

---

---

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ВРЕМЕННЫХ ЗАВИСИМОСТЕЙ В ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМАХ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ НА ОСНОВЕ ПРЕЦЕДЕНТОВ

Александр Еремеев, Павел Варшавский, Иван Куриленко

**Аннотация:** В работе рассматриваются вопросы, связанные с моделированием временных зависимостей в интеллектуальных системах поддержки принятия решений (ИСППР) на основе прецедентов. Описываются особенности применения систем на основе прецедентов (СВР-систем) для поддержки принятия решений в открытых и динамических предметных областях при наличии достаточно жестких временных ограничений. Рассмотрен пример использования СВР-системы с темпоральными прецедентами для контроля нештатных ситуаций в работе ИСППР для управления крупными парковочными комплексами.

**Ключевые слова:** интеллектуальные системы поддержки принятия решений, моделирование временных зависимостей, темпоральные прецеденты, СВР-системы.

**ACM Classification Keywords:** H.4.2 [Information systems applications]: Types of systems – Decision support; I.2.3 [Artificial intelligence]: Deduction and Theorem Proving – Uncertainty, "fuzzy," and probabilistic reasoning; I.2.4 [Artificial intelligence]: Knowledge Representation Formalisms and Methods – Temporal logic.

---

### Введение

Актуальной задачей в области искусственного интеллекта (ИИ) и создания перспективных интеллектуальных систем типа ИСППР является задача моделирования правдоподобных рассуждений [Вагин и др., 2008]. Наличие подобных механизмов рассуждений в ИСППР, предназначенных для мониторинга и управления сложными объектами и процессами различной природы, позволяет осуществлять оперативное диагностирование проблемной ситуации и помогает лицам, принимающим решения (ЛПР), находить адекватные и эффективные управляющие воздействия с целью нормализации проблемной ситуации.

Наряду с широко используемыми в области ИИ методами правдоподобных рассуждений на основе индукции, абдукции, аргументации и аналогии активно применяются методы на основе прецедентов, в том числе, на основе активно разрабатываемых в настоящее время темпоральных прецедентах [Вагин и др., 2008], [Варшавский и др., 2009]. Данные методы могут быть эффективны в ИСППР для мониторинга и поиска решения в реальном масштабе времени и в условиях различного рода неопределенности в исходных данных и знаниях, которые содержатся в базе знаний (БЗ) системы, а также для обучения и тренировки оперативно-диспетчерского персонала.

Методы на основе прецедентов в настоящее время активно применяются в таких областях, как медицинская диагностика, юриспруденция, мониторинг и диагностика технических систем, поиск решения

---

в проблемных ситуациях и т.д. Данный подход составляет основу машинного обучения и предоставляет широкие возможности для формирования корпоративной памяти.

Несмотря на имеющиеся разработки в данной области [Watson et al., 1994], на данный момент ощущается нехватка в программных средствах для моделирования рассуждений на основе прецедентов в интеллектуальных системах типа ИСППР реального времени (ИСППР РВ), систем экспертной диагностики и SCADA-систем.

Наиболее актуальными задачами в данной области являются задачи организации представления, хранения и обработки данных и знаний (прецедентов) в CBR-системах с возможностью учета временных (темпоральных) зависимостей. Решению указанных задач уделено основное внимание в данной работе.

---

### Рассуждения на основе прецедентов

---

В большинстве энциклопедических источников **прецедент** (от латинского *praecedentis* – предшествующий) определяется как случай, имевший место ранее и служащий примером или оправданием для последующих случаев подобного рода.

**Вывод на основе прецедентов (Case-Based Reasoning, CBR)** является подходом, позволяющим решить новую, неизвестную задачу, используя или адаптируя решение уже известной задачи, т.е. используя уже накопленный опыт решения подобных задач.

Подход на основе прецедентов возник в процессе развития исследований в области создания экспертных систем (систем, основанных на знаниях). Большинство практических задач в данной области являются плохо формализованными, причем неопределенность может иметь не вероятностный характер. При поиске решения таких задач, ориентированных на открытые и динамические предметные области, необходимо применение методов правдоподобных рассуждений, позволяющих найти некоторое приемлемое (которое может не быть оптимальным) решение. Один из подходов базируется на том факте, что человеку (эксперту, ЛПП) свойственно на первом этапе поиска решения новой (неизвестной) задачи пытаться использовать решения, которые принимались ранее в подобных случаях и при необходимости адаптировать их к возникшей проблеме (текущей проблемной ситуации). Данный подход с использованием накопленного опыта лег в основу методов моделирования рассуждений на основе прецедентов. Основой для разработки отмеченного подхода и CBR-систем (в частности, первой CBR-системы CYRUS) послужила работа [Schank, Abelson, 1977], затрагивающая проблемы организации памяти и представления знаний.

В настоящее время интерес к CBR-технологии и CBR-системам значительно возрос, регулярно проводятся международные конференции и семинары ICCBR, ECCBR, UKCBR (<http://www.iccbr.org/>).

Как правило, CBR-методы включают в себя четыре основных этапа, образующие так называемый цикл рассуждения на основе прецедентов или CBR-цикл (рис. 1) [Варшавский и др., 2006]:

- **Retrieve** – извлечение наиболее подобного прецедента (или прецедентов) для сложившейся ситуации из библиотеки (базы) прецедентов (БП).
- **Reuse** – повторное использование извлеченного прецедента (прецедентов) с целью предложения решения для текущей проблемы.
- **Revise** – пересмотр полученного решения и адаптация его, в случае необходимости, в соответствии с текущей проблемой.
- **Retain** – сохранение вновь принятого решения как части нового прецедента.

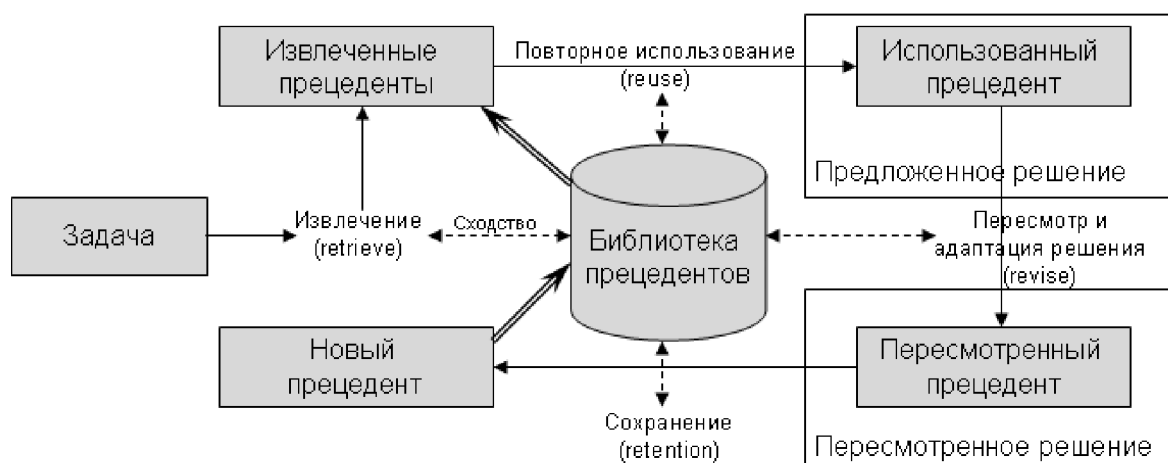


Рис. 1. CBR-цикл

Основная цель использования аппарата прецедентов в рамках ИСППР заключается в выдаче готового решения оператору (ЛПР) для текущей ситуации на основе прецедентов, которые уже имели место в прошлом при управлении данным или подобным объектом (системой). Часть этих прецедентов изначально добавляется в БП системы экспертом, а остальные прецеденты пополняют БП системы за счет выполнения последнего этапа CBR-цикла.

### Способы представления прецедентов

Существуют различные способы представления и хранения прецедентов [Варшавский и др., 2009], [Варшавский и др., 2006] – от простых (линейных) до сложных иерархических. Следует отметить, что простые способы, базирующиеся, как правило, на технологии реляционных баз данных, требуют значительно меньших затрат на реализацию, а также на поддержание и сопровождение БП, чем сложные.

Прецедент в общем случае может включать следующие компоненты:

- **описание задачи** (проблемной ситуации);
- **решение задачи** (диагностирование проблемной ситуации и рекомендации ЛПР);
- **результат** (или прогноз) применения решения.

Результат может включать список выполненных действий, дополнительные комментарии и ссылки на другие прецеденты. Прецедент может иметь как положительный, так и отрицательный исход применения решения, также в некоторых случаях может приводиться обоснование выбора предложенного решения и возможные альтернативы.

В большинстве случаев для представления прецедентов достаточно простого параметрического представления, т.е. представления прецедента в виде набора параметров с конкретными значениями и решением (диагнозом и рекомендациями ЛПР):  $CASE=(x_1, x_2, \dots, x_n, R)$ , где  $x_1, \dots, x_n$  – параметры ситуации, описывающей данный прецедент;  $x_1 \in X_1, x_2 \in X_2, \dots, x_n \in X_n$ , где  $n$  – количество параметров прецедента, а  $X_1, \dots, X_n$  – области допустимых значений соответствующих параметров,  $R$  – диагноз и

рекомендации ЛПР. Дополнительно может присутствовать описание результата применения найденного решения и дополнительные комментарии.

Существует целый ряд методов извлечения прецедентов и их модификаций [Варшавский и др., 2006], [Егемеев et al., 2009], такие как метод ближайшего соседа, метод извлечения прецедентов на основе деревьев решений, метод извлечения прецедентов с учетом их применимости (адаптивности), метод извлечения прецедентов с использованием аппарата искусственных нейронных сетей и другие.

Как правило, классические CBR-методы позволяют извлекать прецеденты на основе значений параметров контролируемой системы в текущий момент времени, но без учета динамики процесса (т.е. ситуации и прецеденты содержат «мгновенные снимки» контрольных параметров наблюдаемого объекта или системы и нет учета истории их изменения). Так, например, с помощью метода ближайшего соседа текущие значения параметров могут сравниваться с прецедентами, и на их основе может быть выбрана рекомендация (решение). Однако, большинство физических процессов развивается в соответствии с некоторым временным законом и, учитывая историю изменения состояний наблюдаемого объекта или процесса, можно находить более качественные решения и рекомендации, чем на основании анализа только текущего состояния. Необходим новый способ представления прецедентов, позволяющий учитывать историю изменения параметров – метод на основе **темпоральных прецедентов**, а также адаптированные к учету фактора времени алгоритмы извлечения прецедентов.

В рамках данной работы предлагается расширение CBR-методов, позволяющее учитывать поведение контролируемого процесса или объекта во времени. При учете фактора времени появляется возможность рассмотреть проблемную ситуацию в динамике, то есть текущая ситуация сравнивается не с какими-либо фиксированными значениями прецедентов, а отслеживается процесс изменения значений, что позволяет строить предположения, используя не только критерий сходства, но и учитывать временные зависимости.

### Построение темпорального расширения CBR-методов

Рассмотрим расширение методов извлечения прецедентов с учетом фактора времени. Наиболее простым способом адаптации существующих алгоритмов вывода на основе прецедентов к учету фактора времени является подмена «мгновенного» снимка ключевых параметров историей их изменения (рис. 2).

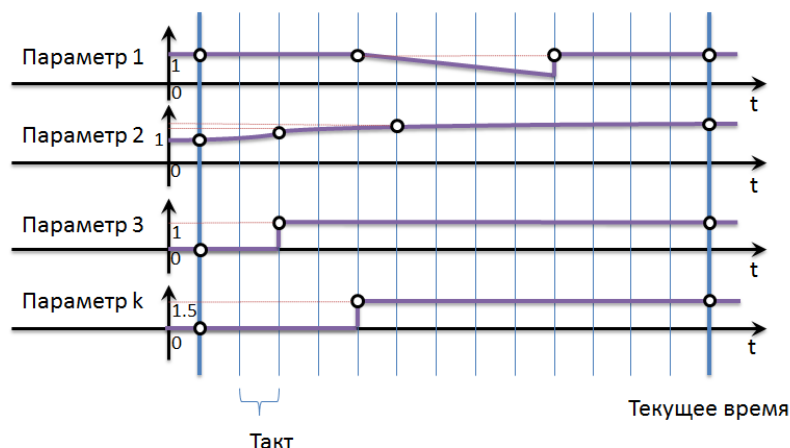


Рис. 2. Представление истории изменения параметров в виде графика

Эта история может быть представлена и в виде матрицы значений, составленной на определенный период наблюдения с определенным интервалом (тактом) (рис. 3).

Параметр	1	2	3	4	5	6	7	...	N
1	1	1	1	1	1	0.85	0.75	...	1
2	1	1.1	1.2	1.24	1.27	1.28	1.29	...	1
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
K	0	0	0	0	1	1	1	...	1

Рис. 3. Представление истории изменения параметров в виде матрицы

Для обработки темпоральных прецедентов могут использоваться упомянутые выше методы. При этом в прецедент включается не только значение параметров в текущий момент времени, но и их значения на некоторый период времени до этого (их история). Эксперту посредством интерфейса может представляться более удобная для интерпретации и заполнения матричная форма, а ее трансформацию в массив для применения того или иного метода CBR-система может выполнять автоматически.

В первую очередь следует определить отрезок времени для анализа проблемной ситуации (глубину анализа). Рассматриваемый промежуток времени разбивается на  $N$  равных отрезков с некоторым шагом (тактом). Далее в сформированной БП, где каждый прецедент представляется в параметризованном виде, происходит сравнение значений параметров ситуации в каждый момент времени  $t_i$ , где  $i = 1, \dots, N$ . Значения параметров прецедентов сравниваются между собой по методу ближайшего соседа с учетом выбранной метрики (например, Евклидовой) и соответствующего порогового значения [Варшавский и др., 2009], [Варшавский и др., 2006].

Также для адаптации существующих алгоритмов поиска решения к темпоральным прецедентам может использоваться подход на основе учета и анализа решений, полученных ранее. Проиллюстрируем данный подход на примере расширения метода ближайшего соседа.

Таким образом, для всех точек  $i$  получаются варианты прецедентов с определенными интегральными оценками, которые могут быть выбраны как соответствующие ситуации в этой точке для текущего порогового значения сходства.

На следующем этапе по интегральным оценкам в точках  $i$  выбирается наиболее вероятный прецедент или группа прецедентов, удовлетворяющих поисковому условию. Каждому результирующему прецеденту в соответствие ставится мера сходства (расстояние Хэмминга), которая определяется по правилу: «При совпадении всех параметров в описании прецедента и текущей ситуации степень сходства будет равна 1, а каждый совпавший параметр дает вклад равный  $1/K$ , где  $K$  – число параметров в описании прецедента и текущей ситуации». Используя значения параметров в точках  $i$ , можно с помощью интерполяции построить прогноз развития проблемной ситуации (на уровне параметров).

Следует отметить, что на результат поиска прецедентов, удовлетворяющих проблемной ситуации, оказывает влияние несколько факторов. Во-первых, это выбор метрики. В каждом конкретном случае этот выбор производится по-разному, в зависимости от целей ЛПР, физической и статистической природы используемой информации при управлении сложным объектом и других ограничений и

факторов, влияющих на процесс поиска решения. Во-вторых, влияние оказывает выбор шага, с которым разбивается на промежутки рассматриваемый отрезок времени. Вариация размеров шага дает различное количество дискретных точек, по которым происходит сравнение значений параметров прецедентов. Это оказывает влияние не только на точность выбора прецедента, но и на скорость выполнения поискового алгоритма, а так же на величину погрешности, с которой может быть определено соответствие. И, в-третьих, важным оказывается выбор порогового значения, определяющего степень сходства.

Проиллюстрируем вышесказанное на несложном примере [Еремеев и др., 2011]. Предположим, что существует некая проблемная ситуация, описываемая набором из трех параметров (рис. 4), и имеется заданная БП, включающая прецеденты X, Y, Z (рис. 5-7). Произведя сравнительный анализ значений в каждой точке  $i$  из отрезка времени  $[0, N]$ , можно получить диаграмму интегральных оценок соответствия каждого прецедента текущей проблемной ситуации во всех точках выбранного отрезка времени (рис. 8).

Из рассмотренного примера видно, что прецедент Y будет выбран как прецедент, наиболее удовлетворяющий условиям поиска и имеющий большую степень сходства с текущей проблемной ситуацией по сравнению с другими прецедентами X и Z, так как интегральные оценки прецедента Y в каждой точке выше, чем соответствующие оценки других прецедентов в этих точках.

Предложенные методы могут быть использованы как по отдельности, так и в комбинации друг с другом. В практических приложениях важно правильно определить величину  $N$  и размер такта. Если следует учитывать вероятность скачкообразного изменения поведения параметров контролируемого объекта или процесса, то предпочтительнее использовать первый из рассмотренных выше методов – метод подмены «мгновенного» снимка ключевых параметров историей их изменения.

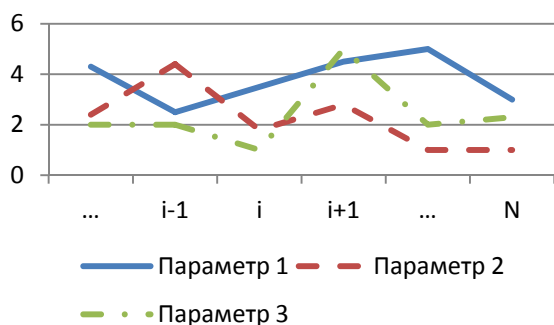


Рис. 4. Значения параметров текущей проблемной ситуации

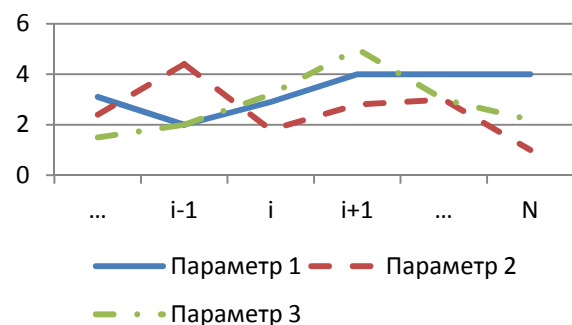


Рис. 5. Значения параметров прецедента X

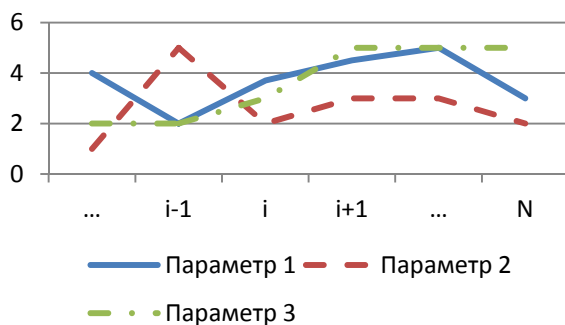


Рис. 6. Значения параметров прецедента Y

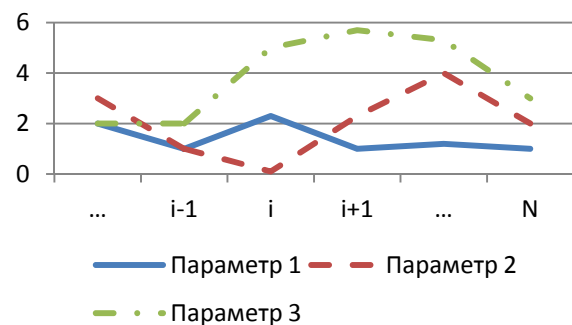


Рис. 7. Значения параметров прецедента Z

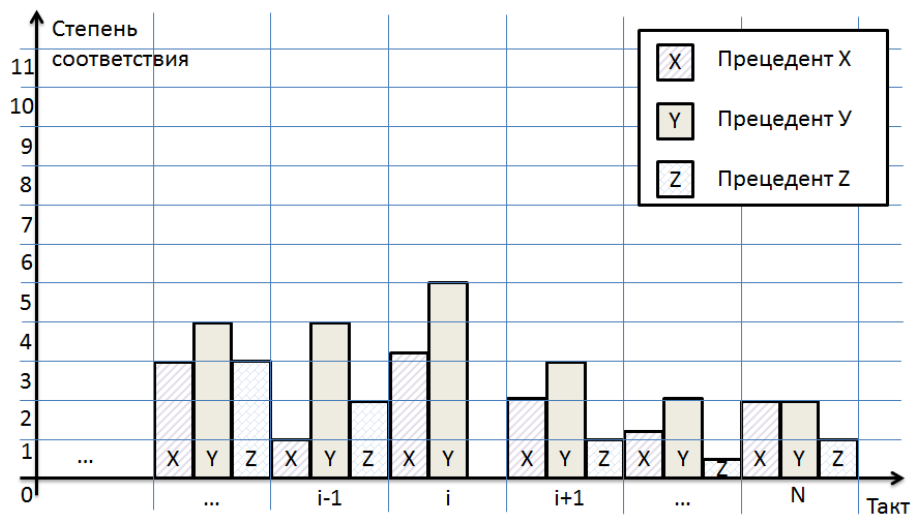


Рис. 8. Варианты прецедентов с интегральными оценками

### Использование темпоральной логики

Для реализации механизма вывода на основе темпоральных прецедентов могут быть применены качественная точечная временная логика и метрическая временная логика [Еремеев и др., 2007]. Данный выбор обусловлен тем, что для этих логик существуют алгоритмы вывода с полиномиальной оценкой сложности [Еремеев и др., 2010].

**Метрическая точечная задача согласования временных ограничений (МЗСВО)** определяется как  $Z=(V,D,C_1,C_2)$ , где  $V = \{V_1, V_2, \dots, V_m\}$  - конечное множество временных переменных, соответствующих моментам времени;  $D$  - область значений временных переменных (является либо множеством вещественных чисел, либо множеством целых чисел);  $C_1$  - конечное число бинарных временных ограничений вида  $C_{ij}=\{[a_1, b_1], \dots, [a_k, b_k]\}$ , где интервалы попарно не пересекаются;  $C_2$  - конечное число унарных временных ограничений вида  $C_i = \{[a_1, b_1], \dots, [a_i, b_i]\}$ , где интервалы попарно не пересекаются. Бинарные ограничения позволяют определить разрешенную дистанцию между моментами времени и интерпретируются как  $(a_1 \leq V_j - V_i \leq b_1) \cup \dots \cup (a_k \leq V_j - V_i \leq b_k)$ . Унарные - интерпретируются как  $(a_1 \leq V_i \leq b_1) \cup \dots \cup (a_i \leq V_i \leq b_i)$  и могут быть представлены с помощью бинарных (через введение нулевого момента времени  $V_0$  и преобразовании унарных ограничений  $C_i$  в  $C_{0i}$ ). Для решения задачи требуется скорректировать все ограничения так, чтобы они не противоречили друг другу. Если подобная корректировка возможна МЗСВО считается согласованной (иначе - несогласованной).

Рассмотрим основные операции над метрическими точечными ограничениями. **Отрицание** ограничения  $C_{ij}=\{[a_1, b_1], \dots, [a_k, b_k]\}$  определяется как  $\sim C_{ij}=\{[-b_1, -a_1], \dots, [-b_k, -a_k]\}$ . **Пересечение**  $T \cap S$  ограничений  $T$  и  $S$  содержит значения, которые одновременно присутствуют в обоих ограничениях. **Композиция**  $T \cdot S$  ограничений  $T$  и  $S$  содержит значения  $r$ , для которых существуют значения  $t \in T$  и  $s \in S$ , такие, что  $r = t+s$ .

МЗСВО может быть применена для описания наблюдаемых ситуаций и прецедентов. При этом фиксируется как сам факт наступления тех или иных событий, их порядок, так и время их появления (метрика). Далее будем предполагать, что эти МЗСВО согласованы и преобразованы к минимальной

форме. Для вычисления соответствия наблюдаемой ситуации и прецедента могут быть предложены несколько методов – метод с «жесткими» ограничениями и метод с «мягкими» ограничениями.

**Метод с «жесткими» ограничениями** предполагает точное соответствие наблюдаемых событий и событий, имеющих в прецеденте, а также для каждого метрического ограничения  $C_{ij}$  в прецеденте и ограничения  $C_{ij}^*$  в наблюдаемой ситуации должны выполняться условия  $C_{ij} \cap C_{ij}^* = C_{ij}$ . При этом, для того, чтобы события в прецеденте и анализируемой ситуации соответствовали друг другу предполагается использовать для их нумерации числа, получаемые в результате сортировки по имени параметра и времени (см. пример на рис. 9). Среди достоинств этого метода – высокая скорость вывода и высокая точность результата. Метод также полезен для систем, в которых временные характеристики протекающих процессов достаточно стабильны.

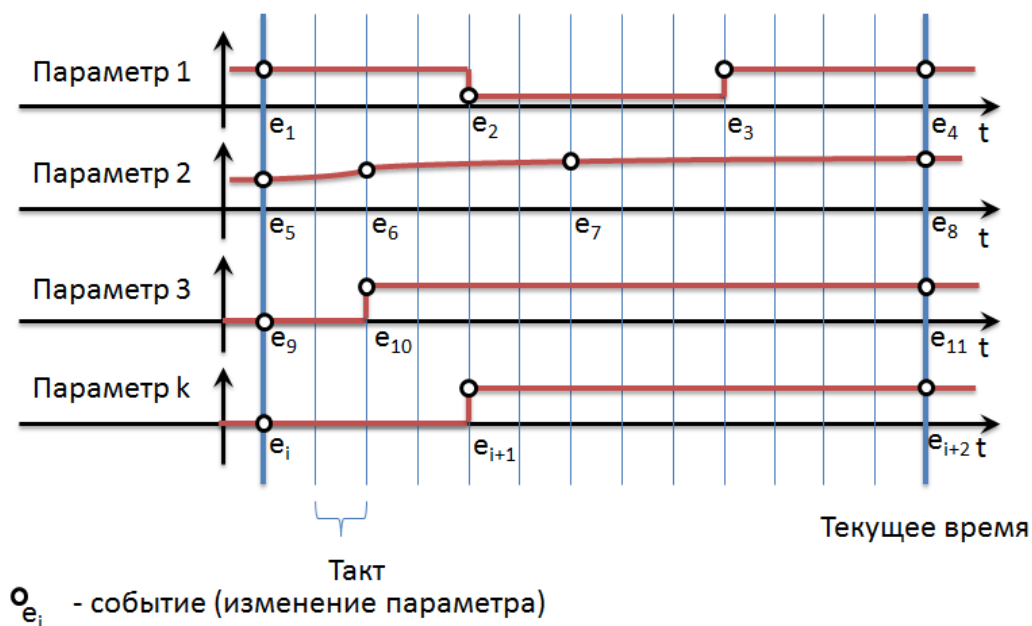


Рис. 9. Пример нумерации событий

**Метод с «мягкими» ограничениями** может рассматриваться в трех вариантах. В первом варианте условие  $C_{ij} \cap C_{ij}^* = C_{ij}$  заменяется на более мягкое  $C_{ij} \cap C_{ij}^* \neq \emptyset$  и  $C_{ij}^* \subseteq C_{ij}$ . Во втором - условие  $C_{ij} \cap C_{ij}^* = C_{ij}$  заменяется на  $C_{ij} \cap C_{ij}^* \neq \emptyset$ ; а в третьем оно заменяется на условие близости границ в ограничениях  $C_{ij} = \{[a_1, b_1], \dots, [a_k, b_k]\}$  и  $C_{ij}^* = \{[a_1^*, b_1^*], \dots, [a_k^*, b_k^*]\} : (|a_1 - a_1^*| < \varepsilon) \wedge \dots \wedge (|a_k - a_k^*| < \varepsilon) \wedge (|b_1 - b_1^*| < \varepsilon) \wedge \dots \wedge (|b_k - b_k^*| < \varepsilon)$ , где  $\varepsilon > 0$ . Дальнейшее смягчение условий возможно при анализе степени сходства с учетом истории изменений каждого параметра по отдельности. Тут возможны разные стратегии (например, учитывающие с большим весом ограничения между событиями, связанными с изменением значений разных параметров, чем ограничения, наложенные на события полученные из-за изменения одного параметра).

Определение прецедента на основе выборки похожих ситуаций (обучение) в данном случае может быть выполнено на основе смягчения ограничений  $C_{ij}$  в одном из вариантов так, чтобы выполнялись условия его подобия другим ситуациям.



Формально ситуация определяется как  $S = \langle V, C, P, \alpha \rangle$ , где  $S$  – текущая ситуация;  $V = \{V_1, V_2, \dots, V_m\}$  – конечное множество временных переменных, соответствующих моментам времени;  $C = \{C_{ij}\}$  – конечное множество метрических временных ограничений, где  $C_{ij}$  – это ограничение для временных переменных  $V_i$  и  $V_j$ ;  $P = \{P_1, \dots, P_k\}$  – набор параметров контролируемого объекта;  $\alpha: V \rightarrow P$  – функция, сопоставляющая каждой временной переменной (событию) набор параметров, которые характеризовали состояние объекта или процесса в данный момент времени.

**Темпоральный прецедент** формально можно определить набором  $\langle I, V, C, P, \alpha \rangle$ , представляющим ситуацию, расширенную блоком описательных параметров  $I$ , куда могут входить статус прецедента (норма, ошибка, предупреждение), описание, ссылки, временной фактор, диагноз (решение) и т.д.

При извлечении прецедента для наблюдаемой ситуации используется алгоритм, учитывающий временные характеристики и состояние контролируемого объекта или процесса:

---

#### Алгоритм извлечения прецедента

---

**Входные данные:**  $S = \langle V^s, C^s, P^s, \alpha \rangle$  – наблюдаемая ситуация,

$D = \{D_i\}$  – база прецедентов, где  $D_i = \langle I^i, V^i, C^i, P^i, \alpha^i \rangle$ .

---

**Выходные данные:**  $D_k$  – прецедент, соответствующий ситуации  $S$  или  $\emptyset$

---

```

01: foreach ( $D_k = \langle I^k, V^k, C^k, P^k, \alpha^k \rangle \in D$ ) {
02:   bool isFailed ← false
03:   foreach ( $C_{ij}^s \in C^s$ ) // Сравнение временных характеристик
04:     if ( $C_{ij}^s \cap C_{ij}^k = \emptyset$ , где  $C_{ij}^k \in C^k$ ) { isFailed ← true; break; }
05:   if (!isFailed) {
06:     for ( $i = 0; i < |V^s|; i = i + 1$ )
07:       if (!СравнитьПодобие( $\alpha(V^s)$ ,  $\alpha(V^k)$ )) { isFailed ← true; break; }
08:   }
09:   if (!isFailed) return  $D_k$ 
10: }
11: return  $\emptyset$ 

```

---

В алгоритме для определения подобия (сходства) может быть применен подходящий для решаемой задачи метод.

Таким образом, организация темпоральных прецедентов на основе МЗСВО позволяет учитывать как последовательности событий, так и их длительности. В случае, если анализ длительностей не принципиален, а важен только порядок событий, можно воспользоваться качественной временной логикой – например, точечной временной логикой, для которой предложены быстроредействующие алгоритмы вывода [Еремеев и др., 2007]. В этом случае для представления прецедента может использоваться точечная ЗСВО, а определение степени сходства наблюдаемой ситуации и прецедента может основываться на решении задачи логической эквивалентности соответствующих минимальных ЗСВО.

## Программная реализация прототипа

Рассмотренные выше методы реализованы в прототипе модуля анализа нетиповых (нештатных) ситуаций для интеллектуальной системы (ИС), на примере ИС для управления крупными парковочными комплексами (ИС УП), построенной по модульному принципу с учетом требований расширяемости и простоты интеграции. Программная реализация выполнена на базе платформы Microsoft .NET Framework 4.0 на языке C# в среде разработки Microsoft Visual Studio 2010 и является кросс-платформенной. Прототип реализует следующие функции: поиск и выделение сбоев в работе парковочного комплекса, которые относятся к типовым проблемным ситуациям, а также определение нестандартных ситуаций, которые возникли в процессе эксплуатации ИС УП, но не были учтены при разработке управляющих правил. Созданный прототип может функционировать в трёх режимах:

- **режим обучения** – обучение ИС УП на основе данных из файлов и знаний экспертов;
- **“on-line” - режим** – события поступают напрямую на вход системы;
- **“off-line” - режим** – события читаются из протоколов (логов) работы системы.

Архитектура прототипа анализа нетиповых (нештатных) ситуаций для ИС УП приведена на рис. 10.

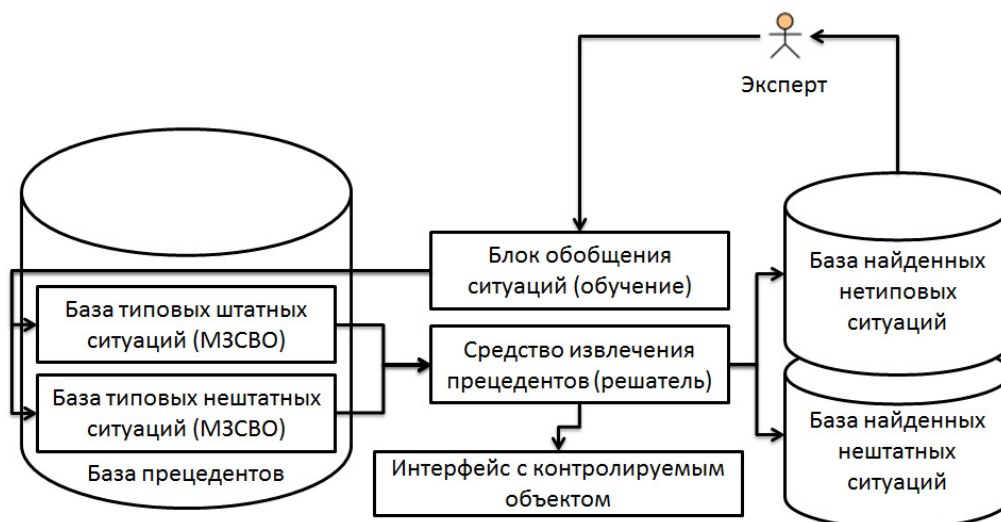


Рис. 10. Архитектура прототипа модуля анализа нетиповых (аномальных) ситуаций

Система состоит из блока обучения, блока вывода, базы прецедентов, и трёх интерфейсов: интерфейса взаимодействия с объектом, экспертом и пользователем. ИС содержит базу типовых ситуаций (как штатных, так и известных нестандартных). Решатель на основе прецедентов соотносит временные диаграммы в последовательностях операций за определенный период с моделями, хранящимися в этих базах. В случае, если выявляется типовая нестандартная ситуация, ее данные заносятся в базу нестандартных ситуаций. Если же выделяется ситуация, которая не описана ни в базе штатных типовых ситуаций, ни в базе нестандартных типовых ситуаций, то эта ситуация заносится в отдельную базу, содержимое которой анализируется разработчиками (экспертами) ИС УП.

Система соотносит временные диаграммы в последовательностях операций за определенный период с моделями, хранящимися в этих базах. В случае, если выявляется типовая нестандартная ситуация, то ее данные заносятся в базу нестандартных ситуаций. Если же выделяется ситуация, которая не описана ни в базе штатных типовых ситуаций, ни в базе нестандартных типовых ситуаций, то эта ситуация заносится в

---

отдельную базу, содержимое которой анализируется разработчиками ИС УП. Классификация осуществляется в три этапа: выборка событий из источников; выделение границ процессов; анализ каждой выделенной операции.

Прецеденты, включая темпоральные, хранящиеся в БП, представляют собой операции (ситуации). В общем случае каждый прецедент имеет имя, код (номер), описание (диагноз), последовательность действий (что необходимо предпринять при выявлении этого прецедента), а также структуру событий.

В блоке сопоставления для выявления типовых и нестандартных ситуаций применяются алгоритмы сопоставления. Алгоритм сопоставления ситуаций опирается на их представление. В зависимости от представления прецедентов строится та или иная модель прецедента.

---

### **Пример практического применения**

---

Предлагаемые далее методы рассчитаны на применение в составе CBR-системы, используемой для контроля нестандартных ситуаций в работе ИС УП [Eremeev et al., 2009], [Куриленко, 2009]. ИС УП, относящаяся к классу ИСППР РВ, предназначена для эффективного управления доступом и движением автотранспорта на современных парковках, представляющих собой территории, оборудованные программно-аппаратными комплексами, в которых задействовано значительное число автоматических и исполнительных устройств и датчиков (средства разграничения доступа, автоматизации оплаты, автоматические шлагбаумы, камеры видеонаблюдения и фото-идентификации, охранная и пожарная сигнализация и др.). В ИС УП в качестве объекта доступа выступает автомобиль, а исполнительными устройствами являются шлагбаумы и ворота, которые необходимо закрывать после въезда транспорта. ИС требуется контролировать движение автомобиля по территории. При этом осуществляется контроль проезда через точки доступа, узкие места, коридоры и пандусы, что требует учета временных характеристик.

Парковки со значительным числом машиномест (больше 1000) обычно содержат большое число точек доступа и оплаты, а также могут разбиваться на зоны с различным уровнем доступа и тарификацией. Проезд между зонами может осуществляться только через въездные и выездные точки доступа. Следует отметить, что каждая такая точка является автономной, а ее исполнительные устройства зачастую находятся на существенном расстоянии от сервера системы. На практике ИС УП должна реализовывать функции защиты не только от противоправных действий пользователей, но и от махинаций «нечистоплотного» персонала, заинтересованного в возможности присвоения денежных средств, поступающих в качестве оплаты за услуги парковки. Как следствие, посетители и обслуживающий персонал в некоторых случаях предпринимают попытки «обойти» контролирующие функции системы, имитировать сбой или информировать о ложных сбоях. Кроме того, любые ошибочные действия персонала могут интерпретироваться как сбой. В такой ситуации возникает задача контроля действий как персонала и пользователей, так и автоматических устройств, с целью отслеживания и недопущения нетиповых ситуаций. А если такие ситуации возникают, то следует их классифицировать и объяснить реальную причину наблюдаемых событий.

Благодаря наличию большого числа датчиков на точках доступа, возможна организация специального модуля, отслеживающего ход операций и расширяющего возможности ИС УП в плане реакции на нетиповые ситуации. При построении этого модуля может быть использован тот факт, что операции,

протекающие на точках доступа в штатном режиме, формируют стандартные последовательности событий, проиллюстрированные на примерах типового хода событий при операциях проезда (рис. 11).



Рис. 11. Информация с датчиков, получаемая при проезде посетителя по разовому документу

Разработанный прототип повышает эффективность ИС УП за счет введения дополнительного модуля анализа типовых и аномальных (нештатных) ситуаций с использованием методов поиска решения на основе темпоральных прецедентов. В задачи этого модуля входит: выделение сбоев в работе ИС УП и подготовка экспертной оценки наблюдаемых сбоев по базе типовых проблемных ситуаций, определение нестандартных ситуаций, возникших в процессе эксплуатации ИС УП, но не учтенных при разработке управляющих правил, пресечение попыток противодействия обслуживающего персонала и посетителей.

## Заключение

В работе рассмотрена проблема моделирования правдоподобных рассуждений (рассуждений «здравого смысла») на основе прецедентов. Описаны основные этапы, реализуемые в CBR-методах, а также рассмотрены способы представления прецедентов. Предложены методы моделирования временных зависимостей в CBR-системах на основе темпоральных прецедентов и соответствующие алгоритмы, которые могут применяться для расширения возможностей и повышения эффективности современных ИСППР реального времени, позволяя учитывать в процессе поиска решения (рассуждения) временные зависимости и динамику развития ситуации на объекте. Использование темпоральных прецедентов в CBR-системах, ориентированных на использование в составе ИСППР реального времени для мониторинга и управления различными сложными техническими объектами и процессами позволяет ЛПР (как это проиллюстрировано на примере ИС УП) своевременно выбрать необходимую стратегию поведения для устранения проблемной ситуации за счет сокращения поискового пространства и уменьшения времени реакции системы.

## Благодарности

Работа поддержана Российским Фондом Фундаментальных Исследований (проекты 11-01-00140, 12-07-00508).

---

**Список литературы**

---

- [Вагин и др., 2008] Вагин В.Н., Головина Е.Ю., Загорянская А.А., Фомина М.В. Достоверный и правдоподобный вывод в интеллектуальных системах. 2-е изд. // Под редакцией В.Н. Вагина, Д.А. Поспелова. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008.
- [Варшавский и др., 2009] Варшавский П.Р., Еремеев А.П. Моделирование рассуждений на основе прецедентов в интеллектуальных системах поддержки принятия решений // Искусственный интеллект и принятие решений, №2, 2009, с. 45-57.
- [Watson et al., 1994] Watson I.D., Marir F. Case-based reasoning: A review. The Knowledge Engineering Review, Vol. 9, No. 4, 1994. – Pp. 355-381.
- [Schank, Abelson, 1977] Schank R.C., Abelson R.P. Scripts, Plans, Goals and Understanding. Erlbaum, Hillsdale, New Jersey, US, 1977, - 248 p.
- [Варшавский и др., 2006] Варшавский П.Р., Еремеев А.П. Методы правдоподобных рассуждений на основе аналогий и прецедентов для интеллектуальных систем поддержки принятия решений // Новости искусственного интеллекта. 2006. №3. – С. 39-62.
- [Eremeev et al., 2009] Alexander Eremeev, Ivan Kurilenko, Pavel Varshavskiy. Application of Temporal Reasoning and Case-based Reasoning in Intelligent Decision Support Systems // International Book Series «Information science & computing», Number 10, Supplement to IJ «Information technologies & knowledge» Volume 3/2009 – 2009. – Pp. 9–16.
- [Еремеев и др., 2011] Еремеев А.П., Куриленко И.Е., Смирнова А.Е. Разработка темпорального расширения методов рассуждений на основе прецедентов // Труды конгресса по интеллектуальным системам и информационным технологиям (IS&IT'11). Научное издание в 4-х томах. - Т.1. – М.: Физматлит, 2011. - С.50-59.
- [Еремеев и др., 2007] Еремеев А.П., Куриленко И.Е. Реализация механизма временных рассуждений в современных интеллектуальных системах // Известия РАН. Теория и системы управления, 2007, № 2, с. 120–136.
- [Еремеев и др., 2010] Еремеев А.П., Куриленко И.Е. Применение темпоральных моделей в интеллектуальных системах / Интеллектуальные системы. Коллективная монография. Выпуск четвертый. / Под. Ред. В.М. Курейчика. – М.: Физматлит, 2010, 300 с., 222-252.
- [Куриленко, 2009] Куриленко И.Е. Применение временной логики при построении интеллектуальной системы управления крупными парковочными комплексами // Сб. док. научно-практ. конф. «Интегрированные модели и мягкие вычисления в искусственном интеллекте» 2009 в 2 т. – Т.2 – М.:ФизМатЛит, 2009. С. 171 -180.

---

**Сведения об авторах**

---

**Еремеев Александр Павлович** – д.т.н., проф., заведующий кафедрой Прикладной математики Московского энергетического института, 111250, Россия, Москва, Красноказарменная ул., 14; e-mail: [eremeev@appmat.ru](mailto:eremeev@appmat.ru)

Область научных интересов: искусственный интеллект, принятие решений, экспертные системы

**Варшавский Павел Романович** – к.т.н., доцент кафедры Прикладной математики Московского энергетического института, 111250, Россия, Москва, Красноказарменная ул., 14; e-mail: [varp@appmat.ru](mailto:varp@appmat.ru)

Область научных интересов: искусственный интеллект, принятие решений, методы правдоподобных рассуждений

**Куриленко Иван Евгеньевич** – к.т.н., доцент кафедры Прикладной математики Московского энергетического института, 111250, Россия, Москва, Красноказарменная ул., 14; e-mail: [ivan@appmat.ru](mailto:ivan@appmat.ru)

Область научных интересов: искусственный интеллект, принятие решений, темпоральные логики