

С.Ф. Чалый, И.В. Левыкин

Разработка обобщенной процессной модели прецедента, метода его формирования и использования

Разработана общая модель прецедента, задающая с использованием процессного представления особенности его применения в конкретной предметной области. Рассмотрена последовательность применения прецедентного подхода к решению функциональных задач информационной системы, разработан метод формирования, выбора, корректировки, сохранения текущего и прецедента-аналога.

Розроблено узагальнену модель прецеденту, що задає особливості його застосування в конкретній предметній області за допомогою процесного опису. Розглянуто послідовність застосування прецедентного підходу до управління підприємством, розроблено метод формування, вибору, коригування, збереження поточного і прецеденту-аналога.

Введение. Процедура реализации различных по типу функциональных задач в зависимости от функциональности структурных подразделений (маркетинговых, производства, снабжения, сбыта и т.д.), а также от типа таких задач (структурированных, частично структурированных и неструктурированных) требует больших временных и материальных затрат по их постановке и реализации. Это связано с тем, что процесс решения задачи предусматривает, прежде всего, изучение особенностей предметной области, для которой необходимо получить решение, определить тип задачи, требуемые входные и выходные данные, разработать математическую модель, алгоритм и прикладную программу реализации. Для преодоления указанных трудностей используется прецедентный подход, основанный на использовании и адаптации существующих решений функциональных задач. Ключевой элемент прецедента – решение задачи, которая в рамках обозначенного множества функциональных задач представляется в форме последовательности взаимосвязанных действий. В связи с этим проблема построения модели прецедента на основе объединения существующих процессов решения задачи в заданных условиях предметной области актуальна.

Анализ исследований и публикаций

Научное направление, связанное с использованием ранее накопленного опыта при решении задач развивается уже несколько деся-

тилетий. Одной из первых была предложена модель организации памяти и предоставления знаний на основе прецедентного подхода *CBR* (*Case-based reasoning*) [1]. Основа такого подхода – применение аналогов проектных решений для реализации новых функциональных задач [2–5]. В рамках данного подхода прецедент рассматривается как структурированное представление накопленного опыта в виде данных и знаний, обеспечивающее его последующую обработку с использованием специализированных информационных систем [6]. Структурированное представление прецедента подразумевает наличие описания проблемы или задачи и совокупности действий, направленных на решение новой задачи или устранение проблемной ситуации [7, 8]. Однако сегодня не исследованы вопросы, связанные с разработкой общего подхода к построению прецедента для различных предметных областей на основе формализации процесса решения задачи в виде последовательности взаимосвязанных действий и отражающих их событий.

Постановка задачи

Цель статьи состоит в построении модели прецедента, которая включает в себя несколько возможных процессов решения задачи, связанных с получением локальных результатов, а также метода, обеспечивающего построение указанной модели. Это даст возможность адаптировать прецедент для новой задачи путем вы-

бора одного из возможных процессов решения или сочетания нескольких процессов, а также использовать технологию *process mining* (интеллектуального анализа процессов) при построении решения задачи в составе прецедента.

Представление характеристик в виде общей модели прецедента

Прецедент обладает следующими основными характеристиками [9], существенными с учетом построения общей процессной модели:

- прецедент представляет особое значение, привязанное к контексту, что позволяет использовать знания на прикладном уровне;
- прецеденты могут принимать различную форму (вид): охватывая разные по продолжительности промежутки времени; связывая решение с описанием проблем; результаты с ситуациями и т.д.;
- прецедент фиксирует только тот опыт, который может обучить (быть полезным), поэтому прецеденты могут помочь лицу, принимающему решение (ЛПР), достичь цели в решении задачи, проблемы или предупредить ее появление.

Таким образом, модель прецедента должна учитывать следующие элементы:

- контекст, отражающий существенные для задачи характеристики предметной области; иными словами, данные характеристики формируют ограничения на решение задачи;
- отражать последовательность решения задачи во времени;
- содержать весь опыт решения (т.е. все возможные процессы решения задачи);
- связывать полученный результат и процесс решения.

Учитывая характеристики прецедента, модель его структуры представим кортежем следующего вида:

$$M_{\Pi} = \langle N, \Pi_0, Z, P, \Pi \rangle, \quad (1)$$

где

N – уникальное, содержательное имя прецедента;

Π_0 – описание предметной области, в которой рассматривается применение прецедента; данное описание фактически задает ограничения на возможные способы решения задачи;

Z – описание проблемы либо функциональной задачи, для решения разработан прецедент;

P – множество описаний процессов решения задачи Z , которое может быть применено для реализации подобной задачи в будущем;

Π – полученный результат решения задачи (форма выходного документа).

Описание решения задачи P представляется в виде набора процессов P_i , которые уже были выполнены при решении задачи, входящей в состав прецедента:

$$P = \{P_i\}, \quad i = \overline{1, I}. \quad (2)$$

Каждый известный процесс решения P_i может быть представлен в виде последовательности событий, отражающих выполнение соответствующей последовательности действий, приведших к Π .

$$P_i = \langle E_k, f \rangle, \quad E_k = \{e_{k,i}\}, \quad f = \{>\}, \\ \forall e_{k,i} \exists e_{k,i+1} \neq e_{k,i} : e_{k,i} > e_{k,i+1}, \\ E_k \subseteq E, \quad i = \overline{1, I-1}, \quad (3)$$

где

E_k – множество событий, соответствующее однократной реализации процесса;

f – отношение перехода между событиями, которое соответствует выполнению действия в процессе решения задачи;

E – множество событий для всех имеющихся в составе прецедента процессов решения задачи.

Полученный полный результат решения задачи без привязки к предметной области, целесообразно рассматривать как логическую переменную: если результат достигнут, то значение Π – истинно, если же нет, тогда значение Π ложное. Однако успешное решение сложных практических задач обычно связано с достижением одного из близких (но отличающихся) ΠP_i , в зависимости от ограничений предметной области.

Тогда при обобщенном, логическом представлении Π его можно представить в виде дизъюнкции локальных результатов:

$$\Pi \equiv \bigvee_i \Pi P_i. \quad (4)$$

Каждый из таких результатов получается при реализации одного из возможных вариантов процесса решения задачи. Согласно выражению (4) в составе прецедента может существовать несколько вариантов решения задачи. Однако все варианты должны обеспечивать достижение одного и того же ПР (подразумевается логическое представление результата согласно (4)) для текущего прецедента. Поэтому формула P_i , формализующая один из возможных процессов решения задачи, будет истинна в модели M_n в момент времени t только в том случае, когда она обеспечивает достижение одного из возможных PP_i в один из моментов времени в будущем:

$$M_n | = P_i(t) \in P \text{ iff } F^+ PP_i, \quad (5)$$

где оператор F^+ задает истинность формулы PP_i в один из моментов в будущем от момента t ; данный момент в будущем достигается в результате выполнения непустой последовательности шагов процесса решения P_i .

Аналогично используем логическое представление предметной области. Описание предметной области в общем случае задает набор возможных подмножеств ограничений для рассматриваемой задачи: $По \equiv \bigvee_i По_i$. Решение задачи будем считать приемлемым, если удовлетворены все ограничения подмножества $По_i \equiv \bigwedge_j По_{ij}$.

Формально, результат решения задачи в составе прецедента в момент времени t будет истинным только при выполнении соответствующего подмножества ограничений предметной области:

$$M_n | = PP_i(t) \text{ iff } G^* По_i, \quad (6)$$

где оператор G^* задает истинность ограничений $По_i$ для всех моментов времени реализации процесса, включая текущий момент t ; каждый момент в будущем достигается в результате выполнения одного из шагов процесса решения P_i .

Задачу также, в целях обобщения, определим через набор условий z_k , необходимых для того,

чтобы можно было запустить процесс решения: $Z \equiv \bigwedge_k z_k$. Тогда описание проблемы (задачи)

корректно определено в составе прецедента только в том случае, если каждый процесс его решения P_i позволяет получить истинный результат PP_i при ограничениях $По_i$.

$$\forall i Z \rightarrow P_i \rightarrow PP_i | По_i. \quad (7)$$

Выражение (7) определяет взаимосвязь задачи, процесса решения, результата и ограничений предметной области в целом, без учета изменений внешней среды. Выбор прецедента осуществляется в конкретный момент времени, в который может выполняться лишь одно или несколько подмножеств ограничений. Тогда задача корректно определяется в момент времени t следующим образом:

$$M_n | = Z(t) \text{ iff } \exists P_i : F^+ PP_i | G^* По_i. \quad (8)$$

Приведенную общую модель аналога прецедента (8) можно детализовать: определить, для какой предметной области он может быть применен (маркетинг, производство и т.д.), для какого типа функциональных задач, какова сложность их решения и какой может быть получен результат.

Метод формирования, выбора, корректировки, сохранения текущего и прецедента аналога

Для того чтобы использовать прецедент как аналог, необходимо для решаемой конкретной задачи создать для нее модель нового прецедента M_n^h , затем, используя соответствующую процедуру, выбрать модель того аналога прецедента M_n^a , которая наиболее близка по описанию результатам модели нового прецедента.

Рассмотрим данный процесс выбора прецедента в виде схемы, представленной на (рис. 1).

Определим содержание каждого из элементов процесса в рамках прецедентного подхода.

Выполнение. Реализация задачи осуществляется в соответствии с поставленной целью и требованиями конечных пользователей к выходным результатам, представляемым в виде согласованного и утвержденного выходного документа или управляющего воздействия.

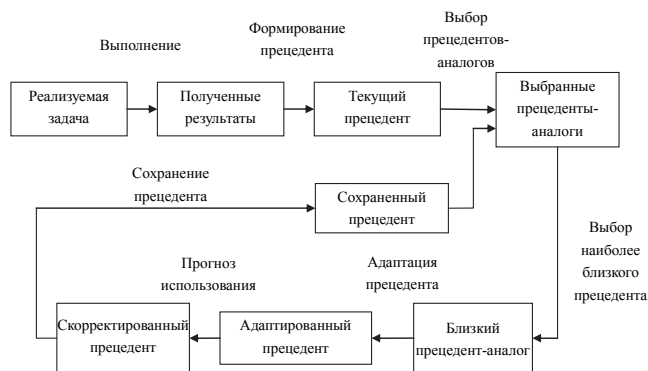


Рис. 1. Схема формирования и выбора прецедента

Формирование. По полученным результатам формируется модель текущего прецедента (M_n^m) в виде выражения (1) с описанием процедуры ее решения (P). Основной проблемой решения задачи есть получение результата в виде выходных данных, по которым определяются все необходимые входные данные, что регламентируется стандартом ГОСТ-34 в виде «Описания постановки задачи», в первом разделе которого определены: назначение задачи (планирования, учета, контроля, анализа или регулирования); режим ее решения; кому необходимы результаты; что будет получено по результатам ее решения. Кроме того, по результатам анализа процесса формирования выходных данных в зависимости от входных данных можно определить класс задач (структурированные, частично структурированные и неструктурированные), а следовательно, какие необходимо применять математические средства и методы для разработки их моделей (модели прямого счета, оптимизационные или искусственного интеллекта).

Выбор прецедентов-аналогов. Данный процесс начинается с анализа модели текущего прецедента, его назначения и определения тех прецедентов-аналогов, обеспечивающих решение задачи в той предметной области, к которой относится текущий прецедент. Степень их близости (подобие) в первую очередь определяется предметной областью и выходными результатами, естественно, что у прецедентов-аналогов она будет различной. Увеличение их количества ведет к повышению вероятности нахождения для текущего прецедента наиболее

подобного прецедента-аналога, но в то же время это усложняет формирование процедуры выбора, поэтому ЛПР должен находить соответствующий компромисс.

Выбор наиболее близкого прецедента. Для этого необходимы следующие метрики: евклидова метрика, мера сходства Хемминга, вероятностная мера сходства, мера сходства Роджерса–Танимото, манхэттенская метрика, расстояние Чебышева, метрики Брея–Кертинса, Жаккара и др. [10].

Адаптация прецедента. Выбранный прецедент-аналог может не в полной мере соответствовать текущему прецеденту, поэтому необходима соответствующая его адаптация, которая заключается фактически в изменении компонентов модели подобного к текущему прецедента. Эти изменения, прежде всего, связаны с корректировкой математической модели задачи, формой, содержанием выходных данных, программно-аппаратных средств или применяемых инструментальных средств и интерфейсов, связанных с разработкой соответствующих приложений.

Прогноз использования. Применение адаптированного прецедента для решения конкретной задачи не в полной мере может удовлетворить конечного пользователя по соответствующим результатам, поэтому осуществляется разработка вариантов модели, прогноза (оценки) соответствия адаптивного прецедента. Выбор того или иного варианта проводится ЛПР, исходя из его представления о замене текущего прецедента на прецедент-аналог.

Сохранение прецедента. Скорректированный прецедент должен быть сохранен, даже если решение не полностью удовлетворит конечного пользователя, так как это позволит избежать получения некорректных результатов, например, при сравнении альтернативных решений. Но сохранение всех прецедентов приводит к количественному их увеличению, что приводит к усложнению процессов выбора прецедентов.

Однако это связано, прежде всего, с применением прецедентов для соответствующей предметной области и варианты решений остаются за экспертами.

Реализация процессов формирования и выбора прецедентов связана с сохранением выходных данных, разработкой БД прецедентов, математических моделей выбора прецедентов их адаптации оценки, что требует создания подсистемы формирования, выбора и применения прецедентов информационно-аналитической системы.

Реализация процессов формирования, выбора и использования прецедентов, поддерживаемая подсистемой, представлена на рис. 2.



Рис. 2. Реализация процессов формирования, выбора и использования прецедентов

Как видно из приведенной схемы, данная подсистема поддерживает не только процессы формирования, выбора, но и использования прецедента в качестве управляющего воздействия, что фактически есть элементом адаптивного управления объектом, сравнения, выбора, так как на этапе прогнозирования и корректировки осуществляется изменение параметров модели прецедента-аналога.

При этом сформированные выходные и входные данные, прецеденты заносятся в БД информационной системы, что есть компонентом ее информационного комплекса, а процедуры выбора, корректировки, сравнения и прогнозирования последствий применения прецедента-аналога формируются в виде комплекса математических моделей, входящего в математический комплекс информационной системы.

Для практической реализации всех процессов получения скорректированного прецедента-аналога, используемого для управления объектом, необходима формализация в виде соответствующего метода, который в последующем будет реализован с использованием программного и технического комплексов.

Предлагаемый метод выбора, сравнения и корректировки прецедента-аналога представим в виде следующих этапов.

Этап 1. Формирование выходных данных, являющихся результатом решения функциональной задачи, в соответствии с постановкой задачи, разработанной конечным пользователем с применением стандарта «Описание постановки задачи», регламентирующего форму и содержание выходного документа или управляющего воздействия. В качестве исходных данных могут быть использованы логи процессов решения задачи.

Этап 2. Формирование модели текущего прецедента в соответствии с выражением (1) по постановке задачи и его сравнение в БД прецедентов. При построении модели прецедента используется процессный подход. Набор процессов решения задачи формируется методами *process mining*.

Этап 3. Выбор из БД нескольких прецедентов-аналогов, которые потенциально могут быть использованы для решения данной функциональной задачи. Такой обзор базируется на подобию моделей текущего и прецедента-аналога с использованием соответствующих метрик, выбор которых определяется типом решаемых задач.

Этап 4. Сравнение текущего и прецедента-аналога с определением необходимой адаптации, связанной с тем, что прецедент-аналог не может быть использован без корректировки его модели для решения конкретной функциональной задачи.

Этап 5. Прогнозирование повторного использования прецедента-аналога для получения требуемых выходных результатов по аналогии с моделью текущего прецедента. При получении отрицательных результатов для корректировки модели прецедента-аналога приме-

няется трансформационная адаптация, предусматривающая набор правил изменения параметров его модели или порождающая адаптация, требующая наличия автомата решателя обеспечивающего формализованное получение результата [11].

Этап 6. Применение и сохранение скорректированного прецедента-аналога предусматривает повторно использовать его для решения функциональной задачи с сохранением в БД прецедентов.

Использование элементов адаптации на этапе 5 фактически позволяет реализовать адаптивное управление объектом (рис. 2). Такое преимущество обосновывается особенностями адаптации: процесса изменения параметров и структуры сформированной системы в виде параметров модели функциональной задачи (модели скорректированного прецедента) на основе текущей информации в виде входных и выходных данных, отраженных в текущем прецеденте, с целью достижения определенного, оптимального состояния объекта управления (ОУ) при начальной неопределенности в изменяющихся условиях его работы.

Адаптивной считают систему (подсистему), которая может приспосабливаться к изменениям внутренних и внешних условий. Она сохраняет работоспособность при непредвиденных изменениях свойств ОУ, целей управления или окружающей среды путем смены алгоритма своего функционирования, программы поведения или поиска оптимальных состояний [12].

Исходя из специфики функционирования полиграфического предприятия, для реализации его адаптивного управления на основе прецедентов необходимо в рамках функциональности информационной системы (ИС) применять прецеденты-аналоги в различных ее подсистемах с возможностью корректировки моделей функциональных задач, входящих в математическое обеспечение системы.

Заключение. Предложена обобщенная процессная модель прецедента, включающая множество возможных процессов решения задачи, локальных результатов решения и набор ограничений предметной области. Каждый из про-

цессов представлен в виде последовательности событий, отражающих последовательность действий по получению результата решения задачи. Выбор одного из возможных процессов решения задачи определяется желаемым локальным результатом, а также ограничениями предметной области. В практическом плане предложенная модель позволяет выполнить адаптацию прецедента на основе отбора одного из процессов решения задачи.

Предложен метод формирования, выбора, корректировки, сохранения текущего и прецедента-аналога, основанный на процессном представлении решения и включающий этапы формирования исходных данных задач, построения модели прецедента, выбора, сравнения и адаптации прецедента-аналога. Метод позволяет сформировать решение задачи на основе использования технологии *process mining*, а также реализовать адаптивное управление с использованием атрибутов событий, отражающих процесс решения задачи.

1. *Schank R.C., Abelson R.P.* Scripts, Plans, Goals and Undestsnding. – Erlbaum – Hillsdale, N.J., US. – 1977. – 248 p.
2. *Riesbeck C.K., Schank R.* Inside Case-based Reasoning. – Erlbaum – Northvale, N.J. – 1989. – 448 p.
3. *Watson I.* Case-based reasoning is a methodology not a technology // Knowledge-based systems. – 1999. – № 12. – P. 303–308.
4. *Николайчук О.А., Юрин А.Ю.* Прототип интеллектуальной системы для исследования технического состояния механических систем // Искусственный интеллект. – 2005. – № 4. – С. 459–468.
5. *Николайчук О.А., Юрин А.Ю.* Применение прецедентного подхода для автоматизированной идентификации технического состояния деталей механических систем // Автоматизация и современные технологии. – 2009. – № 5. – С. 3–12.
6. *Интеллектуальная система для анализа отказов сложных технических систем / А.Ф. Берман, О.А. Николайчук, А.И. Павлов и др.* // Тр. Тринадцатой нац. конф. по искусственному интеллекту с международным участием КИИ-2012 (16–20 сент. 2012 г., Белгород, Россия): Тр. конф. – М.: Физматлит, 2012. – Т. 3. – С. 146–154.
7. *Aamodt A., Plaza E.* Case-Based Reasoning: Foundational issues, methodological variations, and system approaches // AI Communications. – 1994. – N 7 (1). – P. 39–59.

Окончание на стр. 42

8. Люгер Д.Ф. Искусственный интеллект: стратегии и методы решения сложных проблем. – М.: Вильямс, 2003. – 864 с.
9. Kolodner J. Case-Based Reasoning. – Magazin Kaufmann. San Mateo. – 1993. – 386 p.
10. Осинюв Г.С. Лекции по искусственному интеллекту. – М.: КРАСАНД. ИСА РАН, 2009. – 266 с.
11. Carbonell J.G. Learning by analogy: Formulating and generalizing plans from past experience / R.S. Michalski, T.M. Mitchell (Eds.) // Machine learning, an artificial intelligence approach. – Palo Alto, CA: Tioga Press., 1983. – 1. – P. 137–162.
12. Скурихин В.М., Забродский В.А., Копейченко Ю.В. Проектирование систем адаптивного управления производством. – Харьков: Вища шк., 1984. – 206 с.

Поступила 03.03.2016

E-mail: S_chaliy@mail.ru, igorlevy@rambler.ru

© С.Ф. Чалый, И.В. Левыкин, 2016

UDC 004.891.3

S.F. Chaliy, I.V. Levykin

The Development of a Generalized Process Model Case-Based Reasoning, the Method of its Formation and Use

The problem of modeling on the Case-Based reasoning in solving the functional tasks of information systems is considered. The Case-based reasoning modeling makes it possible to use knowledge and experience available to solve the current problems even in the case of some differences between the problem been solved and the current problem.

In using the knowledge on the issues available, arises the question of the model of case-based reasoning developing that should formalize the problem solution process as well as the method of model-building technique. The content of the case depends on the features of data domain that makes it difficult to build the generalized model. However, the problem solution for any study-case can be shown as the execution sequence, viz. a process. So, the purpose of this research is to generalize the case-study representation using a process approach.

The generalized model of the study-case including a set of possible processes for solving the problem, local results of solutions and restrictions in the data domain is proposed. Each process of the problem solving consists of a sequence of events that reflect the chain of actions that must be done to solve the task. Selection of the particular possible processes of the problem solution depends on the sub-product desired, as well as on the data domain restrictions. On the practical level, the proposed model makes it easy to adapt the study-case based on the problem solution selection.

Implementation of the process approach based on the proposed model of the case-base reasoning includes a number of successive steps providing method for forming the initial data, their selection and correction as well as saving the current prototype and study-case prototype.

The method allows to form the problem solution on the base of using mining technology to develop a process of the problem solution. Besides, it makes possible to implement an adaptive control using the event attributes.

