

Раздел 1

Искусственный интеллект и нечеткие системы

УДК 007:159.955

Б.Е. Федун

БОРТОВЫЕ ОПЕРАТИВНО-СОВЕТУЮЩИЕ ЭКСПЕРТНЫЕ СИСТЕМЫ ТИПОВЫХ СИТУАЦИЙ И СЕМАНТИЧЕСКИЙ ОБЛИК ИХ БАЗ ЗНАНИЙ

Введение. Для современных сложных технических антропоцентрических объектов начата разработка бортовых оперативно советующих экспертных систем типовых ситуаций (БОСЭС ТС) алгоритмов их функционирования. Остановимся на наиболее представительном классе антропоцентрических объектов – летательных аппаратах, в частности, самолетах. БОСЭС ТС полета летательного аппарата предназначены для решения задач второго глобального уровня управления [Федун, 1996; Федун, 1998]. Это так называемые “тактические задачи” – задачи, определяющие рациональные пути достижения текущей цели полета, оперативно назначаемой экипажем. Для каждой ТС создается своя БОСЭС ТС. В структуру базы знаний БОСЭС ТС положена формальная модель предметной области [2], в которой генеральная задача вылета самолета, задаваемая перед полетом, представляется через семантическую сеть типовых ситуаций полета (ТС), каждая из которых представляется в свою очередь через семантическую сеть проблемных субситуаций (ПрС/С).

1. Особенности БОСЭС ТС. «Внешним миром», в котором будет работать БОСЭС ТС, является бортовая информационная среда самолета (рис.1), формируемая выходной информацией бортовых измерительных устройств, «штатных» (не входящих в БОСЭС ТС) бортовых БЦВМ-алгоритмов и сигналов с информационно-управляющего поля (ИУП) кабины экипажа. По результатам предполетной подготовки из интеллектуальной системы подготовки самолета к вылету в БОСЭС ТС загружается априорная информация по предстоящему вылету. По каждой значимой для выполнения ТС проблемной субситуации БОСЭС ТС вырабатывает для экипажа рекомендации по ее разрешению с краткими пояснениями. Рекомендации и пояснения к ним появляются на ИУП (информационная часть) кабины экипажа. Экипаж вправе не принять выработанную БОСЭС рекомендацию и разрешить возникшую проблемную субситуацию другим способом, ничего не сообщая об этом БОСЭС ТС. При этом следующую рекомендацию БОСЭС ТС должна будет уже выработать с учетом реализованного экипажем способа. Любое игнорирование экипажем выработанной БОСЭС рекомендации фиксируется в бортовой системе объективного контроля (на рис.1 «Система регистрации несоответствия “рекомендация БОСЭС – действие экипажа”») и после окончания полета эта информация

передается в интеллектуальную систему анализа результатов полета (на рис.1 не указана).

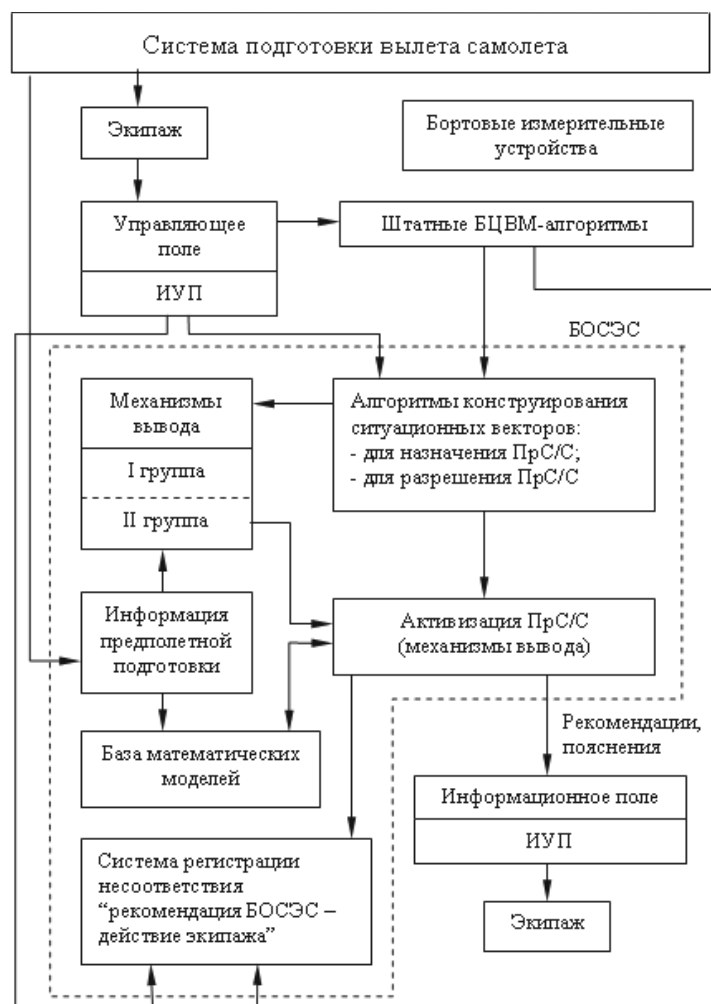


Рис.1. Функциональная схема БОСЭС ТС

Рекомендации БОСЭС должны быть постоянно согласованными с активизированной моделью поведения экипажа на концептуальном и оперативном уровнях. Экипаж воспринимает внешний мир и само техническое состояние самолета (внутри-бортовой мир) через свои органы чувств и кабинную информационную модель внешней и внутри-бортовой обстановки на ИУП (см. рис.1). Обладая профессиональной подготовкой и имея априорную информацию (самую общую о внешнем мире и конкретную о предстоящем полете), экипаж в рамках своей активизированной модели поведения в этой ТС каждый раз выделяет текущую проблему (ПрС/С),

не сообщая об этом БОСЭС ТС. Именно по этой ПрС/С БОСЭС ТС должна дать в текущий момент обоснованную и эффективную рекомендацию по ее разрешению.

Перечислим основные особенности БОСЭС ТС: 1) она должна решать все проблемы «своей» ТС (быть замкнутой по проблеме ТС); 2) иметь ограниченный диалог с экипажем (ограничения по временному лимиту, отпускаемому внешней обстановкой, и по возможностям ввода информации экипажем через ИУП кабины); 3) алгоритмы и правила в базе знаний (БЗ) должны ориентироваться на структуры ситуационного управления; 4) быть всегда согласованной с активизированной концептуальной моделью поведения экипажа, вырабатывая рекомендации по разрешению возникшей текущей проблемы на уровне оператора-профессионала с достаточной для него значимостью; 5) иметь «отложенную» [Федунов, 1996] компоненту самообучения.

Структура таких БОСЭС (см. рис.1) и технология их разработки описаны в [Федунов, 1996].

2. Структура базы знаний БОСЭС ТС. БОСЭС ТС будет всегда работать (в реальном времени) в партнерстве с экипажем, постоянно вырабатывая и предъявляя ему рекомендации по рациональному способу разрешения текущей проблемы (ПрС/С). При этом оператор в рамках активизированной ТС не будет оповещать БОСЭС о наступившей проблеме и о необходимости предоставления ему рекомендаций по ее разрешению. Более того, оператор может не принять (не оповещая об этом БОСЭС) выработанную БОСЭС рекомендацию и БОСЭС должна дальше работать с учетом принятого оператором решения (принятого даже вопреки ее рекомендации).

Подчеркнем, что БОСЭС ТС должна разрешать все ПрС/С, которые могут возникнуть в рассматриваемой ТС как вследствие «агрессивности» внешнего мира (окружающей носителя БОСЭС реальности), так и вследствие отказов бортовой измерительной и исполнительной аппаратуры (внутри-бортовая обстановка).

В базе знаний БОСЭС (см. рис.1) блоки: «Бортовые измерительные устройства», «Экипаж») в полной мере используется: а) априорная информация о генеральной задаче вылета самолета и ожидаемых условиях ее выполнения, содержащаяся в полетном задании для экипажа самолета, подготовленном во вне-бортовой системе подготовки вылета самолета; б) текущая качественная и количественная информация, поступающая от бортовых измерительных устройств, из ИУП кабины (от экипажа) и из «штатных» БЦВМ-алгоритмов.

В соответствии с моделью предметной области [Федунов, 1996; Федунов, 1998] и из опыта разработки исследовательских прототипов БОСЭС ТС [Романова и др., 1995; Федунов, 2002] в ее базе знаний должны быть (см. рис.1): а) двухуровневая (по семантике) иерархическая база механизмов вывода; б) база математических моделей; в) блок формирования комментариев к выработанным рекомендациям; г) блок регистрации отказов экипажа от рекомендаций.

Первый иерархический уровень базы механизмов вывода строится на производственных правилах. Система правил типа «если...., то....., иначе.....» обеспечивает выбор (активизацию) ПрС/С и активизацию необходимых в ней математических моделей значимых событий (первый иерархический семантический уровень: блок «Активизации ПрС/С» (см. рис.1). Все правила сконструированы по принципу ситуационного управления (левые части правил зависят только от фазовых координат, которыми описывается текущая ПрС/С).

Механизмы вывода второго иерархического уровня обеспечивают выбор рационального способа разрешения этой ПрС/С. Подробнее их реализация рассмотрена ниже.

База математических моделей (ММ) значимых (для этой ТС) событий, обеспечивающих пространственно-временной прогноз их наступления (первый тип ММ), и ММ, обеспечивающие генерирование и ранжировку текущего множества допустимых решений (второй тип ММ); ММ, оценивающих ненаблюдаемые фазовые координаты (третий тип ММ в большинстве случаев реализуется в «штатных» бортовых алгоритмах). Среди различных типов ММ выделяются ММ, построенные на базе систем дифференциальных уравнений с точным и интервальным знанием параметров.

Блок предъявления экипажу рекомендаций и объяснений к ним (см. рис.1), посылает экипажу на индикаторах и речевых информаторах ИУП кабины соответствующую информацию. Рекомендации экипажу предъявляются в «естественном» для них месте на ИУП кабины. Они кратки и «мгновенно» воспринимаемы экипажем.

Блок регистрации отказов экипажа от использования рекомендаций БОСЭС [Романова и др., 1995] фиксирует в штатной бортовой системе объективного контроля (СОК) носителя БОСЭС (на рисунке (см. рис.1) не указан) отвергнутую рекомендацию, принятое экипажем решение, текущие условия полета. Блок вместе с механизмом «Листков совершенствования БЗ БОСЭС» [Федунов, 1996] реализует компоненту отложенного «самообучения» БОСЭС.

Из изложенного следует, что база знаний БОСЭС относится к типу стационарных. Абсолютное время в ней реализуется через: событийную шкалу значимых событий, генерируемых ММ первого типа; смену правил выработки рекомендаций при смене ПрС/С; постоянное использование структур ситуационного управления.

Пример семантической структуры базы знаний БОСЭС ТС «Дальний воздушный бой» (БОСЭС «Дуэль») дан в [Козловских и др., 1995].

Разработка практически значимых БОСЭС ТС ведется в соответствии с нормативно-технической документацией (НТД) и проходить через соответствующие этапы контроля целостности и полноты ее базы знаний [Федунов, 2002].

Разработанная база знаний БОСЭС ТС представляется семантическим паспортом БОСЭС, по которому осуществляется экспресс-контроль полноты и глубины спроектированной БЗ БОСЭС ТС и контроль вписываемости рекомендаций БОСЭС ТС в семантический облик ИУП кабины экипажа.

Семантический паспорт БОСЭС включает в себя следующую информацию:

1) состав ПрС/С, включенных в базу знаний БОСЭС; 2) состав значимых событий ТС; 3) количество семантических уровней иерархии в базе правил, количество правил на каждом уровне иерархии и примененные там механизмы вывода; 4) состав и количество ММ; 5) перечень рекомендаций экипажу (по каждой ПрС/С), их содержание и форма предъявления на ИУП; 6) число и содержание ручных операций экипажа (по каждой ПрС/С, на которые ориентирована БОСЭС ТС).

3. Механизмы вывода в базе знаний БОСЭС ТС. Остановимся кратко на описании назначения и облика механизмов вывода в базе знаний БОСЭС ТС (см. рис.1).

По текущей информации от бортовых измерительных устройств, «штатных» бортовых БЦВМ-алгоритмов, сигналов с информационно-управляющего поля (ИУП) кабины экипажа в базе знаний БОСЭС ТС формируется ситуационный век-

тор V (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 ТС эти механизмы реализуются в форме правил «если..., то..., иначе...», полнота и непротиворечивость которых достигается за счёт отработки БОСЭС ТС на системах имитационного моделирования (СИМ) [Федунов, 1996] совместно с экспертами.

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, адекватных рассматриваемым ПрС/С. Специфика ПрС/С в этом случае превалирует над формальными методами её рассмотрения. На этом типе механизмов вывода кратко остановимся ниже. Эти механизмы апробированы в практике конструирования интеллектуальных систем, в том числе и при конструировании баз знаний БОСЭС ТС.

Среди ПрС/С полёта летательных аппаратов есть такие, которые не поддаются полному адекватному формальному описанию. Как правило, они детально анализируются при подготовке экипажа к вылету. В результате такого системного анализа с учётом априорных сведений о возможных условиях наступления и протекания этой ПрС/С в предстоящем вылете летательного аппарата намечаются допустимые альтернативы её разрешения. Такие наработки используется во втором типе механизмов вывода, построенном на базе алгоритма многокритериального выбора альтернативы, разработанного Т. Саати.

Рассмотрим механизмы вывода третьего типа. 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 создаваемый совместно с экспертами ситуационный вектор V(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 рассмотрения был обусловлен только имеющейся практикой разработки баз знаний первых версий российских и зарубежных БОСЭС ТС.

3.1. Первый тип механизмов вывода – механизм, основанный на продукционных правилах. В нем каждому конкретному ситуационному вектору SV(ПрС/С-решение), описывающему текущее состояние проблемы, ставится в соответствие наиболее рациональный (оптимальный) способ ее разрешения. Наиболее часто встречающиеся методы построения правил - метод интервьюирования экспертов и метод построения правил на базе 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 [Романова и др., 1995].

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

Итак, есть некоторая проблемная субситуация. Опишем ее состояние некоторым вектором $SV(\text{ПрС/С-решение})$. 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 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 [Федунов, 2002]. Примеры формулировок таких оптимизационных задач и результаты их решения даны в [Козловских и др., 1995; Гаврилова и др., 1992]. 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, рекомендуемый для такого конкретного описания проблемы. Примеры таких правил приведены в [Поспелов, 1986].

3.2. Второй тип механизмов вывода - механизмы, построенные на базе алгоритмов многокритериального выбора. Для пилотируемых летательных аппаратов выделяются ПрС/С, сложность которых не позволяет сформулировать для них адекватные оптимизационные математические задачи, но для которых экипажи на этапе подготовки к вылету 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 для реализовавшейся в полете ПрС/С этого типа, как правило, требуется определенная оперативная адаптации каждой альтернативы A_i к сложившимся условиям полета и определенная оперативная корректировка относительной важности критериев K_j .

Оперативный многокритериальный выбор наиболее предпочтительной альтернативы для разрешения ПрС/С производится с использованием метода парных сравнений Т.Саати [Саати и др., 1991].

Остановимся на его кратком изложении. В базе математических моделей (см. рис.1 и рис.2) создается имитационная математическая модель (ММ) генерирования альтернатив A_i и расчета значения критериев K_j для каждой A_i . При этом используется априорная информация (результаты предполетной подготовки) о допустимых типах альтернатив A_i и оперативная корректировка экипажем ситуационного вектора $SV(\text{ПрС/С-решение})$.



Рис.2. Функциональные блоки механизма вывода, базирующегося на алгоритме многокритериального выбора

Непосредственно механизм вывода (см. рис.2) содержит: а) блок расчета для каждого K_j матрицы парных сравнений альтернатив $\{A_i\} = (A_1, \dots, A_i, \dots, A_n)$, проводимого на основе числовых значений критерия K_j для каждой альтернативы и свойства транзитивности матрицы парных сравнений и проверки согласованности матриц и расчет для них нормированных собственных векторов; б) блок корректировки (при оперативном вводе предпочтений экипажа) матрицы парных сравнений критериев $\{K_j\} = (K_1, \dots, K_j, \dots, K_n)$, введенной в базу знаний БОСЭС ТС на предполетной подготовке и проверки согласованности матрицы и расчет для нее нормированного собственного вектора; в) блок расчета итоговых предпочтений альтернатив $\{A_i\} = (A_1, \dots, A_i, \dots, A_n)$ и предъявление экипажу наиболее предпочтительной альтернативы A^0 .

Практический пример использования такого механизма вывода рассмотрен в [Мусарев и др., 2001].

3.3. Третий тип механизмов вывода - механизмы, 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 $SV(\text{ПрС/С-решение})$ 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 [Кофман, 1982].

Заключение. Отличительной особенностью разрабатываемых самолетов поколения 4+ и 5 является развитый бортовой интеллект (совокупность БЦВМ-алгоритмов и алгоритмов деятельности экипажа) [Федунов, 2002; Федосов, 2001; Волин, 2002]. В работе представлен облик БОСЭС ТС - одного из основных компонентов такого бортового интеллекта.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Волин С. Тактическая авиация: долгий путь к пятому поколению. Вестник авиации и космонавтики. М., 6. 2002.
2. Гаврилова Т.А., Червинская К.Р. Извлечение и структурирование знаний для экспертных систем. М.: Радио и связь, 1992.
3. Дёмкин М.А., Федунов Б.Е. Фрагмент базы знаний БОСЭС ТС, обеспечивающий уклонение носителя БОСЭС от преследователя. Научно-теоретический журнал «Искусственный интеллект». НАН Украины. 2001. № 3. С.61-67.
4. Егорова Е.Т., Федунов Б.Е. Минимаксная задача размещения и обхода точек в круге и потенциальные возможности измерительных устройств. Журнал Изв. РАН. Теория и системы управления. 1996. № 3.
5. Заде Л. Понятие лингвистической переменной и её применение к принятию приближённых решений. М.: Радио и связь, 1976.
6. Козловских Б.Д., Федунов Б.Е.. Нормативно - техническая документация при разработке БОСЭС //Стандартизация и унификация АТ. Вопросы авиационной науки и техники. Журнал НИИСУ. 1995. Вып. 1-2.
7. Кофман А. Введение в теорию нечетких множеств. М.: Радио и связь, 1982.
8. Мусарев Л.М., Федунов Б.Е. Структура бортовых алгоритмов целераспределения на борту группы самолетов //Изв. РАН, ТиСУ. 2001. №6.
9. Поспелов Д.А. Ситуационное управление. Теория и практика. М.: Наука, 1986.
10. Саати Т., Кернс К. Аналитическое планирование. Организация систем. М.: Радио и связь. 1991.
11. Романова В.Д., Федунов Б.Е., Юневич Н.Д. Исследовательский прототип БОСЭС “Дуэль”. //Изв. РАН, ТиСУ. 1995. №5.
12. Ротштейн А.П. Интеллектуальные технологии идентификации. Универсум – Винница. 1999.
13. Авиация ПВО и научно - технический прогресс. / Под редакцией Е.А.Федосова. М.: Дрофа, 2001.
14. Федунов Б.Е. Проблемы разработки бортовых оперативно-советующих экспертных систем. М., Изв. РАН, Т и СУ. 1996. № 5.
15. Федунов Б.Е. Конструктивная семантика для разработки алгоритмов бортового интеллекта антропоцентрических объектов. Изв. РАН, Т и СУ. М. 1998. № 5.
16. Федунов Б.Е. Бортовые оперативно советующие экспертные системы тактических самолетов пятого поколения (обзор по материалам зарубежной печати). М.: НИЦ ГосНИИ-АС, 2002.
17. Fedunov B.E. The optimization models for taking the decision in the algorithmic and indicational support system designing. Systems Analysis Modeling Simulation (a journal of mathematical modeling and simulation in systems analysis). Gordon and Breach Publishers. Vol. 18-19 (1995).