

## Модель поведения объектов, подверженных спонтанному изменению, в прецедентном подходе к управлению<sup>1</sup>

<sup>1,2</sup> В.Н. Юдин <yudin@ispras.ru>

<sup>1,3</sup> Л.Е. Карпов <mak@ispras.ru>

<sup>1</sup> *Институт системного программирования РАН, Россия, 109004, г. Москва, ул. А. Солженицына, д. 25.*

<sup>2</sup> *Московский областной научно-исследовательский клинический институт им. М.Ф. Владимирского, Россия, 129110, г. Москва, ул. Щепкина, д. 61/2*

<sup>3</sup> *Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Россия, 119991, г. Москва, Ленинские горы, д. 1.*

**Аннотация.** В рамках прецедентного подхода к управлению сложными объектами, не поддающимися формализации в виде математической модели, предложена модель поведения объектов, вовлеченных в влотекущие процессы и подверженных, казалось бы, внезапному спонтанному переходу в лавинообразный процесс. Для описания таких изменений вводится понятие сопутствующего класса, влияние которого можно трактовать как дополнительное управляющее воздействие по отношению к исходному классу, к которому принадлежал объект. Модель ориентирована прежде всего на медицину, где можно найти множество аналогов такого поведения.

**Ключевые слова:** сложные объекты, прецедентный подход к управлению, классы состояний, управляющее воздействие, влотекущие процессы, лавинообразный процесс.

**DOI:** 10.15514/ISPRAS-2016-28(4)-11

**Для цитирования:** В.Н. Юдин, Л.Е. Карпов. Модель поведения объектов, подверженных спонтанному изменению в прецедентном подходе к управлению. *Труды ИСП РАН*, том 28, вып. 4, 2016, стр. 183-192. DOI: 10.15514/ISPRAS-2016-28(4)-11

В настоящее время разработано множество различных программных систем поддержки принятия решений. Наиболее трудными для анализа и принятия решений являются ситуации, чьи характеристики не поддаются формализации,

<sup>1</sup> Работа поддержана грантами Российского фонда фундаментальных исследований № 15-01-02362-а и № 15-07-02355-а.

то есть выявлению основных действующих факторов и связей между ними. В силу недостаточности знаний об объекте и о среде, в которой он функционирует, получить точную модель поведения такого объекта не представляется возможным. Однако управление этими объектами представляет не меньший интерес и является не менее важным, чем управление хорошо формализуемыми объектами.

Вывод, основанный на прецедентах, – это метод принятия решений, в котором используются знания о предыдущих ситуациях или случаях (прецедентах). При таком выводе прецедент, если он признан схожим, является обоснованием решения. Подобная методика принятия решений моделирует человеческие рассуждения, на практике она применяется во многих областях человеческой деятельности, где взята на вооружение широким спектром всевозможных приложений, в том числе прикладными системами управления объектами, не поддающимися формализации. Рассматривая человеческий организм как объект управления, приходится констатировать, что современные методы формализации не позволяют описать его с помощью простой математической модели. Именно поэтому методы вывода по прецедентам для систем поддержки врачебных решений могут рассматриваться как весьма перспективные.

Исследовательская система, разрабатываемая в Институте системного программирования Российской академии наук с поддержкой со стороны Российского фонда фундаментальных исследований, предназначена для отработки методов прецедентного подхода к принятию решений. Система "Спутник Врача" – инсталляция, созданная основе на базе Московского областного клинического института им. Владимирского – предназначена для информационной поддержки врачебных решений в диагностике и выборе лечения.

Вывод по прецедентам – это поиск решения подобных проблемных ситуаций на основе прошлого опыта решения задач. Вместо того, чтобы искать решение каждый раз сначала, можно пытаться использовать решение, ранее принятое в сходной ситуации, возможно, адаптировав его к изменившейся ситуации текущего случая. После того, как текущий случай будет обработан, его можно внести в базу прецедентов вместе с принятым решением для возможного последующего использования.

Согласно [1]), прецедент включает:

1. Описание проблемы,
2. Решение проблемы,
3. Результат применения решения.

Подход, основанный на прецедентах, в наиболее общем виде состоит из следующих составляющих [2]:

1. Извлечение наиболее релевантных прецедентов для текущего случая из базы прецедентов
2. Адаптация выбранного решения для текущего случая, если это необходимо
3. Применение решения
4. Оценка применения (проверка корректности) решения
5. Сохранение случая (добавление текущего случая в базу прецедентов)

На основании проведенных исследований разрабатываемого математического аппарата и накопленной врачебной практики (см. [3-4]) был предложен подход к формализации понятия «лечение», рассматривая процесс лечения как продолжительный процесс управления таким сложным объектом, как человеческий организм, и трактуют процесс лечения как последовательность управляющих воздействий на организм больного.

В дальнейшем этот подход был распространен на другие виды процессов. «Классические» подходы к управлению объектами (см., например, [5]) строятся на предположении, что можно получить точную, аналитически заданную форму функциональной зависимости входных и выходных параметров системы управления. Современные требования к качеству управления сложными объектами в технике, экономике, экологии, медицине и других областях человеческой деятельности привели к тому, что во многих случаях методы классической теории управления, в частности, принятия решений, оказываются непригодными. В силу недостаточности знаний об объекте и среде, в которой он функционирует, получить точную модель поведения такого объекта затруднительно. Из-за сложности реальных объектов и неопределенности их функционирования, особенно заметные при попытках поддерживать врачебные решения, задача построения математической модели их поведения откладывается на долгое время. Однако управление такими объектами, относящимися ко второй их категории, не менее интересно и не менее важно, чем управление хорошо формализуемыми объектами.

Для управления такого рода объектами был предложен метод принятия решений, в котором вместо математической модели объекта доступна априорная информация о состояниях объекта управления, управляющих воздействиях на него и результатах воздействий, что соответствует прецедентному подходу. Предложенный подход является оригинальным и не используется в настоящее время, хотя его полезность стала ясна с самого начала творческого сотрудничества с практикующими врачами Московского областного научно-исследовательского клинического института (МОНКИ). Несмотря на то, что идея прецедентного управления во многих сферах человеческой деятельности лежит на поверхности, вместо нее используется вывод по правилам. Так обстоит дело и в медицинской литературе. Медицина -

прецедентная наука, тем не менее, все примеры врачебных решений строятся на правилах «если-то», в частности, на деревьях решений [6].

Предложенная организация управления существенно отличается от управления, выполняемого на основе прямых математических расчетов. Система управления должна обеспечить управление в условиях неполноты знаний, как самих объектов, так и результатов управляющих воздействий на эти объекты. Это требование приводит к тому, что система управления обязательно должна обладать способностью к внутренним изменениям, вызванным постепенным накоплением знаний об объектах в процессе управления.

Схематически любой шаг управления объектом можно представить в виде тройки составляющих: состояние объекта до воздействия, управляющее воздействие и состояние объекта после воздействия. В терминах вывода по прецедентам – это, соответственно, описание проблемы, решение и исход. Эту тройку будем называть «случаем». Совокупность таких случаев образует так называемую «базу прецедентов». Случаи, отражающие хронологию воздействий на отдельный объект, связываются в так называемую «цепь управляющих воздействий», вершины которой – состояния объекта, а дуги – управляющие воздействия.

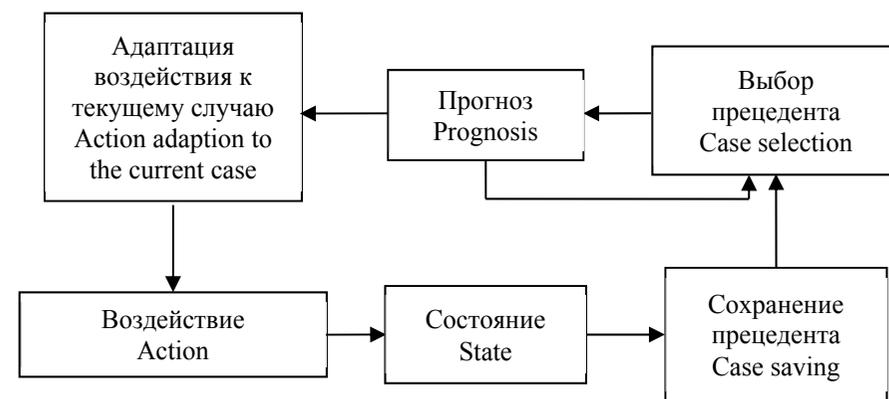


Рис. 1. Структурная схема управления по прецедентам.

Fig. 1. Case control scheme.

Если на основе априорной информации о предметной области удастся сформировать обобщенные образы – классы состояний, то управляющее воздействие можно рассматривать как отображение объекта из класса в класс (в частности, возможно отображение на тот же класс, то есть удержание объекта в том же классе). Понятие цели управления не всегда отождествляется с достижением конкретного состояния. Целью может быть управляемое поведение, учитывающее переходы объекта из одного класса состояний в

другой. Так, при лечении хронических заболеваний, задача восстановления больного органа – невыполнима. Тогда целью управления может стать замедление процесса дегенерации рабочей ткани. Поэтому, говоря о цели, имеется в виду не состояние, а оптимальное поведение объекта. Необходимо найти алгоритм управления, обеспечивающий достижение цели за конечное число управляющих воздействий.

Структура управления, где для прогноза вместо математической модели объекта используется накопленная база прецедентов, приведена на рис. 1.

При выборе воздействия нужно решить несколько задач:

- оценка состояния объекта до воздействия (отнесение его состояния к тому или иному классу) по его наблюдаемым признакам.
- отбор прецедентов со схожими состояниями,
- прогнозирование поведения объекта при воздействиях, которые заимствованы у этих прецедентов.
- окончательный выбор воздействия для перевода объекта в нужный класс.
- оценка состояния объекта в классе назначения.

При выборе воздействия из базы прецедентов выбираются воздействия, которые применялись к сходным состояниям. Соответствующий прецедент содержит воздействие, при помощи которого достигается нужный класс состояния.

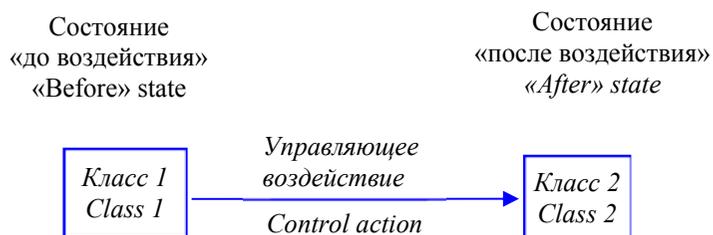


Рис. 2. Структура прецедента при управлении.

Fig. 2. Case structure in case control.

Оценка состояния объекта «до воздействия» – это сравнение его признаков с описаниями классов в базе прецедентов. Если некоторое подмножество признаков попадает в границы соответствующего класса, это говорит о возможной принадлежности состояния объекта к классу. В общем случае, можно выделить ряд таких подмножеств (не обязательно отдельных). Каждое из них может соответствовать либо одному классу, либо сразу нескольким

Отбор похожих состояний производится с помощью введенного ранее метода для оценки близости подобных объектов [3]. Оценка состояния «до

воздействия» производится в признаковом пространстве текущего состояния объекта. Соответствующая объекту точка сравнивается с расположением сформированных классов в проекции на пространство его признаков. Прецеденты, если таковые найдены, ранжируют по степени близости к текущему состоянию объекта.

При выборе воздействия из базы прецедентов выбираются те из них, что применялись к сходным состояниям. Соответствующий прецедент содержит воздействие, при помощи которого достигается нужный класс (рис. 3).

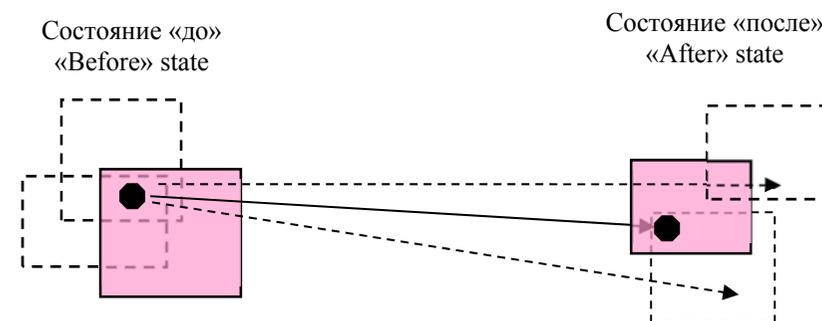


Рис. 3. Отбор прецедентов

Fig. 3. Case selection

В случае если найденный прецедент не полностью совпадает с текущим, должна выполняться адаптация решения – модификация воздействия, имеющегося в выбранном прецеденте. Невозможно выработать единый вариант для такой адаптации, так как это в большой степени зависит и от прикладной области, и также связано с большим разнообразием классов и типов воздействий в такой области, как медицина. Если существуют алгоритмы адаптации, они обычно предполагают наличие зависимости между начальными состояниями прецедентов и содержащимися в них воздействиями. Такие зависимости могут задаваться человеком при построении базы прецедентов или обнаруживаться в базе автоматически методами добычи данных.

Идентификация состояния объекта в классе назначения производится аналогично, в пространстве признаков текущего случая. Задача идентификации объекта в классе до воздействия не является типичной для каждого шага управления. Еще до первого воздействия нужно определиться с принадлежностью объекта, выявив все необходимые дополнительные признаки, возможно, потратив на это дополнительные ресурсы, иначе управление теряет смысл. Принадлежность объекта тому или иному классу после воздействия уже предсказуема, и, как правило, отслеживается по одному или нескольким признакам, которые являются информативными для данного класса.

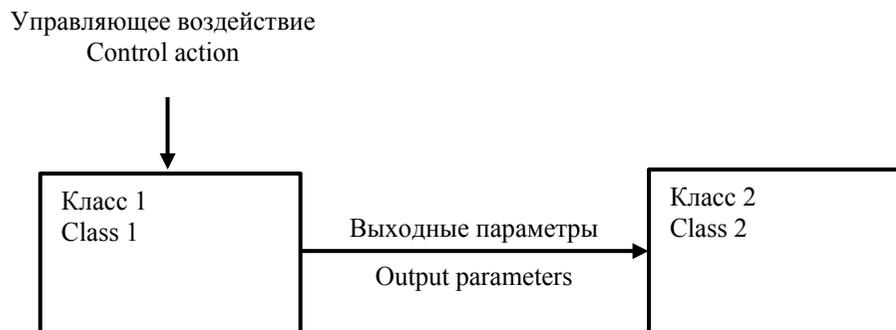


Рис. 4. Управляющее воздействие, переводящее объект в новое состояние  
Fig. 4. Control action, and changing object state.

Необходимость адекватно описывать изменения в поведении объекта, желание формализовать это поведение приводит к модификации классической схемы работы с прецедентами. Конечно, в главном общая схема управления объектом сохраняется, однако, для стандартного процесса обработки прецедента, в котором управляющее воздействие (как составляющая прецедента) переводит его из одного класса состояний в другой (в частности, оставляет в том же классе) (рис. 4), введено понятие сопутствующего класса, подобно сопутствующему заболеванию в медицине.

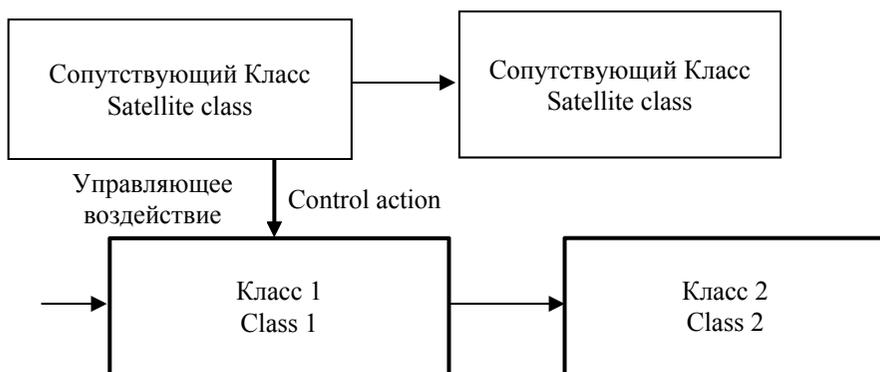


Рис. 5. Влияние сопутствующего класса состояний на исходный.  
Fig. 5. Satellite state class influence onto the initial class.

В процесс, характеризующийся нахождением объекта в исходном классе состояний, добавляется еще один появившийся класс (рис. 5). Наличие сопутствующего класса является своего рода управляющим воздействием на

объект в исходном классе. Это приводит к резкому, теперь уже не спонтанному, изменению поведения объекта. При этом причинами появления сопутствующего класса могут самые разные явления: как подспудно возникающие внутри исходного класса, так и возникшие вследствие каких-то внешних воздействий. Эти причины должны стать предметом дальнейших исследований.

Предложенная схема позволяет адекватно описать существенное, изначально представляемое как спонтанное, изменение в поведении объекта, которое до этого можно было описать как вялотекущее, и формализовать это поведение.

Исходящие стрелки на рис. 5 указывают направление передачи параметров описываемого состояния от предыдущего воздействия. Значения этих параметров, даже при отсутствии воздействия извне, также являются своего рода управляющим воздействием. Можно проиллюстрировать сказанное следующим примером из медицины: вялотекущий процесс угасания почечного трансплантата вдруг переходит в лавинообразный процесс, за несколько месяцев приводящий к полной потере его функции. Причиной служит появление сопутствующего заболевания – инфаркта миокарда, следствием которого оказывается резкое снижение кровотока в организме. Сопутствующее заболевание и его следствие оказываются при этом управляющим воздействием на трансплантат: снижение кровотока приводит к снижению функции органа, что, в свою очередь, влияет на работу других органов, и через положительную обратную связь подталкивает процесс угасания. Можно привести множество других примеров из медицины, когда элементарная простуда вызывает обострение соматических заболеваний. Однако эти примеры легко найти и в других прикладных областях.

Структура прецедента при такой схеме не претерпевает больших изменений. В базе прецедентов, заполненной как реальными, так и смоделированными случаями, должен храниться случай, когда на исходный класс оказывается воздействие, аналогичное тому, что оказывает сопутствующий класс. Тогда поведение, ранее считавшееся спонтанным, уже можно прогнозировать.

Сопутствующий класс может развиваться по своим правилам. Как результат – его воздействие на состояние в этом же классе (иными словами, развитие сопутствующего заболевания).

## Список литературы

- [1]. Klaus-Dieter Althof, Eric Auriol, Ralph Barlette, and Michel Manago. A Review of Industrial Case-Based Reasoning Tools. AI Intelligence, 1995.
- [2]. Agnar Aamodt and Enric Plaza. Case-based reasoning: Foundational issues, methodological variations, and system approaches. AI Communications, 7(1):39-59, 1994.
- [3]. Valery Yudin, Leonid Karpov. "The Case-Based Software System for Physician's Decision Support". Sami Khari, Lenka Lhotska, Nadia Pisanti (eds.), "Information Technology in Bio- and Medical Informatics, ITBAM 2010", Proc. of the First

- International Conference, Bilbao, Spain. Lecture Notes in Computer Science Sublibrary: SL 3, Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, 2010, pp. 78-85. ISSN 0302-9743.
- [4]. А. В. Ватазин, Л. Е. Карпов, В. Н. Юдин. Процесс лечения как адаптивное управление человеческим организмом в программной системе "Спутник врача". Альманах клинической медицины, т. 17, ч. 1, 2008, стр. 262-265.
- [5]. Я. З. Цыпкин. Адаптация и обучение в автоматических системах. М.: Наука, 1968.
- [6]. Hillary Don. Decision making in critical care. University of California School of Medicine San Francisco, California, B. C. Decker Inc., The C. V. Mosby company, 1985, есть русский перевод: Х. Дон. Принятие решения в интенсивной терапии, М., Медицина, 1995, 224 с., ISBN 5-225-00489-X, ISBN 0-941158-35-7.

## Model of spontaneously changing object behavior in case control approach

<sup>1,2</sup> V.N. Yudin <yudin@ispras.ru>

<sup>1,3</sup> L.E. Karpov <mak@ispras.ru>

<sup>1</sup> Institute for System Programming of the Russian Academy of Sciences,  
25, Alexander Solzhenitsyn str., Moscow, 109004, Russia.

<sup>2</sup> M.F. Vladimirsky Moscow Regional Science Research Clinical Institute, 61/2,  
Shchepkina str., Moscow, 129110, Russia

<sup>3</sup> Lomonosov Moscow State University,  
GSP-1, Leninskie Gory, Moscow, 119991, Russia

**Abstract.** As a further development of case-based approach to complex object control with objects that cannot be formalized by mathematical model, authors offer new object behavior model. This model deals with objects that are involved in low-intensity processes, and then suddenly (as it seems) and spontaneously are changing their states in avalanche-like manner. To describe such changes a new conception of satellite class is introduced. The influence of satellite classes may be treated as an additional control action that effects on the class to which the object belonged. This model is firstly oriented on medicine applications where one can find many examples of the similar behavior.

**Keywords:** complex objects, case-based object control, classes of states, control action, low-intensity process, avalanche-like process.

**DOI:** 10.15514/ISPRAS-2016-28(4)-11

**For citation:** Yudin V.N., Karpov L. E. Model of spontaneously changing object behavior in case control approach. *Trudy ISP RAN /Proc. ISP RAS*, 2016, vol. 28, issue 4, pp. 183-192 (in Russian). DOI: 10.15514/ISPRAS-2016-28(4)-11

## References

- [1]. Klaus-Dieter Althof, Eric Auriol, Ralph Barlette, and Michel Manago. A Review of Industrial Case-Based Reasoning Tools. AI Intelligence, 1995.

- [2]. Agnar Aamodt and Enric Plaza. Case-based reasoning: Foundational issues, methodological variations, and system approaches. AI Communications, 7(1):39-59, 1994.
- [3]. Valery. Yudin, Leonid Karpov. "The Case-Based Software System for Physician's Decision Support". Sami Khari, Lenka Lhotska, Nadia Pisanti (eds.), "Information Technology in Bio- and Medical Informatics, ITBAM 2010", Proc. of the First International Conference, Bilbao, Spain. Lecture Notes in Computer Science Sublibrary: SL 3, Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, 2010, pp. 78-85. ISSN 0302-9743.
- [4]. Yudin V. N., Karpov L. E., Vatazin A. V. Protsess lecheniya kak adaptivnoe upravlenie chelovecheskim organizmom v programmnoy sisteme «Sputnik vracha» [Cure process as an adaptive control of human organism in software system "Physician's Partner"]. Almanah klinicheskoy meditsiny [Almanac of Clinical Medicine], Moscow, 2008, v. 17, part 1, pp. 262-265, ISSN 2072-0505 (in Russian).
- [5]. J. Z. Tsyppkin. Adaptatsya i obuchenie v avtomatichieskykh sistemakh [Adaptation and learning in automate systems]. Moscow, Nauka, 1968 (in Russian).
- [6]. Hillary Don. Decision making in critical care. University of California School of Medicine San Francisco, California, B. C. Decker Inc., The C. V. Mosby company, 1985, ISBN 5-225-00489-X, ISBN 0-941158-35-7.