

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ
ВСЕРОССИЙСКАЯ ГРУППА ТЕОРИИ ИНФОРМАЦИИ ИЕЕЕ
АКАДЕМИЯ ИНФОРМАТИЗАЦИИ ОБРАЗОВАНИЯ
ПЕНЗЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ООО «ОТКРЫТЫЕ РЕШЕНИЯ»
ОБЩЕСТВО «ЗНАНИЕ» РОССИИ
ПРИВОЛЖСКИЙ ДОМ ЗНАНИЙ

*XXII Международная
научно-техническая конференция*

**ПРОБЛЕМЫ ИНФОРМАТИКИ
В ОБРАЗОВАНИИ, УПРАВЛЕНИИ,
ЭКОНОМИКЕ И ТЕХНИКЕ**

Сборник статей

Декабрь 2022 г.

Пенза

УДК 004
ББК 32.81я43+74.263.2+65.050.2я43
П781

П781 **ПРОБЛЕМЫ ИНФОРМАТИКИ В ОБРАЗОВАНИИ,
УПРАВЛЕНИИ, ЭКОНОМИКЕ И ТЕХНИКЕ :**
сборник статей XXII Международной научно-технической
конференции. – Пенза: Приволжский Дом знаний, 2022. – 356 с.

ISBN 978-5-8356-1800-2
ISSN 2311-0406

Под редакцией *В.И. Горбаченко*, доктора технических наук,
профессора;
В.В. Дрождина, кандидата технических наук,
профессора

Информация об опубликованных статьях предоставлена в систему Рос-
сийского индекса научного цитирования (РИНЦ) по договору
№ 573-03/2014К от 18.03.2014.

ISBN 978-5-8356-1800-2
ISSN 2311-0406

© Пензенский государственный
университет, 2022
© АННМО «Приволжский Дом знаний», 2022

*XXII International
scientific and technical conference*

**PROBLEMS OF INFORMATICS
IN EDUCATION, MANAGEMENT,
ECONOMICS AND TECHNICS**

December, 2022

Penza

1. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ИНФОРМАТИКА

УДК 004.94

МЕТОД ПРЕЦЕДЕНТОВ В МНОГОАГЕНТНОЙ КОНКУРИРУЮЩЕЙ СРЕДЕ

М.Ю. Бабич, В.Е. Кузнецов

THE METHOD OF PRECEDENTS IN A MULTI-AGENT COMPETTING ENVIRONMENT

M.Yu. Babich, V.E. Kuznetsov

Аннотация. Рассмотрен класс специализированных организационно-технических систем, описаны его специфические свойства. Отмечены возникающие проблемы прогнозирования состояния системы рассматриваемого класса и ее внешней среды. Для имитации функционирования системы с рассмотренными свойствами предложено использование технологии имитационного макетирования. Для ориентации в пространстве принимаемых решений проанализирован метод прецедентов. Приведена структура базы данных метода прецедентов для многоагентной системы, содержащей значения нечетких переменных. Показана необходимость существенного уменьшения объема хранящейся информации в базе данных прецедентов. Предложено упрощенное описание базы данных и многоагентной системы. Приведен пример применения предложенных методов.

Ключевые слова: организационно-техническая система, метод прецедентов, многоагентные системы, имитационное моделирование, нечеткая переменная.

Abstract. The class of specialized organizational and technical systems is considered, its specific properties are described. The emerging problems of predicting the state of the system of the class under consideration and its external environment are noted. To simulate the functioning of a system with the considered properties, the use of simulation prototyping technology is proposed. For

orientation in the space of decisions made, the method of precedents is analyzed. The structure of the precedent method database for a multi-agent system containing the values of fuzzy variables is given. The need for a significant reduction in the amount of information stored in the precedent database is shown. A simplified description of the database and multi-agent system is proposed. An example of the application of the proposed methods is given.

Key words: organizational and technical system, precedent method, multi-agent systems, simulation modeling, fuzzy variable.

Рассмотрим класс специализированных организационно-технических систем (СОС), которые обладают следующими свойствами:

существует подсистема управления (ПУ), обеспечивающая иерархическое управляющее воздействие на подчиненные ей ПУ или на всю систему;

СОС функционирует при большом количестве информационных НЕ-факторов;

СОС можно рассматривать в качестве многоагентной системы, агентами которой являются должностные лица (ДЛ) или ДЛ, управляющие техническими устройствами;

СОС конкурирует с аналогичной СОС, что требует имитации действия агентов двух типов (a^{red} – свои, a^{blue} – чужие) из множества агентов A^{red}, A^{blue} ($a^{red} \in A^{red}, a^{blue} \in A^{blue}$);

управляющее воздействие ПУ в конечном итоге направлено на агентов СОС, функционирование которых обеспечивает работу всей СОС;

ответственность за успешное функционирование СОС несет ДЛ в ПУ, которое принимает окончательное решение (ЛПР), возможно, на основе вариантов, выработанных в результате совещания с другими ДЛ или выданных системой поддержки принятия решений, развернутой в ПУ;

решение принимается в режиме реального времени, время принятия решения существенно ограничено;

процессы, протекающие в СОС и во внешней среде, трудно, если вообще возможно, формализовать (наличие НЕ-факторов, отсутствие статистики, неповторимость ситуаций).

В настоящее время создание имитационной модели функционирования СОС рассматриваемого класса предоставляет возможность поддерживать процесс принятия решений (выбор управляющих воздействий) путем моделирования их последствий при заданных состояниях СОС и ее внешней среды. Процесс принятия решения можно представить следующим образом:

- 1) получение и анализ входных данных о состоянии СОС и внешней среды;
- 2) получение вариантов управляющего воздействия;
- 3) выбор одного из вариантов управляющего воздействия;
- 4) имитация изменения состояния среды и СОС;
- 5) оценка последствий варианта управляющего воздействия;
- 6) если есть еще вариант, переход к п. 3;
- 7) принятие решения на основе наилучшего варианта.

Однако свойство СОС затрудняет реализацию приведенного алгоритма. В настоящее время появилось большое число публикаций, в которых говорится о невозможности прогнозирования состояния СОС, отмечаются проблемы моделирования, особенно в области силовых структур [1–6].

Одной из технологий, позволяющей имитировать плохо формализуемые процессы, является технология имитационного макетирования [7]. Один из принципов технологии – присутствие человека в процессе имитации, но не в качестве субъекта управляющего процессом моделирования, а в качестве объекта имитации.

Принципы, заложенные в предлагаемой технологии, затрудняют имитирование развития текущей ситуации непосредственно в процессе конкуренции: необходимо принимать решения за короткий отрезок времени. Происходят, скорее, обучение, тренировка ДЛ до начала реального функционирования СОС.

С другой стороны, присутствие человека и агентов двух типов (a^{red} , a^{blue}) создает игровую ситуацию между своими агентами и агентами конкурента, а ее использование дает возможность осуществить имитацию функционирования конкурента, который пытается скрыть свои цели и действия, осуществить мероприятия по введению ЛПР в заблуждение, что соответствует одной из особенностей рассматриваемых СОС. Это дает возможность отразить в модели человеческую реакцию на возникающие ситуации (эмоции, ошибки, хитрость). Для изучения свойств СОС, для анализа реакции ДЛ и ЛПР на ту или иную ситуацию необходимо уметь оценивать различные варианты действия конкурентов и наиболее удачные ответные меры, каким-то образом ориентироваться в пространстве принимаемых решений.

В базе данных имитационной модели запоминаются все осуществляемые действия своих агентов и действия конкурентов. Это дает возможность использовать для оценки управляющих воздействий метод прецедентов, отбирающий наиболее лучшие и худшие решения по воздействию на СОС своих ЛПР и ЛПР конкурента.

Возможности моделирования извлечения агентами информации методом прецедентов были исследованы многими авторами, например, [8–10]. В нашем случае метод прецедентов необходим как альтернатива сбору традиционных статистических результатов в рамках технологии имитационного макетирования.

Рассмотрим особенности метода прецедентов в многоагентных системах рассматриваемого класса.

База данных (БД) прецедентов будет выглядеть

$$W = (E, C, Q^T), \quad (1)$$

где E – матрица прецедентов; C – матрица принятых решений по каждому прецеденту; Q^T – транспонированный вектор оценок выполнения принятого решения для каждого прецедента.

Обозначим через m – количество прецедентов в БД, n – количество параметров каждого прецедента, k – количество параметров каждого решения, тогда

$$E = \{ (e_j^i)_{i=1}^m \}_{j=1}^n, \quad C = \{ (c_j^i)_{i=1}^m \}_{j=1}^k, \quad (2)$$

где e_j^i – параметр j для прецедента i ; c_j^i – параметр j для решения, соответствующего прецеденту i .

$$Q = \{ q^i \}_{i=1}^m, \quad (3)$$

где q^i – оценка решения, соответствующая прецеденту i .

Кроме того, прецедент характеризуется своими параметрами в некоторый момент времени t , то есть в БД должна храниться последовательность $\{ E(t) \}_{t=t_s}^{t=t_f}$:

$$W = (\{ E(t) \}_{t=t_s}^{t=t_f}, C, Q^T), \quad (4)$$

где t_s, t_f – время начала и конца прецедента.

Необходимо найти прецедент, ближайший к текущей ситуации, то есть к новому возникшему прецеденту e^{m+1} (точнее, временную последовательность прецедентов, ближайшую к текущей временной последовательности), и определить для него принятое решение [11]. Обозначим его через e^* , $e^{m+1} = e^*$.

Так как существуют НЕ-факторы, то в (1) вместе с четкими переменными могут присутствовать нечеткие или лингвистические переменные.

Каждый агент a определяется десяткой

$$a = (M_a^S, STR(p), I, G, L, R, m_a, p, str(p), r), \quad (5)$$

где M_a^S – множество моделей СОС Сили моделей Мира, как модель представляется конкретно агенту; m_a – выбранная агентом из M_a^S модель СОС;

p – цель агента; STR – множество стратегий достижения заданной цели агента; str – выбранная агентом из STR стратегия достижения заданной цели; I – множество объектов, которые «видит» агент, то есть они входят в m_a ; G – множество допустимых операций агента; L – множество допустимых операций адаптации (обучения) агента; R – множество ресурсов, доступных агенту; r – ресурсы, принадлежащие агенту в данный момент времени, $r \in R$. Для простоты будем принимать ресурсы агента в самом широком смысле. В них включим текущее время и координаты местонахождения агента.

Множество моделей СОС S , или моделируемый процесс M^S функционирования СОС, определяется в каждый момент времени t следующими множествами:

ресурсами СОС R^S , не принадлежащими агентам;
 топологией жизненного пространства Ω ;
 множествами агентов A^{red}, A^{blue} (свои, чужие);
 функцией F влияния агентов на внешнюю среду и наоборот.
 $M^S(t) = (R^S(t), \Omega(t), A^{red}(t), A^{blue}(t), F(t)).$ (6)

В Ω входят:

рельеф местности и картографические объекты;
 стационарные объекты, располагающиеся на местности, принадлежащие СОС;
 характеристики погодных явлений и их значения.

Так как нам требуется определить степень близости параметров прецедентов к параметрам текущей ситуации (новый прецедент e^*), а в описании прецедентов присутствует нечеткость, то необходимо ввести нечеткую меру близости – нечеткое расстояние. Нечеткое расстояние в общем случае можно определить, задавая соответствующую функцию принадлежности, или, что проще, определить исходя из понятия нечетких точек. С этой целью опишем понятие нечеткой точки.

Рассмотрим на плоскости некоторую окрестность U обычной точки. Введем характеристическую функцию принадлежности $\mu(z)$ с множеством принадлежности $[0, 1]$. Рассмотрим нечеткое множество U^m универсального множества плоскости, соответствующее функции принадлежности $\mu(z)$. Так как каждая точка на плоскости определяется парой координат (x, y) , то $\mu(z) = \mu(x, y)$. Функция принадлежности $\mu(x, y)$ определяет некоторое нечеткое бинарное отношение $(X, Y) \rightarrow [0, 1]$, где X, Y – множества значений координат (x, y) .

Введем следующие условия:

для любой точки (x, y) , принадлежащей U , выполняется $0 < \mu(x, y) \leq 1$;

для любой точки (x, y) , не принадлежащей U , выполняется $\mu(x, y) = 0$;
существует одна единственная точка (x_0, y_0) , принадлежащая U , в которой выполняется $\mu(x_0, y_0) = \max(\mu(x, y))$, где (x, y) – любая точка, принадлежащая плоскости.

Нечеткое множество U^n будем называть нечеткой точкой $U^n(x_0, y_0)$.

По некоторой заданной функции f_1 определим множество пар, состоящих из двух точек (u_1, u_2) , принадлежащих носителям двух нечетких точек U_1^n и U_2^n . Определим четкое расстояние ρ между ними, то есть для каждой пары выполняется

$$\rho(u_1, u_2) = \rho(f_1(U_1^n, U_2^n)). \quad (7)$$

Далее по заданной функции f_2 определим функцию принадлежности:

$$\mu(\rho(u_1, u_2)) = f_2(\mu_1(u_1), \mu_2(u_2)), \quad (8)$$

где $\mu_1(u_1)$, $\mu_2(u_2)$ – значения функций принадлежности точек u_1 , u_2 . Полученное нечеткое множество принимается за нечеткое расстояние ρ^n между двумя нечеткими точками.

Как известно, нечеткость приводит к разбуханию БД. Таким образом, если осуществлять многоагентное моделирование методом имитационного макетирования в полном объеме с учетом (1)–(8), то объем БД практически не позволит использовать метод прецедентов. Выполним упрощение приведенных описаний многоагентной модели.

Увеличим шаг дискретного времени моделирования. В этом случае уменьшится количество членов временной последовательности в (4), но иногда будет сложно адекватно представить изменение фазового портрета СОС.

Введем для каждого объекта модели свою временную последовательность, то есть в БД прецедентов будем запоминать только существенные изменения состояний объектов модели. Например, только время изменения траектории агента, а не всю его траекторию. Тогда существенно уменьшится объем информации, но возрастет нагрузка на программное обеспечение, поддерживающее метод прецедентов. Оно должно уметь определять, когда необходимо отражать в БД изменения состояния каждого объекта.

В (6) функция F является плохо формализуемой. Влияние агентов на среду и среды на агентов можно наблюдать по изменениям состояний агентов и среды. Поэтому для упрощения в методе прецедентов ее можно отбросить. Ресурсы R^S , как правило, являются стационарными, так как иначе они бы относились к агентам СОС. Поэтому их можно отнести к

стационарным объектам топологии Ω , состояние которых может меняться, например, склад материально-технического снабжения.

Следовательно, вместо (6) получаем

$$M^S(t) = (\Omega(t), A^{red}(t), A^{blue}(t)). \quad (9)$$

Рассмотрим топологию Ω . Будем считать, что топология определяет электронную карту местности. Топология может изменяться, например, состояние моста: пригоден к эксплуатации или нет. Достаточно хранить одну электронную карту на момент начала имитации и отмечать только изменения состояния объектов топологии.

Выберем из параметров в (5) самые необходимые. Удалим множество моделей или Мирозагента – $M_a^S(t)$. Упростим модель m_a , выбранную агентом: будем считать, что она состоит только из объектов, которые видит агент, то есть из множества I . Будем рассматривать не все множество стратегий, доступных агенту для достижения поставленной цели, а только выбранную стратегию – str . Считаем, что агент обучен, и удаляем множество допустимых операций обучения – L . Оставляем в прецеденте только ресурсы, доступные агенту в данный момент времени – r .

Выражение (5) упрощается:

$$a(t) = (I(t), G(t), p(t), str(p(t)), r(t)). \quad (10)$$

Для агентов из множества $A^{red}(t)$ пятерка (10) справедлива.

Агентов $A^{blue}(t)$ мы можем только наблюдать, нам не известны значения $I(t)$, $p(t)$, $str(p(t))$. Из ресурсов агента известны только время и координаты.

Вместо (10) получаем

$$\begin{aligned} a^{red}(t) &= (I^{red}(t), G^{red}(t), p^{red}(t), str^{red}(p(t)), r^{red}(t)), \\ a^{blue}(t) &= (G^{blue}(t), r^{blue}(t)) \end{aligned} \quad (11)$$

Уточним переменные в (9).

В Ω входят:

код электронной карты;

коды стационарных ресурсов из R , то есть код объекта и код состояния объекта;

характеристики погодных явлений и их значения.

В a^{red} входят:

I (коды объектов, координаты объектов, состояние объектов);

G (коды доступных операций);

p (код цели; время, отведенное на достижение цели; координаты цели);

str (код стратегии);

r (координаты агента; коды ресурсов; количество ресурсов).

Вместо I может быть максимальный радиус видимости сенсорных устройств. В этом случае объекты, которые видит агент, определяются из их местонахождения относительно окрестности видимости сенсорных устройств на электронной карте местности.

В a^{blue} входят:

G (код агента: наибольшее множество допустимых операций агента независимо от наличия необходимых ресурсов можно определить по его тактико-техническим характеристикам, то есть по описанию агента, которое находится по его коду);

r (координаты объекта).

Рассмотренные упрощения использовались в моделировании системы охраны объекта от проникновения нарушителей.

К действиям оператора в системе охраны относились:

противодействие (код равен 1);

отсутствие противодействия (код равен 0), начало времени ожидания (t_p);

невозможность противодействия (код равен -1).

Время ожидания t_p равно интервалу времени от начала отсутствия противодействия до завершения прецедента.

Начало прецедента – время входа хотя бы одного нарушителя в зону ответственности оператора.

Признаками завершения прецедента являются:

принятие решения, то есть окончание времени ожидания t_p или действие с кодом 1, -1 ;

выход нарушителя из зоны ответственности и отсутствие остальных нарушителей в зоне;

изменения числа нарушителей в зоне ответственности;

сохранение числа нарушителей в зоне ответственности, но замена одного нарушителя другим.

Приведем пример работы с нечеткими точками и нечетким расстоянием.

Необходимо было определить тип нарушителя, который оценивался нечеткой лингвистической переменной или нечеткой точкой *Type*. Максимальное количество областей нечеткой точки V_i и их характеристики приведены в таблице. Области – это полосы шириной, равной 3. Границы областей являются окружностями с центром в центре нечеткой точки и с радиусами $3i$, $3(i - 1)$. Здесь i – индекс области. Область V_1 имеет всего одну границу с радиусом, равным 3, а центр нечеткой точки, то есть центр области V_1 , выколот.

Оценка типа нарушителя

N	$\mu(x)$	Область	Наименование
1	1	Центр нечеткой точки	Тип определен, это <i>Ture</i>
2	0.8	V_1	Скорее <i>Ture</i>
3	0.5	V_2	Может быть <i>Ture</i>
4	0.2	V_3	Слабо похож на <i>Ture</i>
5	0	Вне нечеткой точки	Не <i>Ture</i>

Напомним, что звезда означает текущую ситуацию (e^*), то есть новый прецедент, и в нем необходимо определить тип нарушителя. Тип нарушителя в e^* рассматривается как нечеткая точка в соответствии с таблицей. Типы нарушителей прецедентов, хранящихся в БД, являются четкими значениями, то есть четкими точками.

Расстояние между всеми четкими точками *Ture* центром нечеткой точки $Ture^*$ принимается за 20. Тогда, например, ближнее расстояние между границей V_3^* ($i = 3$) и четкой точкой равно $20 - (3*3) = 11$, а между границей V_2^* ($i = 2$) и четкой точкой равно $20 - (3*2) = 14$. Дальнее расстояние между границей V_2^* и четкой точкой равно $20 + 3*2 = 26$.

Количество V_i определяется по максимальному номеру N из таблицы. Например, если тип нарушителя определен как «Может быть *Ture*», имеем: центр нечеткой точки, V_1^* , V_2^* . Рассчитаем нечеткое расстояние между этой нечеткой точкой и какой-либо четкой точкой из таблицы прецедентов. Вместо функций f_1, f_2 из (7), (8) определим следующий пессимистический алгоритм: для каждой области V_i^* рассчитываем расстояние от ее дальней границы до четкой точки; значение $\mu(x)$ берем из таблицы. $\rho^u = (1, 20; 0.8, 23; 0.5, 26)$. Здесь запятая разделяет значение функции принадлежности и четкое расстояние. После дефазификации нечеткого расстояния методом определения центра тяжести получаем

$$\rho = (1*20 + 0.8*23 + 0.5*26) / (1 + 0.8 + 0.5) = 51.5/2.3 = 22.34.$$

Библиографический список

1. Попов И. М., Хамзатов М. М. Война будущего. М.: Кучково поле, 2019. 832 с.
2. Дульнев П. А., Костокрызов А. И. О методическом подходе к оценке интегрального показателя эффективности управления формированиями Сухопутных войск в условиях имитационного моделирования общевойскового боя // Вестник академии военных наук. 2019. № 1 (66). С. 35–42.
3. Горчица Г. И., Дульнев П. А., Ищук В. А. Проблемные вопросы и перспективы применения имитационного моделирования по обеспечению виртуальных войсковых испытаний создаваемых комплексов вооружения

Сухопутных войск // Вестник академии военных наук. 2020. № 3 (72). С. 97–104.

4. Масленников О. В., Курочкин В. П., Алиев В. К. Об информатизации Вооруженных Сил Российской Федерации // Военная мысль. 2019. № 12. С. 57–67.

5. Кашеев А. М., Сазонов А. М., Кузин В. А. Проблемные вопросы создания и функционирования ситуационных центров субъектов Российской Федерации // Военная мысль. 2020. № 6. С. 92–99.

6. Иванов С. С., Педенко Н. П., Таня О. С. Методологические основы описания процессов общевойскового боя при имитационном моделировании // Военная мысль. 2020. № 3. С. 74–83.

7. Бабич М. Ю., Бахтияров Р. Ж., Гришанин Е. Г., Кузнецов В. Е., Чувашов А. А. Имитационное макетирование для специализированных организационно-технических систем // Радиопромышленность. 2021. Т. 31. № 1. С. 56–64.

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

9. Квятковская А. Е. Интеллектуальный агент и рассуждения по прецедентам как механизм сравнительного подхода к оценке стоимости бизнеса // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. 2015. № 4. С. 112–120.

10. Кужелев П. Д. Управление на основе метода прецедентов // Вестник МГТУ МИРЭА. 2014. № 4. С. 172–182.

11. Бабич М. Ю. Решение задач системы поддержки принятия решений в процессе управления распределенными, динамическими ресурсами // Информационно-измерительные и управляющие системы. 2014. № 4. С. 12–18.

**Бабич
Михаил Юрьевич
Кузнецов
Вячеслав Ефимович**
Акционерное общество
«Научно-производственное
предприятие «Рубин»,
г. Пенза, Россия

**Babich M.Yu.
Kuznetsov V.E.**
Joint Stock Company
«Scientific and Production
Enterprise «Rubin»,
Penza, Russia