

МНОГОПАРАМЕТРИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ СЛОЖНЫМ ОБЪЕКТОМ В ПРОГРАММНОЙ СИСТЕМЕ ПОДДЕРЖКИ РЕШЕНИЙ

Л.Е. Карпов, А.Н. Томилин, В.Н. Юдин

Построение системы управления, основанной на учете сразу многих видов внешних воздействий, не сводится к простому построению нескольких систем, совместно решающих общую задачу. Влияние внешних факторов может оказаться взаимозависимым, и даже противоречивым. Другим аспектом, усложняющим построение многопараметрических систем управления, является отсутствие возможности связать с каждым элементарным внешним воздействием ровно один параметр внутреннего состояния системы, на которой это воздействие осуществляется. Остается и даже увеличивается та часть проблем построения систем управления, которая связана со сложностью формализации внешних воздействий и состояний управляемого объекта.

Ведущаяся в Институте системного программирования РАН (ИСП РАН) при поддержке Российского Фонда фундаментальных исследований по проектам № 09-01-00351 и № 09-07-00191 разработка программной системы поддержки решений связана с решением задачи многопараметрического управления объектом со сложным взаимным влиянием воздействий, для которого трудно или невозможно получить точную модель поведения [1,2,3]. В ней предлагается подход к математической формализации понятия «управление» на основе теории принятия решений, методов добычи данных (Data Mining) и вывода на основе прецедентов (Case Base Reasoning). Задача новой системы состоит в том, чтобы дать возможность адекватно учитывать многочисленные внешние воздействия, влияющие на разные параметры состояния объекта управления со сложным, непараметризуемым поведением.

Одна из наиболее простых стратегий управления – реагировать на события по мере их появления – носит название «замкнутого управления», или управления с обратной связью, при котором предполагается возможность изменять управление в зависимости от его воздействия на конечный результат.

«Адаптивное управление» отличается от замкнутого наличием модели управляемого объекта (рис. 1), в которой анализируются возможные последствия управления (прогноз). Правильная реакция возможна лишь при наличии формализованного описания, которое называют «математической моделью» объекта, адекватно отображающей среду функционирования и сам объект управления.

При попытках управления объектами, для которых не удаётся построить адекватную математическую модель, возникает ситуация, принципиально отличающаяся от «классической». Для такого сложного объекта, как, например, человеческий организм, невозможно получить точную модель поведения. В таких ситуациях вместо математической модели объекта доступна априорная информация о его состояниях, управляющих воздействиях и результатах воздействий.

Схематически любой шаг управления объектом можно представить как совокупность трех элементов (рис. 2) – состояние объекта до воздействия (c_i), управляющее воздействие (e_i) и состояние объекта после воздействия (c_{i+1}). В терминах вывода по прецедентам [4] – это, соответственно, описание проблемы, решение и исход. Эту тройку обычно называют «прецедентом», или «случаем».

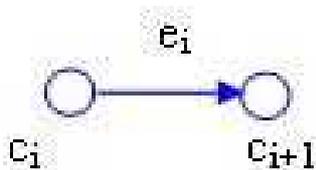


Рис. 2. Элементарный шаг процесса управления

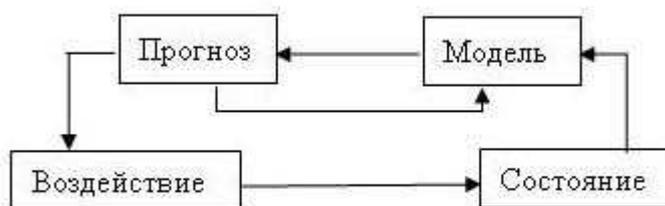


Рис. 1. Структура адаптивного управления

Тогда структура адаптивного управления, где для прогноза вместо математической модели объекта используется накопленная «база прецедентов», будет выглядеть, как на рис. 3.

Состояние объекта описывается набором признаков, причем допускаются как числовые, так и логические признаки. Управляющие воздействия, в зависимости от конкретного приложения, могут иметь разный формат, вплоть до описаний в виде текстового комментария. В технике внешние воздействия могут проявляться, например, в изменениях параметров внешней среды – атмосферного давления, влажности воздуха, его прозрачности и так далее. В медицине воздействие может быть элементом проведенного лечения, например, в качестве воздействия могут восприниматься прием лекарственных средств, выполненные процедуры, а также оперативное вмешательство.

Случаи, отражающие всю хронологию воздействий на объект, связываются в так называемую «цепь управляющих воздействий». Эту последовательность состояний и воздействий можно представить в виде цепи,

вершины которой – состояния объекта, а дуги – управляющие воздействия. Именно эта совокупность состояний и воздействий по всем объектам и образует так называемую «базу прецедентов».

Значительная часть подходов к управлению, в частности, управление физическими объектами, строится на предположении о жёсткой взаимосвязи отдельных входных воздействий на управляемые объекты с отдельными параметрами состояний этих объектов.

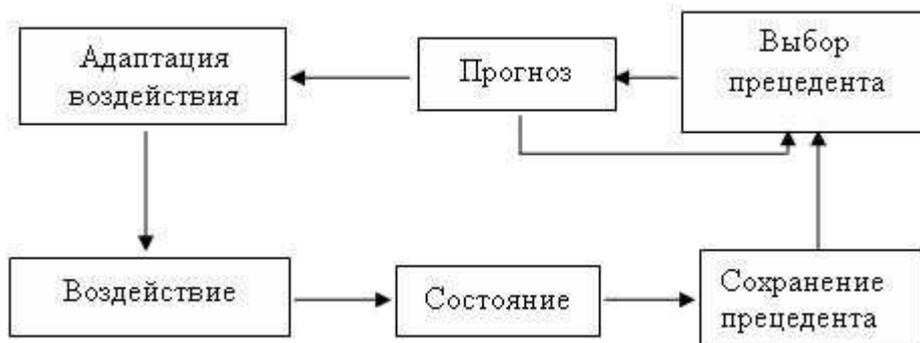


Рис. 3. Схема адаптивного управления по прецедентам

Особенностью разрабатываемой системы является способность адекватно учитывать многопараметрические внешние воздействия на объект управления со сложным взаимным влиянием воздействий. Система должна позволить управлять объектом в условиях совмещения ряда, возможно, противоречащих, воздействий. Выбор воздействий осуществляется по прецедентам. Чем больше прецедентов в базе, тем больше спектр их возможных значений, тем выше вероятность найти «наиболее подходящий» прецедент и выше качество принимаемого решения.

Основная проблема в любом выводе, основанном на прецедентах, – выбор наиболее подходящих прецедентов, который упирается в оценку схожести прецедента и текущего случая. Выбор прецедентов связан с выбором параметров состояния объекта управления, которые могут быть разными в разных системах управления, однако он связан также не только с выбором набора (номенклатуры) воздействий, которые могут иметь объективный характер, но и с определением некоторых их параметров, например, силы воздействия, дозы лекарства и т. д. При отборе прецедентов можно использовать предварительно накопленные знания о предметной области. В ситуации, когда известных параметров объекта и окружающей среды недостаточно для полного и однозначного определения его поведения, принимать решение о нужном на очередном шаге управляющем воздействии на объект, зная только его параметры, нельзя. Знание поведения объекта будет полнее и точнее, когда управление осуществляется не по измеряемым извне параметрам его поведения, а по его состояниям. Если на основе априорной информации удастся сформировать обобщенные образы – классы состояний, когда реакция объекта, находящегося в состоянии, принадлежащего любому такому классу, известна, то управляющее воздействие можно рассматривать как отображение объекта управления из одного класса в другой. Именно поэтому состояния объектов разбиваются на классы, состояния в каждом из которых настолько близки друг другу, что рассматриваются с точки зрения управления как эквивалентные.

Цель управления – достижение нужного состояния объекта. Как начальное, так и конечное состояния описываются входением в соответствующие классы. Цель отдельного шага управления – перевод объекта из текущего класса в требуемый класс (в частности, целью может быть удержание состояния в том же классе). Для достижения этой цели необходимо, основываясь на состоянии объекта, выбирать наиболее приемлемое из возможных управляющее воздействие. Для прогноза вместо математической модели объекта используется накопленная ранее база прецедентов.

Состояние объекта представляется набором признаков. Позиционирование состояния объекта до воздействия по отношению к описанным классам производится в его признаковом пространстве. Соответствующая объекту точка сравнивается с расположением классов в проекции на пространство его признаков. Недостаточно полно описанные объекты могут неоднозначно позиционироваться, то есть попадать в область пересечения классов, один из которых – исходный.

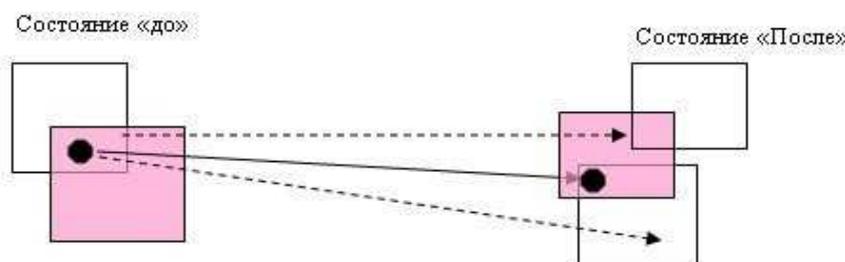


Рис. 4. Отбор прецедентов

На следующем шаге процесса управления выбираются воздействия, которые уже когда-то применялись к сходным состояниям, и сравниваются состояния «после воздействия» в

том же пространстве признаков. Прецеденты, в которых достигается нужный класс, считаются наиболее предпочтительными (рис. 4).

При отборе могут встретиться случаи, наборы признаков которых в начальном состоянии совпадают, но для которых одно и то же воздействие приводит к разным конечным состояниям (рис. 5). Наличие таких случаев в одной базе прецедентов связано с тем, что иногда состояние объекта описывается недостаточно полно, то есть в этих случаях присутствует неучтенный разделяющий признак. Если бы этот признак был учтен, исходные состояния при занесении их в базу прецедентов трактовались бы как разные. По этой же причине для не полностью описанных случаев невозможно гарантировать, что воздействие, заимствованное у прецедента, приведет в нужное состояние.

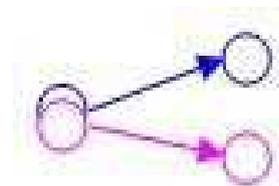


Рис. 5. Совпадение состояний из-за неполноты описания случая

В реальности объект управления рассматривается как одиночный. При этом воздействие на этот объект может быть представлено в виде ряда составляющих по разным признакам или группам признаков (параметров состояния), по которым осуществляется контроль и управление. Значительная часть подходов к управлению, в частности, управление физическими объектами, строится на предположении о независимости воздействий по каждому такому признаку. Это позволяет рассматривать управление по каждому признаку отдельно. В такой трактовке воздействия, влияющие на какой-либо один параметр состояния, никак не влияют на другие параметры.

В условиях независимости воздействий по каждому параметру управление объектом удобнее рассматривать в виде нескольких непересекающихся цепей. Наличие нескольких цепей управления есть лишь определенная абстракция, в действительности же существует одна многопараметрическая цепь состояний и воздействий, а рассмотрению на самом деле подлежит один сложный объект.

Такое разделение удобно и оправданно, например, в медицине исторически сложилось, что врач определенной специализации контролирует определенный набор признаков, наиболее характерных для своей (хорошо им изученной) группы заболеваний.

Но условие независимости воздействий не всегда выполнимо. Для человеческого организма с его сложными внутренними связями и большими компенсаторными возможностями воздействие по одному признаку может проявляться через другие признаки. И тогда, чтобы компенсировать эффект первого воздействия, приходится применять дополнительные воздействия по другим группам признаков. Иногда влияние подобных воздействий носит взаимозависимый, и даже взаимоисключающий характер, например, необходимость проведения иммуносупрессивной терапии при пересадке органов в неблагоприятном эпидемиологическом окружении, когда велик риск развития вирусных инфекций или туберкулеза.

Можно представить различные виды взаимного влияния воздействий, такое влияние чаще всего непараметризуемо. Рассмотрим схематически состояние объекта по двум группам признаков, по которым осуществляется отдельный контроль. Обозначим через c_{11} начальное состояние объекта по первой группе, c_{21} – по второй. Предположим, воздействие e_1 переводит объект в состояние c_{12} , оно же приводит к изменению состояния объекта в c_{22} . На схеме это можно обозначить как дополнительное воздействие от c_{21} к c_{22} (рис. 6a), либо как разветвленное воздействие от c_{11} к c_{22} (рис. 6b). И, наконец, возможны взаимные влияния по обеим цепям (рис. 6c).

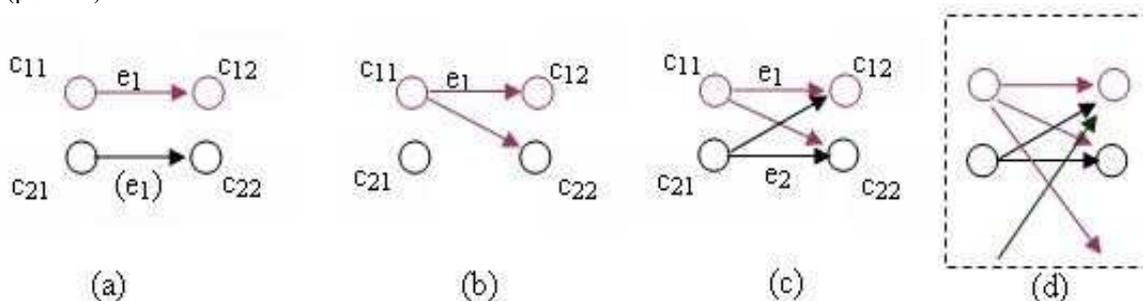


Рис. 6. Взаимное влияние различных воздействий на один объект

Наличие точки ветвления говорит о том, что управляющее воздействие привело к необходимости оценивать состояние объекта по двум цепям. Возможны и более сложные примеры взаимных влияний воздействий по разным цепям (рис. 6d). В общем случае, прецедентом будет одномоментная совокупность состояний объекта до воздействия, вся совокупность воздействий плюс совокупность состояний после множественного воздействия по всем группам признаков.

При наличии нескольких цепей управления задача выбора воздействия предполагает одновременное решение нескольких подзадач, аналогичных той, что приведена на рис. 4. Среди возможных решений проблемы – выбор уровня воздействия (в зависимости от состояния объекта, воздействие может лежать в допустимых или кризисных границах) и/или расширение признакового пространства (иногда дополнительный признак позволяет понять причину реакции на то или иное воздействие).

Хороший прогноз воздействия, особенно многофакторного, возможен только при наличии в базе достаточного числа прецедентов, покрывающих весь спектр возможных взаимовлияний. В ней может содержаться или отсутствовать информация о влиянии на какие-либо группы признаков, о взаимном влиянии воздействий. Отсутствие в базе сведений о влиянии каких-либо воздействий на состояние объекта управления не обязательно означает отсутствие влияния этих воздействий на объект. Оно всего лишь означает, что в базе прецедентов не накоплена соответствующая информация. Отсутствие прецедента может привести к тому, что при выборе воздействия придется руководствоваться случайными критериями, или просто прекращать управление до тех пор, пока объект самопроизвольно не перейдет в состояние, для которого прецедент будет обнаружен. В результате управление превращается из адаптивного – в замкнутое, или управление без прогноза.

Негативный эффект воздействия по одной группе параметров на другую можно иногда предотвратить упреждающими воздействиями, даваемыми независимо по второй группе, если известно, что обратного влияния на первую эти воздействия не имеют. Тогда можно воспользоваться прецедентами из базы, отражающими влияние каждого из этих воздействий в отдельности.

Поиск оптимального воздействия при выборе многофакторного воздействия – задача сложная, недостаточно формализованная и сильно зависящая от предметной области, особенно внутри такой области, как медицина. Поэтому на данном этапе она оставлена человеку, являющемуся экспертом в предметной области.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Карпов Л. Е., Юдин В. Н. Адаптивное управление по прецедентам, основанное на классификации состояний управляемых объектов // Труды Института Системного Программирования РАН, т. 13, ч.2. М., 2007, стр. 37-57.
2. Карпов Л. Е., Юдин В. Н. Система поддержки принятия решений для практикующих врачей // Ежегодная техническая конференция «Корпоративные базы данных-2008», Электронный ресурс. Режим доступа: <http://www.citforum.ru/seminars/cbd2008>
3. Юдин В. Н., Карпов Л. Е., Ватазин А. В. Процесс лечения как адаптивное управление человеческим организмом в программной системе «Спутник Врача» // Альманах клинической медицины, т.17, часть 1. М., 2008, стр. 262-265.
4. Watson I., Marir F. Case-Based Reasoning: A Review. // Knowled. Engineer. Rev. 1994. V.9. No.4. , pp. 355-381.