

БОРТОВЫЕ ОПЕРАТИВНО-СОВЕТУЮЩИЕ ЭКСПЕРТНЫЕ СИСТЕМЫ – НОВЫЙ КЛАСС АЛГОРИТМОВ УПРАВЛЕНИЯ

Борис Федун

Аннотация: На основе анализа предметной области (типовые ситуации (ТС), семантические сети проблемных субситуаций (ПрС/С) для каждой из ТС), в которой действуют сложные технические (антропоцентрические) объекты, выявлена необходимость разработки специального класса бортовых интеллектуальных систем - бортовые оперативно-советующие экспертные системы (БОСЭС). Исследованы механизмы вывода, применяемые в БОСЭС. Представлены механизмы вывода, основанные на системе правил «если..., то..., иначе...»; на алгоритмах многокритериального выбора альтернатив Т.Саати; на алгоритмах, использующих матрицу знаний.

Ключевые слова: макромодель предметной области, бортовые оперативно-советующие экспертные системы: база знаний, механизмы вывода.

ACM Classification Keywords: H4.2 Decision support.

Conference: The paper is selected from XIVth International Conference "Knowledge-Dialogue-Solution" KDS 2008, Varna, Bulgaria, June-July 2008

1. Введение

К настоящему времени становится ясно, что желаемого резкого повышения эффективности вновь создаваемых антропоцентрических объектов (Антр/объектов) возможно достичь, главным образом, путем направления усилий конструкторов и ученых на совершенствование интеллектуальной составляющей «ядра» бортового комплекса Антр/объекта – совокупности алгоритмов бортовых цифровых вычислительных машин (БЦВМ – алгоритмы) и алгоритмов деятельности экипажа (АДЭ). Эта совокупность сейчас называется «бортовым интеллектом». Она из набора разрозненных систем бортового оборудования создает функционально целостный объект, нацеленный на выполнение главной задачи текущего сеанса функционирования Антр/объекта.

2. Макромодель антропоцентрического объекта для разработки спецификаций бортовых алгоритмов его системообразующего ядра.

Антропоцентрический объект (Антр/объект) представляется совокупностью бортовых измерительных (Б/Изм/Устройства) и исполнительных устройств (Б/Исп/Устройства), объединенную системообразующим ядром (борт Антр/объекта), в котором главенствующая роль принадлежит экипажу (оператору) и в котором оперативно решаются задачи первого (оперативное целеполагание) и второго (определение рационального пути достижения оперативно назначенной цели) глобальных уровней управления (I и II ГЛУУ) [1].

Экипаж Антр/объекта осуществляет управление объектом, его бортовым оборудованием в соответствии со своими алгоритмами деятельности через диалоговое общение с информационно-управляющим полем (ИУП) кабины экипажа; БЦВМ-алгоритмы, реализованные в бортовых цифровых вычислительных машинах (БЦВМ), объединенных в бортовую цифровую вычислительную систему (БЦВС); бортовые исполнительные устройства (Б/Исп/Устройства). Подчеркнем: алгоритмы решения задач системообразующего ядра реализуются либо на бортовых цифровых вычислительных машинах (БЦВМ-алгоритмы), либо экипажем (алгоритмы деятельности экипажа (АДЭ)).

Функционирование Антр/объекта представляется как совокупность генеральных задач сеансов функционирования, к каждому из которых готовится как экипаж (изучение технической документации,

наставлений и инструкций, инструктаж перед сеансом, работа с системой подготовки сеанса функционирования), так и Антр/объект (в БЦВМ-алгоритмы заносится из системы подготовки сеанса функционирования априорная информация о предстоящем сеансе функционирования, настраиваются бортовые измерительные и исполнительные устройства). Все сеансы функционирования представляются через семантические сети их типовых ситуаций (ТС), упорядоченных по причинно следственному отношению. Множество ТС общее для всех сеансов функционирования.

Каждая ТС представляется через семантическую сеть (упорядочение по причинно следственному отношению) проблемных субситуаций (ПрС/С).

Дадим краткую характеристику задач названных задач ГЛУУ.

3. Бортовые алгоритмы первого глобального уровня управления Антр/объектом.

В соответствие с генеральной задачей сеанса функционирования на этом уровне управления оперативно определяется текущая цель сеанса в форме назначения (выбора) ТС.

Анализ состояния современной научной базы показал, что оперативное решение задач I ГЛУУ (уровень целеполагания) с помощью БЦВМ – алгоритмов современной науке и практике не под силу и их решение в обозримом будущем будет возлагаться только на экипаж (АДЭ главным образом эвристического типа). Инженеры - проектировщики обязаны для этого разработать БЦВМ-алгоритмы, реализующие кабинную информационную модель внешней и внутри бортовой обстановки, позволяющей экипажу иметь ситуационную осведомленность и элементы ситуационной уверенности.

4. Бортовые алгоритмы второго глобального уровня управления Антр/объектом.

Задачи II ГЛУУ решаются либо экипажем (АДЭ) либо бортовыми оперативно советующими экспертными системами (БОСЭС) - специфическими БЦВМ-алгоритмами [1].

Бортовые оперативно советующие экспертные системы типовых ситуаций (БОСЭС ТС) функционирования предназначены для решения так называемых “тактических задач” – задач, определяющих рациональные пути достижения текущей цели функционирования, оперативно назначенной экипажем. Для каждой ТС создаётся своя БОСЭС ТС. В структуру базы знаний БОСЭС ТС положена формальная модель предметной области, в которой *генеральная задача сеанса функционирования* Антр/объекта, задаваемая перед началом сеанса, представляется через семантическую сеть *типовых ситуаций* (ТС), каждая из которых представляется в свою очередь через семантическую сеть *проблемных субситуаций* (ПрС/С). В ТС выделяется множество значимых событий – событий, несущих с собой проблемы, которые требуют либо немедленного разрешения, либо предварительного пространственно-временного прогноза их наступления (модель проблемы, механизмы ее разрешения), когда проблема будет требовать немедленного разрешения (математическая модель пространственно-временного прогноза, модель проблемы, механизмы ее разрешения).

Для современных Антр/объектов генеральную задачу функционирования часто совместно решает иерархически упорядоченная (по управлению) группа. Размещаемые на них БОСЭС ТС в этом случае должны работать согласовано не только со своим экипажем, но и между собой, образуя коалицию БОСЭС ТС. Трудности создания БОСЭС ТС, работающей в коалиции в настоящее время ни теоретически, ни практически не преодолены. В отличие от «коалиционных» БОСЭС ТС, автономно работающие БОСЭС ТС (даже в интересах совместного выполнения сеанса функционирования группы) прошли этап создания их теории и разработки исследовательских образцов. На повестке дня стоит задача создания базовых образцов БОСЭС ТС и выявления конструктивных механизмов их адаптации к бортовой информационной среде конкретного Антр/объекта. Технология разработки баз знаний таких БОСЭС ТС описаны в [1].

Перечислим основные особенности БОСЭС ТС [1]:

- она должна решать все проблемы «своей» ТС (быть замкнутой по проблемам ТС);
- иметь ограниченный диалог с экипажем (ограничения по временному лимиту, отпускаемому внешней обстановкой, и по возможностям ввода информации экипажем через ИУП кабины);
- алгоритмы и правила в базе знаний (БЗ) должны ориентироваться на структуры ситуационного управления;
- быть всегда согласованной с активизированной концептуальной моделью поведения оператора, вырабатывая рекомендации по разрешению возникшей текущей проблемы на уровне оператора-профессионала с достаточной для него значимостью;
- иметь «отложенную» компоненту самообучения.

Первую группу механизмов вывода составляют производственные правила. Они по информации от Б/Изм/Устройств, штатных бортовых алгоритмов и математических моделей (ММ) в базе знаний БОСЭС ТС активизируют ПрСС, адекватную сложившейся внешней обстановке.

Вторая группа механизмов вывода определяет рациональный способ разрешения активизированной ПрС/С. В эту группу входят, кроме производственных правил, механизмы вывода по прецедентам и механизм вывода, основанный на алгоритме многокритериального выбора альтернативы [2].

В общем случае структуры моделей мира, используемые в базах знаний БОСЭС ТС, содержат: семантическую сеть ПрС/С, значимые события, ситуационные векторы (SV), альтернативы решения возникшей проблемы, критерии выбора предпочтительной альтернативы, матрицы парных сравнений, матрицы знаний, прецеденты, математические модели (ММ). Возможна корректировка моделей мира как в процессе подготовки Антр/объекта к сеансу функционирования («Корректировка-1»), так и в процессе самого сеанса («Корректировка-2»). Особенности моделей мира для каждого типа механизмов вывода представлены в табл.1.

Таблица 1. Механизмы вывода и модели мира, используемые в базах знаний БОСЭС.

Механизмы вывода	Структуры моделей мира	ММ в модели мира	Корректировка-1	Корректировка-2
Производственные правила	SV; альтернативы решения проблемы	Нет	Нет	Нет
Многокритериальный выбор	Типы альтернатив, критерии, матрицы парных сравнений	Генерирование альтернатив по заданному типу	Допустимые типы альтернатив	Корректировка матриц парных сравнений
Вывод по прецеденту	Матрица знаний, включающую в себя SV, множество прецедентов	Нет	Нет	Нет

Описание структуры БОСЭС конкретных предметных областей можно найти в [4 - 7].

5. Механизмы вывода в базах знаний БОСЭС.

Остановимся кратко на описании назначения и облика механизмов вывода в базе знаний БОСЭС (рис.1, на рисунке использована терминология, соответствующая Антр/объекту типа самолет).

По текущей информации от бортовых измерительных устройств, «штатных» БЦВМ-алгоритмов, сигналов с информационно-управляющего поля (ИУП) кабины экипажа в базе знаний БОСЭС формируется ситуационный вектор SV(ТС-ПрС/С), описывающий состояние внешней и внутри бортовой обстановки для назначения (или идентификации) текущей ПрС/С. Механизм такого назначения назовём механизмом

вывода на множестве ПрС/С. Конструируют его на базе материалов работы с экспертами, являющимися специалистами в рассматриваемой предметной области. В БОСЭС эти механизмы реализуются в форме правил «если..., то..., иначе...», полнота и непротиворечивость которых достигается за счёт отработки БОСЭС на системах имитационного моделирования (СИМ) [1] совместно с экспертами.

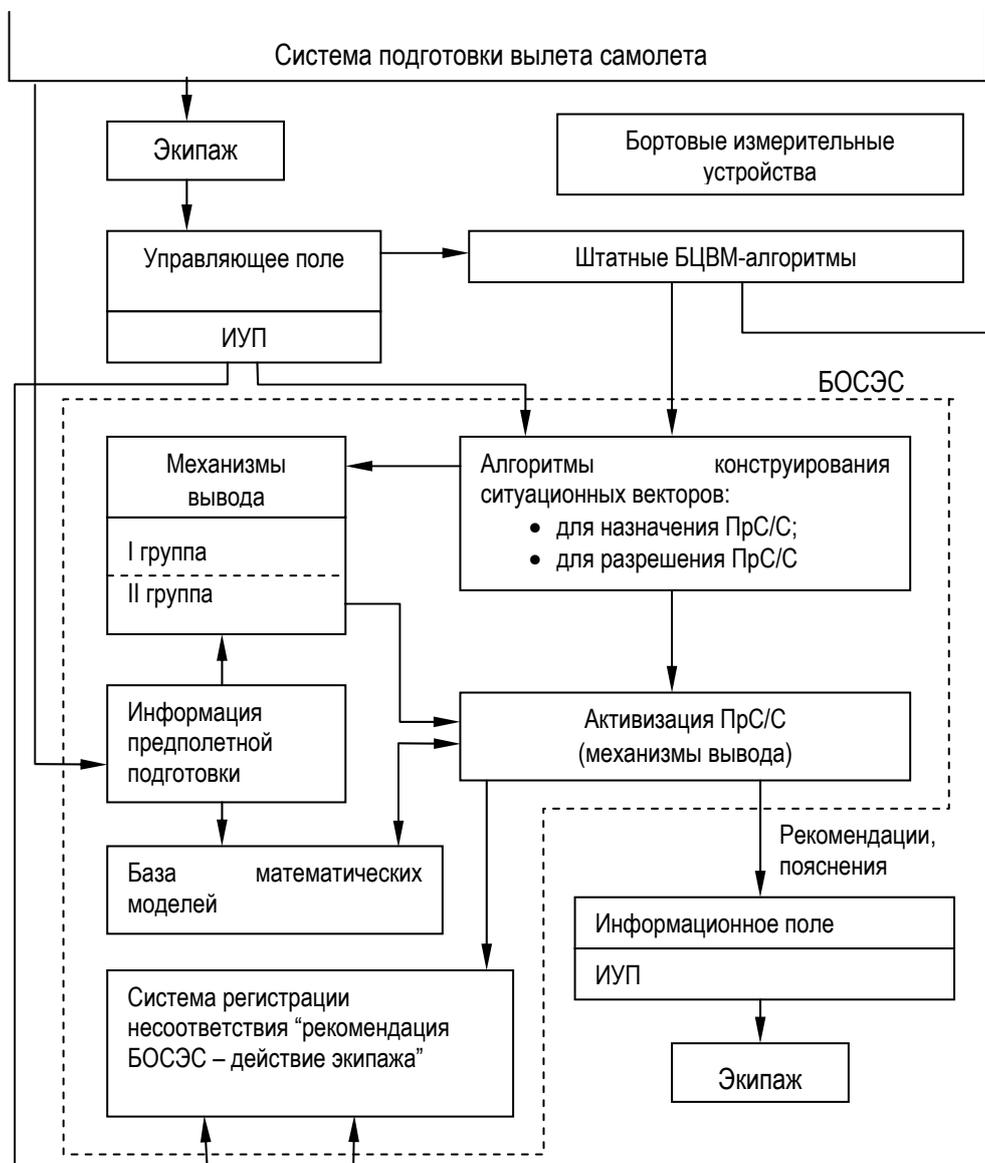


Рис. 1. Структура базы знаний БОСЭС

Используемые механизмы вывода (нахождения) рационального решения текущей ПрС/С представляются тремя типами механизмов. Первый тип - механизм идентичный упомянутому выше механизму назначения ПрС/С. Однако конструируют его для разрешения ПрС/С в базе знаний БОСЭС не столько на базе материалов работы с экспертами, сколько (и, прежде всего) по результатам математических исследований оптимизационных задач, формулировка которых адекватна рассматриваемым ПрС/С. Специфика ПрС/С в этом случае превалирует над формальными методами её рассмотрения. Обсуждению этого типа механизмов вывода посвящен первый раздел. Они апробированы в практике конструирования интеллектуальных систем, в том числе и при конструировании баз знаний БОСЭС.

Среди ПрС/С сеансов функционирования Антр/объектов есть такие, которые не поддаются полному адекватному формальному описанию. Как правило, они детально анализируются при подготовке экипажа к предстоящему сеансу функционирования. В результате такого системного анализа с учётом априорных сведений о возможных условиях наступления и протекания этой ПрС/С в предстоящем сеансе функционирования намечаются допустимые альтернативы её разрешения. Такие наработки используются в механизме вывода, построенном на базе алгоритма многокритериального выбора альтернативы, разработанного американским учёным Т.Саати. Во второй главе приведено описание механизма вывода этого (второго) типа. Механизм апробирован при построении фрагмента базы знаний, намеченной к разработке БОСЭС.

И, наконец, механизмы вывода третьего типа, ещё не апробированные в практике проектирования БОСЭС. При общении с экспертами и потенциальными пользователями БОСЭС часто приходится получать просьбы разработать механизмы предъявления экипажу удачного прецедента, подходящего для сложившейся ПрС/С. Наиболее адекватным механизмом вывода для таких случаев является механизм, использующий своеобразную матрицу знаний и описание ПрС/С через ситуационный вектор SV (ПрС/С-решение), координатами которого являются лингвистические переменные.

Эти три типа механизмов вывода, по-видимому, не исчерпывают всех возможных типов, присущих рассматриваемой предметной области и выбор их для приоритетного исследования, конечно, был обусловлен только имеющейся практикой разработки баз знаний первых версий известных БОСЭС. Далее остановимся только на механизмах вывода, предлагаемых для использования БОСЭС ТС при нахождении решения в ПрС/С.

5.1. Механизмы вывода на базе оптимизационных моделей.

Наиболее часто используется в БОСЭС механизм вывода первого типа – механизм, основанный на продукционных правилах. В разработанной (тем или иным способом) системе правил ситуационному вектору SV (ПрС/С-решение), описывающему через количественные координаты текущее состояние проблемы (левая часть продукционного правила), ставится в соответствие наиболее рациональный (оптимальный) способ ее разрешения (правая часть продукционного правила).

Остановимся кратко на наиболее часто встречающихся в практике проектирования баз знаний БОСЭС методах построения продукционных правил:

- интервьюирование экспертов,
- построение правил на базе результатов исследования оптимизационных моделей.

Построение правил на базе предварительного исследования проблемы на ее математической модели сродни процедуре построения правил на основе бесед с экспертами. В последнем случае сама модель проблемы и результаты ее «исследования» находятся в «голове» эксперта, а задача конструктора БОСЭС - провести цикл интервью с экспертами и затем формализовать полученные знания в форме некоторой совокупности правил. Результативность и трудности такого метода построения системы правил БОСЭС (процедуры вывода) обсуждалась в [2].

Не исключая использования такого метода, мы, тем не менее, отдаем предпочтение второму методу - методу построения правил на базе оптимизационных моделей, допуская при этом и возможность совместного использования обоих названных методов.

Итак, есть некоторая ПрС/С, к изучению которой мы намерены приступить. Опишем ее состояние некоторым вектором SV (ПрС/С-решение) координаты которого будут принимать только количественные значения. Создадим математическую модель (ММ) этой ПрС/С, включающую в себя:

- множество допустимых способов ее разрешения,
- механизмы связи каждого конкретного способа разрешения ПрС/С с результатом воздействия этого способа на ПрС/С (связь «способ – исход»),
- механизм оценки качества каждого исхода.

Поставим задачу нахождения наиболее предпочтительного (оптимального по критерию оценки качества) способа разрешения изучаемой ПрС/С.

Как видим, эта ММ представлена в форме оптимизационной задачи, решение которой будем искать в форме синтеза (ситуационного) управления.

Примеры формулировок таких оптимизационных задач, которые приходилось решать при разработке баз знаний конкретных БОСЭС и результаты их решения даны в [7].

На основе полученного решения (синтеза) формулируются правила рационального разрешения изучаемой ПрС/С. В правой части правила - значения координат вектора $SV(\text{ПрС/С-решение})$, в левой части правила – соответствующий рациональный способ разрешения ПрС/С при таком конкретном описании проблемы. Примеры таких правил приведены в [4,5].

5.2. Механизмы вывода, построенные на базе алгоритмов многокритериального выбора.

Для ряда Антр/объектов (например, для пилотируемых летательных аппаратов) выделяются ПрС/С, сложность которых не позволяет сформулировать для них адекватные оптимизационные математические задачи, но для которых их экипажи на этапе подготовки к предстоящему сеансу функционирования Антр/объекта вырабатывают:

- а) множество альтернативных способов разрешения ПрС/С (альтернативы $\{A_i\} = (A_1, \dots, A_i, \dots, A_n)$ разрешения ПрС/С);
- б) множество критериев $\{K_j\} = (K_1, \dots, K_j, \dots, K_k)$ оценки результата применения каждой альтернативы (критерии предпочтения).

При этом реализовавшаяся в сеансе функционирования конкретная ПрС/С этого типа, как правило, требует определенной адаптации каждой альтернативы A_i и, возможно, оперативной переоценки относительной важности критериев $\{K_j\}$.

Оперативный многокритериальный выбор наиболее предпочтительной альтернативы будем производить, используя метод парных сравнений Т. Саати [8].

Пусть имеется некоторая проблема и заданы альтернативы ее решения. Пусть в каждой альтернативе нас интересуют вполне определенные ее свойства, по которым мы будем сравнивать альтернативы при выборе наиболее приемлемой для нас. Назовем эти свойства критериями сравнения. Пусть имеется несколько критериев, по которым сравниваются альтернативы. Пусть имеется эксперт (эксперты), который имеет достаточно ясное представление о проблеме и об альтернативах решения этой проблемы, чтобы проводить их по парное сравнение по каждому критерию.

Метод многокритериального выбора альтернативы является систематической процедурой иерархического упорядочения элементов проблемы, позволяющей ранжировать альтернативы в порядке их предпочтительности по совокупности заданных критериев сравнения.

В базе знаний БОСЭС содержится математическая модель (ММ) генерирования вариантов альтернатив разрешения ПрС/С допустимых типов, вводимых в БОСЭС на этапе подготовки к сеансу функционирования Антр/объекта (для пилотируемых летательных аппаратов при подготовке вылета). ММ содержит алгоритмы вычисления значения критериев $K_j \in \{K_j\}$ для каждой генерируемой альтернативы.

На вход ММ подается текущая информация, характеризующая ПрС/С и допустимые типы альтернатив разрешения этой ПрС/С. В ММ на основании допустимых типов альтернатив и сложившихся условий наступления ПрС/С:

- генерируется полный набор альтернатив $\{A_i\}$ допустимых типов,
- для каждой альтернативы $A_i \in \{A_i\}$ рассчитываются числовые значения каждого критерия $K_j \in \{K_j\}$.

При этом возможна оперативная корректировка (БЦВМ-алгоритмом или экипажем) значений части координат вектора SV(ПрС/С-решение), характеризующих возникшую ПрС/С.

Таким образом, каждая альтернатива (из множества, сгенерированного ММ) охарактеризована вектором, координаты которого являются числовыми значениями критериев K_j .

На основании этих векторов составляются матрицы парных сравнений альтернатив для каждого критерия.

Отдельно стоит остановиться на матрице парных сравнений критериев. Ее составление требует максимального учета предпочтений экипажа, сформировавшихся у него на основании анализа сложившейся текущей (для сеанса функционирования) обстановки. Учитывая весьма скромные возможности экипажа по вводу такой информации, при составлении этой матрицы нужно максимально использовать свойство транзитивности матриц парных сравнений.

Вектор итоговых «весов» альтернатив рассчитывается после этого по алгоритму.

Пусть есть несколько альтернатив решения проблемы $A_1, \dots, A_i, \dots, A_n$, которые нужно упорядочить по критериям $K_1, \dots, K_j, \dots, K_s$.

Для каждого критерия K_j на основании матрицы парных сравнений проведем оценку «весов» альтернатив A_1, \dots, A_n

$$S(K_j) = \{S_1(K_j), \dots, S_i(K_j), \dots, S_n(K_j)\}$$

Для критериев методом парных сравнений с оценкой результатов сравнения по шкале Т.Саати определим «веса» их важности для исследователя $S = \{S_1, \dots, S_j, \dots, S_s\}$.

Тогда естественно для каждого A_i его «вес» по критерию $S_i(K_j)$ учитывать в итоговом по всем критериям «весе», умноженным на «вес» важности этого критерия.

Итоговый вес (приоритет, рейтинг) i -го предмета определяется по формуле

$$\|R_1, \dots, R_i, \dots, R_n\| = \|S_1, \dots, S_j, \dots, S_s\| \begin{vmatrix} S_1(K_1) & \dots & S_i(K_1) & \dots & S_n(K_1) \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ S_1(K_j) & \dots & S_i(K_j) & \dots & S_n(K_j) \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ S_1(K_s) & \dots & S_i(K_s) & \dots & S_n(K_s) \end{vmatrix}$$

Итоговое ранжирование альтернатив A_1, \dots, A_n в задаче многокритериального выбора проводят по полученным итоговым «весам». Альтернатива с наибольшим итоговым «весом» является наиболее предпочтительной по всему множеству критериев сравнения

Пример реализации описанного механизма вывода дан в [9].

5.3. Механизмы вывода, основанные на прецедентах.

Эти механизмы вывода применяются в ПрС/С, сложность которых не позволяет провести их конструктивную формализацию, но по которым имеется опыт (прецеденты) их успешного разрешения.

Одна из трудностей этого подхода состоит в правильном подборе координат $(x_1, \dots, x_i, \dots, x_n)$ ситуационного выбора SV(ПрС/С-решение) как по их количеству, так и по форме представления каждой координаты. Полнота описания ситуационного вектора и связь конкретного вектора с конкретным прецедентом устанавливается при длительной работе с экспертами - действительными носителями этого знания.

Как правило, координаты ситуационного вектора суть лингвистические переменные.

5.3.1. Матрицы знаний по прецедентам.

Пусть состояние ПрС/С описывается ситуационным вектором с координатами $(x_1, \dots, x_i, \dots, x_n)$ и каждая координата x_i - лингвистическая переменная с множеством термов $A_i = \{a_i^1, \dots, a_i^j, \dots, a_i^{K_i}\}$. Для некоторых конкретных реализаций ситуационного вектора, когда каждая лингвистическая переменная принимает одно из своих возможных значений (конкретный терм), есть прецедент успешного разрешения этой ПрС/С.

Пусть накоплено множество $d_j, j = 1, \dots, p$ прецедентов и каждый из них связан с множеством конкретных ситуационных векторов, при которых он (прецедент) был избран.

Составим матрицу такого соответствия (табл.2). Сгруппируем строки матриц по прецедентам (блок прецедента). Каждая строка матрицы представляет собой конкретный ситуационный вектор, при котором в прошлом успешно реализовался соответствующий прецедент.

Перенумеруем строки блока прецедента d_j двумя индексами: первый индекс – номер прецедента (здесь он является номером блока), второй индекс – порядковый номер ситуационного вектора в этом блоке.

Таблица 2. Матрица знаний и механизм вывода на ней.

№ п/п	Координаты ситуационного вектора					min	max	d
	x_1		x_i		x_n			
:	:	:	:	:	:	:	:	:
j_1	$(a_1^{j_1})^*$	.....	$(a_i^{j_1})^*$	.....	$(a_n^{j_1})^*$	$\min_i (a_i^{j_1})^*$	$\max_{j_s} \min_i (a_i^{j_s})^*$	μ_{d_j}
:	:	:	:	:	:	...		
j_s	$(a_1^{j_s})^*$	.....	$(a_i^{j_s})^*$	.....	$(a_n^{j_s})^*$	$\min_i (a_i^{j_s})^*$		
:	:	:	:	:	:	...		
j_{K_j}	$(a_1^{j_{K_j}})^*$	.....	$(a_i^{j_{K_j}})^*$	.....	$(a_n^{j_{K_j}})^*$	$\min_i (a_i^{j_{K_j}})^*$		
:	:	:	:	:

Введённая матрица определяет систему логических высказываний вида «если ..., то ..., иначе ...». Например, строка матрицы j_1 шифрует высказывание:

$$\text{Если } x_1 = a_1^{j_1} \text{ и } x_2 = a_2^{j_1} \text{ и } \dots \text{ и } x_i = a_i^{j_1} \text{ и } \dots \text{ и } x_n = a_n^{j_1}, \text{ то } d_j, \quad (3.1)$$

иначе аналогичное выражение для следующей строки и т. д.

Полученную упорядоченную таким образом систему логических высказываний называют нечёткой матрицей знаний или просто – матрицей знаний.

5.3.2. Алгоритм вычисления функции принадлежности прецедента d_j .

Прежде всего, представим алгоритм [12] определения функции принадлежности $\mu_{d_j}(x_1, \dots, x_i, \dots, x_n)$ прецедента d_j , интерпретируемого как нечёткое множество на универсальном множестве. $Ud = Ux_1 \times \dots \times Ux_i \times \dots \times Ux_n$, где Ux_i - универсальное множество, на котором заданы термы лингвистической переменной x_i , а Ud – декартово произведение универсальных множеств Ux_i .

Каждое логическое высказывание типа (3.1) или, что тоже, каждая строка матрицы знаний представляет собой нечёткое отношение соответствующих нечётких множеств. Так для (3.1.) это будет $a_1^{j_1} \times a_2^{j_1} \times \dots \times a_n^{j_1}$

Функция принадлежности нечёткого множества, образованного этим нечетким отношением в соответствии с [10,11] будет

$$\mu_{a_1^{j_1}}(x_1) \wedge \dots \wedge \mu_{a_i^{j_i}}(x_i) \wedge \dots \wedge \mu_{a_n^{j_n}}(x_n),$$

где через “ \wedge ” обозначена операция “min”.

Анализируя весь блок логических высказываний, относящийся к прецеденту d_j (блок соответствующих строк матрицы знаний), замечаем, что они представляют собой объединение соответствующих нечётких множеств, образовавшихся при рассмотрении строк выделенного блока. Функция принадлежности этого объединения, отождествляемая с функцией принадлежности прецедента d_j , в соответствии с [10,11] будет

$$\begin{aligned} \mu_{d_j}(x_1, \dots, x_i, \dots, x_n) = & (\mu_{a_1^{j_1}}(x_1) \wedge \dots \wedge \mu_{a_i^{j_i}}(x_i) \wedge \dots \wedge \mu_{a_n^{j_n}}(x_n)) \vee \\ & \dots \vee (\mu_{a_1^{j_{k_j}}}(x_1) \wedge \dots \wedge \mu_{a_i^{j_{k_j}}}(x_i) \wedge \dots \wedge \mu_{a_n^{j_{k_j}}}(x_n)) \end{aligned}$$

где через « \vee » обозначена операция “max”.

Формально представленный алгоритм определения функции принадлежности прецедента d_j можно записать в виде:

а) фиксируем произвольную точку $(x_1^*, \dots, x_i^*, \dots, x_n^*) \in U_{x_1} \times \dots \times U_{x_i} \times \dots \times U_{x_n}$,

б) для каждого блока матрицы знаний, соответствующего d_j , определяем $\mu_{d_j}(x_1, \dots, x_i, \dots, x_n)$ в этой точке согласно схеме таб. 2.

Заметим, что для фиксированной точки $(x_1^*, \dots, x_i^*, \dots, x_n^*)$ блок матрицы, представленный в табл. 3., является числовым, так как вместо каждого термина $a_i^{j_s}$ из этого блока поставлено значение его функции принадлежности $(a_i^{j_s})^*$, вычисленное в соответствующей x_i^* . Операция $\min_i a_i^{j_s}$ производится над числами, стоящими в строках “i”, $1 \leq i \leq n$ и в столбец “min” заносится минимальное число в соответствующей строке. Операция $\max_{j_s} \min_i a_i^{j_s}$ выделяет среди полученных строчных минимумов $1 \leq j_s \leq K_j$ наибольший. Это число и является значением функции принадлежности $\mu_{d_j}(x_1, \dots, x_i, \dots, x_n)$ в этой фиксированной точке $(x_1^*, \dots, x_i^*, \dots, x_n^*)$. Проведя такие вычисления для каждой точки универсального множества, получим интересующие нас функции принадлежности.

5.3.3. Алгоритм выбора прецедента при наблюдении ситуационного вектора с количественными координатами

При наблюдении ситуационного вектора [12] с количественными координатами (все координаты вектора измерены по числовым шкалам) для выбора наиболее подходящего прецедента вовсе нет необходимости полностью определять функции принадлежности $\mu_{d_j}(x_1, \dots, x_i, \dots, x_n)$ на всем множестве точек универсального множества. Достаточно рассчитать их значение только для фиксированных числовых значений координат вектора, который мы получили в результате наблюдения. Для этого придется однократно воспользоваться алгоритмом п. 5.3.2, беря в качестве $(x_1^*, \dots, x_i^*, \dots, x_n^*)$ координаты наблюдаемого ситуационного вектора.

В результате для каждого прецедента d_j мы получим число $d_j(x_1^*, \dots, x_i^*, \dots, x_n^*)$, являющееся степенью принадлежности d_j точке $(x_1^*, \dots, x_i^*, \dots, x_n^*)$.

Исходя из такой интерпретации, наиболее предпочтительным прецедентом для разрешения наблюдаемой ПрС/С будет прецедент d_j^* , для которого

$$d_j^*(x_1^*, \dots, x_i^*, \dots, x_n^*) = \max_{1 \leq j \leq p} d_j(x_1^*, \dots, x_i^*, \dots, x_n^*).$$

Заключение

1. Бортовые оперативно советующие экспертные системы (БОСЭС) – интеллектуальные системы, решающие задачи второго глобального уровня управления, Они предлагают экипажу эффективный способ достижения оперативно поставленной цели (задачи) в каждый текущий момент сеанса функционирования антропоцентрического объекта.

2. Адекватными механизмами вывода в базе знаний БОСЭС являются:

- продукционные правила,
- многокритериальный выбор альтернативы,
- вывод по прецеденту.

3. Разработка баз знаний БОСЭС требует использования новой макро модели антропоцентрического объекта, использующей понятия:

а) для описания среды функционирования антропоцентрического объекта:

- сеанс функционирования,
- семантическая сеть типовых ситуаций,
- семантическая сеть проблемных субситуаций;

б) для описания семантической структуры антропоцентрического объекта:

- первый глобальный уровень управления,
- второй глобальный уровень управления,
- третий глобальный уровень управления.

Литература

- [1] Федунев Б.Е. Проблемы разработки бортовых оперативно-советующих экспертных систем. // Изв. РАН. Теория и системы управления, № 5, 1996.
- [2] Федунев Б.Е. Механизмы вывода в базе знаний бортовых оперативно советующих экспертных систем. // Изв. РАН. Теория и системы управления, №4, 2002.
- [3] Федунев Б.Е. Бортовые оперативно советующие экспертные системы тактических самолетов пятого поколения (обзор по материалам зарубежной печати). М.: НИЦ ГосНИИАС, 2002.
- [4] Романова В.Д., Федунев Б.Е., Юневич Н.Д. Исследовательский прототип БОСЭС «Дуэль». // Изв. РАН. Теория и системы управления, № 5, 1995.
- [5] Авиация ПВО и научно - технический прогресс. Под редакцией акад. РАН Е.А.Федосова. — М: Дрофа, 2001.
- [6] Гейтс Билл. Бизнес со скоростью мысли. Пер. с английского. — Эксмо-пресс.2001.
- [7] Васильев С.Н., Жерлов А.К., Федосов Е.А., Федунев Б.Е. Интеллектуальное управление динамическими системами. М., Физматлит. 2002.
- [8] Саати Т., Кернс К. Аналитическое планирование. Организация систем. М.: Радио и связь, 1991.
- [9] Мусарев Л.М., Федунев Б.Е. Структура бортовых алгоритмов целераспределения командира. // Изв. РАН. ТиСУ. 2001. №6.
- [10] Заде Л. Понятие лингвистической переменной и её применение к принятию приближённых решений. М.: Радио и связь, 1976.
- [11] Кофман А. Введение в теорию нечетких множеств. М.: Радио и связь, 1982.
- [12] Ротштейн А.П. Интеллектуальные технологии идентификации. Винница: Универсум, 1999.

Информация об авторе

Федунев Борис Евгеньевич – ФГУП ГосНИИ авиационных систем (ГосНИИАС); Москва, ул. Викторенко 7; Тел (495) 157-93-49. Email: boris_fed@gosnias.ru