

РАЗРАБОТКА ТЕМПОРАЛЬНОГО РАСШИРЕНИЯ МЕТОДОВ РАССУЖДЕНИЙ НА ОСНОВЕ ПРЕЦЕДЕНТОВ

А.П. Еремеев¹, И.Е. Куриленко², А.Е. Смирнова³

В работе рассматриваются методы моделирования рассуждений, содержащих фактор времени (временных рассуждений), в интеллектуальных системах реального времени. Особое внимание уделяется методам на основе точечной временной алгебры.

Введение

В настоящее время значительное внимание уделяется разработке высокоэффективных интеллектуальных (экспертных) систем типа интеллектуальных систем (ИС) поддержки принятия решений (ИСППР) и систем экспертной диагностики, использующих методы правдоподобных, человеческих рассуждений (рассуждений «здравого смысла») [Варшавский и др., 2006, Вагин и др., 1999]. При этом для моделирования правдоподобных рассуждений наравне с аппаратом нетрадиционных логик активно используются методы на основе аналогий и прецедентов [Варшавский, 2008]. Особенно широко методы рассуждений на основе прецедентов (СВР – Case-Based Reasoning) и СВР-системы активно применяются в диагностических системах. Они позволяют использовать накопленный системой опыт при решении новых задач. В данный момент ведутся широкие исследования таких методов и имеется широкий ряд программных продуктов, в том числе коммерческих, реализующих СВР-механизмы [Варшавский и др., 2009].

Как правило, СВР-методы включают четыре основных этапа, образующих СВР-цикл или *цикл обучения по прецедентам (примерам)* [Варшавский и др., 2008, 2009]. Информация о новой проблемной ситуации используется для извлечения из БП подходящего прецедента (или

* Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 05-07-90232)

¹ 111250, Москва, ул. Красноказарменная 14, ГОУВПО МЭИ (ТУ),
eremeev@apmsun.mpei.ac.ru

² 111250, Москва, ул. Красноказарменная 14, ГОУВПО МЭИ (ТУ),
i.kurilenko@aamautomatic.ru

³ 111250, Москва, ул. Красноказарменная 14, ГОУВПО МЭИ (ТУ),
a.smirnova@aamautomatic.ru

нескольких прецедентов, удовлетворяющих некоторому порогу подобия). Извлечённый прецедент используется повторно для получения решения задачи (определяемой проблемной ситуацией). Затем предложенное решение в случае необходимости может быть адаптировано к особенностям новой ситуации и применено на практике. В случае успешного применения, проверенное решение совместно с описанием проблемной ситуации образует новый прецедент, который сохраняется в БП. В результате, системой накапливается опыт (прецеденты) и реализуется машинное обучение.

Для поддержки процесса рассуждения в CBR-цикле в дополнение к БП могут использоваться обобщённые знания о предметной области.

В ряде реализаций CBR-систем с учетом специфики конкретной предметной области и решаемых задач используется упрощенный CBR-цикл [Варшавский и др., 2009], в котором исключаются два последних этапа. Таким образом, основная цель использования аппарата прецедентов в ИСППР и особенно в системах реального времени 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.

В CBR-системах обычно предусматривается база решающих правил, база известных прецедентов (БП) и алгоритмы обобщения, которые используются для построения решающих правил, на основе которых распознаются новые проблемные ситуации. БП является важной составляющей БЗ интеллектуальной системы, но может использоваться как отдельный компонент. Извлечение прецедентов напрямую связано со способом представления прецедентов и соответственно со способом организации БП [Варшавский и др., 2009].

Классические методы рассуждений на основе прецедентов позволяют строить прецеденты на основе значений параметров системы, полученных в текущий момент времени. Так, например, с помощью метода ближайшего соседа текущие значения параметров могут сравниваться с прецедентами, и на основе какого-либо из прецедентов может быть выбрана рекомендация. Как правило, существующие методы рассуждений на основе прецедентов не учитывают время (т.е. ситуации представляются в виде мгновенного снимка контрольных параметров наблюдаемого объекта или системы). С другой стороны, большинство физических процессов развивается в соответствии с некоторым временным законом и, учитывая историю изменения состояний наблюдаемого объекта или процесса, можно выдвигать более точные решения и рекомендации, чем на основании анализа текущего состояния. Для получения такой возможности следует предложить как новый способ представления прецедентов, позволяющий учитывать историю изменения параметров, –

в виде так называемых темпоральных прецедентов, так и адаптированные к учету фактора времени алгоритмы извлечения прецедентов. Именно этому и посвящена данная работа.

1. Постановка задачи

Построим темпоральное расширение алгоритмов рассуждений на основе прецедентов на примере CBR-системы, использующейся для выделения нештатных ситуаций в работе технической системы. Будем рассматривать класс систем, деятельность которых может быть разбита на дискретные по времени операции. Каждая из выполняемых системой операций может быть успешной или ошибочной. Примеров подобных систем можно привести достаточно много – это и системы управления, системы контроля доступа, системы платного доступа, системы самообслуживания, банковские системы и т.п. – все они работают в транзакционном режиме. Задача прототипа CBR-системы будет состоять в поиске среди наблюдаемой последовательности ситуаций ошибочные или тревожные с применением базы прецедентов.

Данный прототип разрабатывается для решения задач интеллектуальной системы управления крупными парковочными комплексами (ИС УП). Каждая точка доступа ИС УП (рис. 1) состоит из оборудования, обеспечивающего контроль проезда (которое обычно группируется в точку проезда – датчики наличия автомобиля, светофор, шлагбаум), и оборудования, обеспечивающего контроль доступа – устройств считывания постоянных карт, устройств выдачи разовых проездных документов, и т.п. В случае многоэтажного парковочного комплекса возможно существование точек проезда, на которых не возникает необходимости в контроле доступа. Они используются для ограничения доступа в аварийно-опасные места. В этом случае для системы важно не допустить попадание в аварийно-опасное место двух машин одновременно, чтобы исключить столкновение [Еремеев и др., 2006, Борисов и др., 2005].

Благодаря наличию большого числа датчиков на точках доступа возможно отслеживание хода операций и расширяющего возможности ИС УП в реакции на нетиповые ситуации. При построении этого модуля может быть использовано то, что операции, протекающие на точках доступа в штатном режиме, формируют во времени достаточно стандартные последовательности событий (см. примеры типового хода событий при операциях проезда на рис. 2).

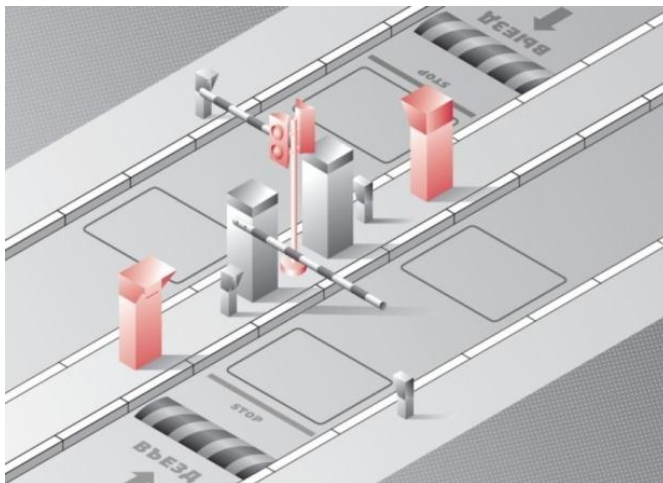


Рис. 1. Типовая организация точки доступа

Параметр		Время
Датчик наличия автомобиля перед шлагбаумом	есть	[Timeline bar]
	нет	[Timeline bar]
Датчик наличия автомобиля после шлагбаума	есть	[Timeline bar]
	нет	[Timeline bar]
Датчик верхнего положения стрелы шлагбаума (шлагбаум открыт)	1	[Timeline bar]
	0	[Timeline bar]
Датчик нижнего положения стрелы шлагбаума (шлагбаум закрыт)	1	[Timeline bar]
	0	[Timeline bar]
Датчик на выходе контроллера, управляющего шлагбаумом	открыть	[Timeline bar]
	закрыть	[Timeline bar]
Датчик на выходе контроллера, управляющего светофором	зеленый	[Timeline bar]
	красный	[Timeline bar]
Кнопка запроса на въезд	нажата	[Timeline bar]
	отжата	[Timeline bar]
Датчик изъятия разового документа на въезд (билета)	1	[Timeline bar]
	0	[Timeline bar]

Рис. 2. Информация с датчиков, получаемая при проезде посетителя по разовому документу

Таким образом, процесс работы точки въезда/выезда может быть представлен в виде последовательности однотипных операций, каждая из которых также есть совокупность наблюдаемых стандартных событий. Аномальные ситуации могут быть выделены за счет анализа этой последовательности путем проверки подобия наблюдаемых в процессе конкретной операции событий и эталонных моделей штатного или нештатного развития ситуации (прецедентов). При этом следует анализировать ситуацию «в динамике», принимая решения с учетом истории развития процесса.

Далее в работе рассматривается метод организации рассуждений на

основе прецедентов, учитывающий фактор времени.

2. Применение временной логики для построения решателя на основе прецедентов учитывающего фактор времени

В качестве основы для реализации механизма вывода на основе прецедентов с учетом фактора времени могут быть применены качественная точечная временная логика и метрическая временная логика (МВЛ). Данный выбор обусловлен тем, что для обоих этих логик существуют алгоритмы вывода с полиномиальной оценкой сложности [Еремеев и др., 2003, 2005, 2007, 2009, Куриленко 2009].

Определим метрическую точечную задачу согласования временных ограничений (МЗСВО) 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 $C_{ij}=\{[a_i, b_i], \dots, [a_k, b_k]\}$, где интервалы попарно не пересекаются; C_2 - конечное число унарных временных ограничений вида $C_i =\{[a_i, b_i], \dots, [a_i, b_i]\}$, где интервалы попарно не пересекаются. Бинарные ограничения позволяют определить разрешенную дистанцию между моментами времени и интерпретируются как $(a_i \leq V_j - V_i \leq b_i) \cup \dots \cup (a_k \leq V_j - V_i \leq b_k)$. Унарные - интерпретируются как $(a_i \leq V_i \leq b_i) \cup \dots \cup (a_i \leq V_i \leq b_i)$ и могут быть представлены с помощью бинарных (через введение нулевого момента времени V_0 и преобразовании унарных ограничений C_i в C_{oi}). 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 $C_{ij}=\{[a_i, b_i], \dots, [a_k, b_k]\}$ определяется как $\sim C_{ij}=\{[-b_i, -a_i], \dots, [-b_k, -a_k]\}$. Пересечение $T \cap S$ ограничений T и S содержит только такие значения, которые одновременно присутствуют в обоих ограничениях. Композиция $T \bullet S$ ограничений T и S содержит только такие значения r , для которых существуют значения $t \in T$ и $s \in S$, такие, что $r = t + s$.

Таким образом, для описания наблюдаемых ситуаций и прецедентов может быть использована МЗСВО. 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 в минимальный вид. 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. 2).

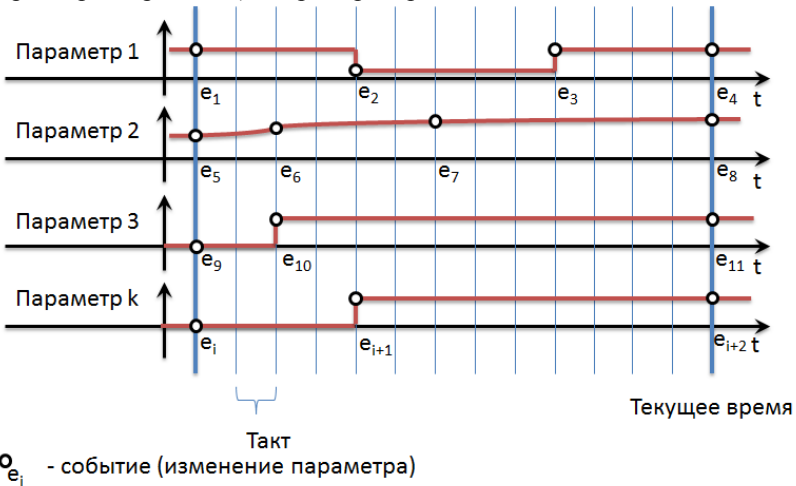


Рис. 2. Пример нумерации событий

Среди достоинств этого метода – высокая скорость вывода и высокая точность результата. Этот метод полезен для систем, в которых временные характеристики протекающих процессов (время наступления событий и их порядок) достаточно стабильны. Однако для рассматриваемой выше задачи он подходит лишь частично в виду достаточно сильной жесткости условий.

Мягкий метод может рассматриваться в трех вариантах. В первом снимается условие $C_{ij} \cap C_{ij}^* = C_{ij}$ заменяется на $C_{ij} \cap C_{ij}^* \neq \emptyset$ и $C_{ij}^* \subseteq C_{ij}$. Во втором условие $C_{ij} \cap C_{ij}^* = C_{ij}$ заменяется на $C_{ij} \cap C_{ij}^* \neq \emptyset$. В третьем варианте условие $C_{ij} \cap C_{ij}^* = C_{ij}$ заменяется на условие близости границ в ограничениях: $|\text{lo}(C_{ij}) - \text{lo}(C_{ij}^*)| < \varepsilon \wedge |\text{hi}(C_{ij}) - \text{hi}(C_{ij}^*)| < \varepsilon$.

Дальнейшее смягчение условий возможно при анализе степени сходства с учетом изменения истории изменений каждого параметра по отдельности. Тут возможны разные стратегии (например, учитывающие ограничения между событиями изменения значений разных параметров с большим весом, чем ограничения, наложенные на события полученные из-за изменения одного параметра).

Вычисление 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.

Отметим, что оба метода могут быть адаптированы для работы с неточной информацией – в случае отсутствия значений какого-либо из параметров соответствующие события и ограничения, в которых они присутствуют, могут быть удалены из прецедента, после чего обычным методом может быть оценена степень подобия.

Особенностью предлагаемых методов является возможность их расширения возможностью учета при оценке подобия не только временных характеристик (т.е. факта наступления тех или иных событий в определенном порядке), но и учета параметров контролируемого объекта в момент наступления тех или иных событий.

Используя определение МЗСВО формально определим ситуацию как $S = \langle \langle V, C \rangle, P, \alpha \rangle$ - где $\langle V, C \rangle$ - МЗСВО, $P = \{P_1, \dots, P_K\}$ – набор параметров контролируемого объекта, $\alpha: V \rightarrow P$ - функция, сопоставляющая каждой временной переменной (событию) набор параметров. Используя определение ситуации, определим прецедент в виде $\langle I, \langle V, C \rangle, P, \alpha \rangle$, как ситуацию, расширенную блоком описательных параметров I , куда могут входить тревожность прецедента (норма, ошибка, предупреждение), описание, ссылки и т.д.

Построим алгоритм поиска прецедента для наблюдаемой ситуации, учитывающий не только временные характеристики, но и состояние контролируемого объекта или процесса в момент наблюдения тех или иных событий (алг. 1). На строке 6 алгоритма может использоваться необходимое условие из числа рассмотренных ранее. На строке 15 алгоритма для определения подобия параметров контролируемого объекта или процесса в момент наступления того или иного события может использоваться подходящий на практике метод – например метод ближайшего соседа.

Алгоритм 1. Алгоритм поиска прецедента для наблюдаемой ситуации

Входные данные: $S = \langle \langle V^s, C^s \rangle, P^s, \alpha \rangle$ - наблюдаемая ситуация, $D = \{D_i\}$ – база прецедентов, где $D_i = \langle I^i, \langle V^i, C^i \rangle, P^i, \alpha^i \rangle$.

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

если такого не существует

```
01: foreach ( $D_k = \langle I^k, \langle V^k, C^k \rangle, P^k, \alpha^k \rangle \in D$ )
02: {
03:   bool isFailed  $\leftarrow$  false
04:   // Сравнение временных характеристик
05:   foreach ( $C_{ij}^s \in C^s$ )
06:     if ( $C_{ij}^s \cap C_{ij}^k = \emptyset$ , где  $C_{ij}^k \in C^k$ )
07:       {
08:         isFailed  $\leftarrow$  true
09:         break;
10:       }
11:   if (!isFailed)
12:     {
13:       for ( $i=0; i < |V^s|; i=i+1$ )
14:         {
15:           if (!СравнитьПодобие( $\alpha(V_i)$ ,  $\alpha(V^k)$ ))
16:             {
17:               isFailed  $\leftarrow$  true
18:               break;
19:             }
20:         }
21:     }
22:   if (!isFailed)
24:     return  $D_k$ 
25: }
```

Таким образом, организация прецедентов на основе МЗСВО позволяет учитывать как последовательности событий, так и их длительности. А также есть возможность комбинировать в прецеденте сличение временной структуры наблюдаемых событий и не временных параметров контролируемого объекта или процесса.

В случае, если анализ длительностей не принципиален, а важен порядок событий можно воспользоваться качественной временной логикой – например, точечной временной логикой, для которой в работах [] предлагаются быстродействующие алгоритмы вывода. 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. Однако в данном случае могут быть предложены более производительные методы, например метод сжатия событий, основывающийся на соотношении временных диаграмм. На первом этапе этого метода события об изменении параметров

переносятся на одну линию времени в историческом порядке в форме комплексных событий, формируя последовательность $S = \{s_i : s_i = \{e_i\}, e_i \in E\}$. Далее для оценки подобия используется сравнение подобных последовательностей для прецедента (S) и наблюдаемой ситуации (S^*).

На рис. 3 приведен пример получаемых временных диаграмм.

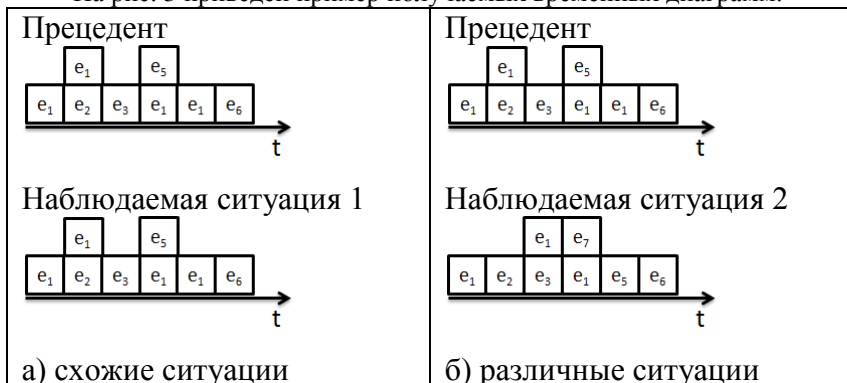


Рис. 3. Пример временных диаграмм

При этом может применяться как жесткое условие полного совпадения последовательностей S и S^* , так и более мягкие, допускающие некоторую степень различия в S и S^* .

2. Программная реализация

Рассмотренные выше методы реализованы в прототипе модуля анализа нетиповых (и аномальных) ситуаций для ИС УП. Его архитектура приведена на рис. 4. В нем содержится база типовых ситуаций (как штатных, так и известных нештатных).

Решатель на основе прецедентов соотносит временные диаграммы в последовательностях операций за определенный период с моделями, хранящимися в этих базах. В случае, если выявляется типовая нештатная ситуация, ее данные заносятся в базу нештатных ситуаций. Если же выделяется ситуация, которая не описана ни в базе штатных типовых ситуаций, ни в базе нештатных типовых ситуаций, то эта ситуация заносится в отдельную базу, содержимое которой анализируется разработчиками (экспертами) ИС УП.

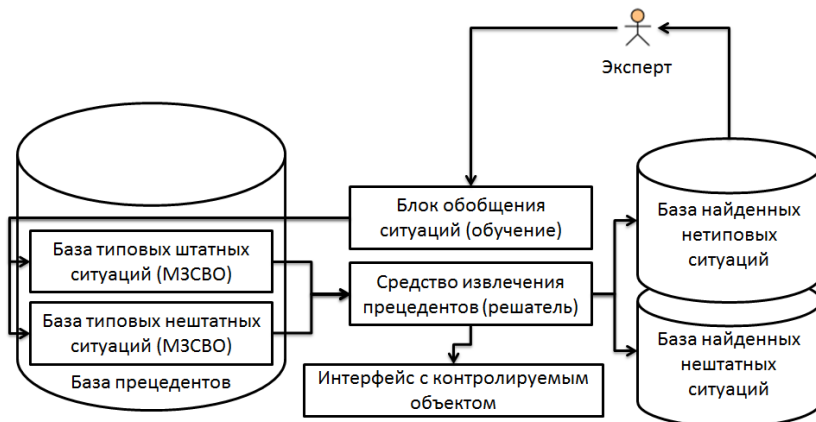


Рис. 4. Архитектура модуля анализа нештатных ситуаций

Заключение

Предлагаемые в работе методы организации темпоральных прецедентов и соответствующие алгоритмы могут применяться для расширения возможностей современных CBR-систем, позволяя реализовывать рассуждения, учитывающие ход процесса, способ его перехода к наблюдаемой ситуации. Подобные возможности являются полезными для широкого класса современных ИС.

Помимо предлагаемых решений темпоральное расширение методов рассуждений на основе прецедентов может быть построено путем перехода в классических методах от списка параметров к матрицам (описывающим историю изменений параметров во времени) или на основе применения нейросетевого подхода. При этом могут быть получены различные решатели с разными характеристиками.

Список литературы

[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.

[Вагин и др., 1999] Вагин В.Н., Еремеев А.П. Конструирование интеллектуальных систем поддержки принятия решений реального времени // Интеллектуальное управление: новые интеллектуальные

технологии в задачах управления (ICIT'99). Труды международной конференции, Переславль-Залесский, 6-9 декабря 1999. – М.: Наука. Физматлит, 1999.

[Варшавский, 2008] Варшавский П.Р. Применение методов правдоподобных рассуждений на основе аналогий и прецедентов в системах искусственного интеллекта. // Работа выполнена при поддержке РФФИ, проекты № 08-01-00437а и № 09-01-00076а; Фонда Президента РФ МК-6009.2008.9

[Варшавский и др., 2009] П.Р. Варшавский, А.П. Еремеев "Моделирование рассуждений на основе прецедентов в интеллектуальных системах поддержки принятия решений" // Искусственный интеллект и принятие решений, №2, 2009 – С.45-57

[Еремеев и др., 2006] Еремеев А.П., Куриленко И.Е. «Применение механизма временных рассуждений в системе автоматизации парковочного комплекса» // Тр. Междунар. НТК «Интеллектуальные системы» (AIS'06) и «Интеллектуальные САПР» (CAD-2005). В 3-х т. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2005, Т.1, с.276-286.

[Борисов и др., 2005] Борисов А.В., Куриленко И.Е. О современных подходах к построению систем учета автотранспорта. Программные и аппаратные средства. // Информационные технологии моделирования и управления. 2005. №5. С. 786-794.

[Еремеев и др., 2003] Еремеев А.П., Троицкий В.В. Модели представления временных зависимостей в интеллектуальных системах поддержки принятия решений // Изв. РАН. Теория и системы управления, 2003, N5, с.75-88.

[Еремеев и др., 2005] Еремеев А.П., Куриленко И.Е. Реализация временных рассуждений для интеллектуальных систем поддержки принятия решений реального времени // Программные продукты и системы, №2, 2005, с.4-16.

[Еремеев и др., 2007] Еремеев А.П., Куриленко И.Е. // Изв. РАН. Теория и системы управления, 2007, N2, с.120-136.

[Куриленко, 2009] Куриленко И.Е. Подход к решению метрических задач согласования временных ограничений в подклассе простых темпоральных задач (Simple Temporal Problems (STP)) // Труды XVII междунар. науч.–техн. конф. «Информационные средства и технологии».–М.: Издательство МЭИ, 2009.–Т.1.–С.142–149.