Eds.) // Machine learning, an artificial intelligence approach (Vol. 1), Palo Alto, CA: Tioga Press. — 1983. — P. 137—162.
4. Van der Aalst W.M.P. Process Mining: Discovery, Conformance and Enhancement of Business Processes [Text] / W.M.P. Van der Aalst // Springer-Verlag, Berlin — 2011. — 352 p.
5. Чалый С.Ф. Разработка обобщенной процессной модели прецедента, метода его формирования и использования [Текст] / С.Ф. Чалый, И. В. Левыкин // Журнал управляющие системы и машины. — 2016. — №3 — С. 23—29.
6. Николайчук О.А. Прототип интеллектуальной системы для исследования технического состояния механических систем [Текст] / О.А. Николайчук, А.Ю. Юрин // Искусственный интеллект. — 2006. — №4 — С. 459—468.
7. Николайчук О.А. Применение прецедентного подхода для автоматизированной идентификации технического состояния деталей механических систем [Текст] / О.А. Николайчук., А.Ю. Юрин // Автоматизация и современные технологии. — 2009. — №5 — С. 3—12.
8. Берман А.Ф. Интеллектуальная система для анализа отказов сложных технических систем [Текст] / А.Ф. Берман, О.А. Николайчук, А.И. Павлов, М.А. Грищенко, А.Ю. Юрин // Труды Тринадцатой национальной конференции по искусственному интеллекту с международным участием КИИ-2012 (16-20 сентября 2012 г., г. Белгород, Россия): Труды конференции. — М.: Физматлит. — 2012. — Т.3. — С. 146— 154.
9. Aamodt A., Plaza E. Case-Based Reasoning: Foundational issues, methodological variations, and system approaches [Text] / A. Aamodt, E.Plaza // AI Communications. 1994. IOS Press, Vol.7:1, P. 39—59.
10. Van der Aalst W.M.P. Process Mining in the Large: A Tutorial. [Text] / W.M.P. Van der Aalst // In E. Zimnyi, editor, Business Intelligence (eBISS 2013), volume 172 of Lecture Notes in Business Information Processing, Springer-Verlag, Berlin, — 2014 — P. 33—76.

Поступила в редколлегию 03.11.2016