

Герасимов Б.М., Глуцкий В.И., Рабчун А.А.

Киевский военный институт управления и связи

Система поддержки принятия решений в АСУ реального времени

The function principles and structural arrangement of the MDSS in the ASC working in real time based on the linguistic approach are considered. The following format description of the main stage of data process in the MDSS is presented:

- plan formation of the solution situation;
- automatic selection hypothesis about the reasons of its initiation;
- synthesis of plan of the hypothesis testing and decision realization.

Рассматриваются принципы функционирования и структурная схема систем поддержки принятия решений (СППР) в АСУ реального времени, в основу которых положен лингвистический подход. Дано формальное описание основных этапов обработки информации в СППР: формирования плана разрешения ситуаций, автоматического выбора гипотез о причинах их возникновения, синтеза плана проверки гипотез и реализации решений.

Введение

В современных АСУ реального времени в стереотипных, типовых ситуациях управление процессом может осуществляться автоматически, без участия оперативного персонала, который осуществляет непрерывный контроль и активно включается в управление только при возникновении так называемых проблемных (конфликтных) ситуаций.

Под конфликтной ситуацией (КС) будем понимать такую ситуацию, которая возникает в процессе управления, не может быть решена без участия оперативного персонала и связана с необходимостью выбора лицом, принимающим решения (ЛПР) конкретной альтернативы управления при наличии информации о состоянии объекта и системы управления, критериев, решающих правил и собственной системы предпочтений.

Конфликтные ситуации связаны с высоким уровнем ответственности за принимаемое решение, характеризуются нестереотипностью и острым дефицитом времени на принятие решения.

Причинами возникновения КС могут быть [1]:

- ненадежность элементов, выход их из строя;
- несовершенство системы управления, которое обусловлено неполнотой и неточностью информации об объекте управления, несовершенством методов и алгоритмов управления, недостатками и ошибками оператора и т.д.;

- ограниченные возможности системы управления, ограничения на ресурсы управляемых средств;
- необходимость преодоления многозначности, возникающей в процессе управления;
- неспособность системы управления решать задачи управления в силу частичного или полного уничтожения.

Основное назначение системы поддержки принятия решений (СППР) в АСУ реального времени состоит в оказании помощи оператору при принятии решений в конфликтных ситуациях.

Принципы функционирования СППР должны обеспечивать:

- сопряжение СППР с АСУ реального времени;
- рациональный выбор языка представления и обработки знаний;
- возможность пополнения базы знаний, обучения и дообучения;
- рациональную степень универсальности СППР;
- возможность поэтапного внедрения и автоматизации проектирования СППР.

В основу построения СППР положен логико-лингвистический подход [2], а для выработки решений используются семантические сети [3].

1. Структурная схема системы поддержки принятия решений

Обобщенная структурная схема системы поддержки принятия решений (СППР) представлена на рис.1.

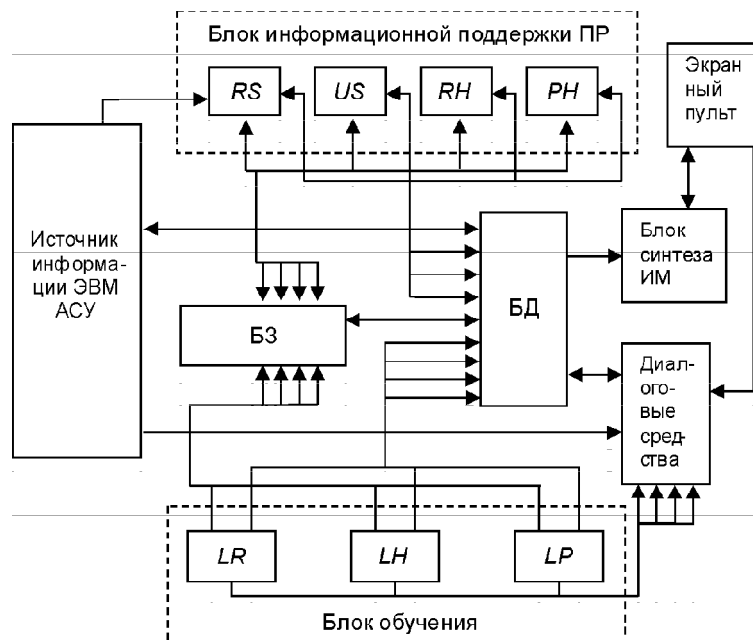


Рис.1. Структурная схема системы поддержки принятия решений.

Основными элементами СППР являются: база знаний, банк данных и блок обучения. Рассмотрим их назначение и состав более подробно. Остальные элементы схемы не требуют пояснений.

База данных содержит модели распознавания конфликтных ситуаций (*RS*); формирования плана (последовательности) их разрешения с учетом важности и директивного (допустимого) времени разрешения (*US*); генерирования гипотез о возможных причинах конфликтных ситуаций (*FN*); формирования плана проверки гипотез и реализации решений (*PH*).

Банк данных содержит информацию о характеристиках и признаках ситуаций, в том числе признаках появления, возможных причинах возникновения, важности, директивном времени и т.д.

Блок обучения состоит из субблоков обучения распознаванию ситуаций (*LR*), формирования гипотез о конфликтной ситуации (*LH*), формирования модели проверки гипотез (*LP*).

Можно выделить три этапа функционирования СППР.

Обучение. На этом этапе формируется база знаний СППР, в которой хранится модель функционирования системы, создаваемая на основе обработки экспертной информации. С помощью блока обучения информация о характеристиках конфликтных ситуаций обрабатывается специальным образом и вводится в базу знаний. Множество признаков, характеризующих факт возникновения конфликтных ситуаций, формируется на основе информации, циркулирующей в системе управления. Эти признаки обычно вполне определены и достоверны, что позволяет автоматически формировать сигнал о факте возникновения конфликтной ситуации. Описания конфликтных ситуаций формируются на основе анализа целей и задач функционирования системы и экспертной информации. Для каждой конфликтной ситуации синтезируются структуры моделей формирования гипотез и их проверки.

Функционирование СППР. Это непосредственная информационная поддержка принятия решений оператором при возникновении конфликтных ситуаций в процессе функционирования системы. Информация о конфликтной ситуации поступает в банк данных СППР из управляющей ЭВМ. Блок *RS* распознает ситуации и заносит их индексы в базу данных. Эти индексы, а также временные характеристики и коэффициенты относительной важности ситуаций, хранящиеся в банке данных, поступают на вход блока *US*. В этом блоке формируется план разрешения ситуаций, который определяет относительную последовательность разрешения ситуаций с учетом их важности и срочности. После оценки оператор вводит индекс наиболее важной ситуации в банк данных, откуда он поступает на вход блока *RH*. По индексу ситуации блок *RH* формирует гипотезы о возможных решениях. Индексы гипотез поступают на вход блока *PH*, который формирует план проверки гипотез. Гипотезы о возможных решениях, план их проверки и справочная информация выдаются оператору на экранный пульт в качестве рекомендаций по принятию решения. По индексу выбранной гипотезы блок *PH* формирует план реализации решения, высвечиваемый на экране дисплея. Вводя команды управления, оператор ликвидирует конфликтную ситуацию.

Дообучение. Оно заключается в корректировке моделей в базе знаний на основе объективной информации подтверждения или опровержения гипотез о причинах конфликтных ситуаций.

2. Формализация процессов обработки информации

2.1. Формирование плана разрешения ситуаций

Формирование плана разрешения ситуаций относится к классу задач составления расписания.

Пусть имеется N конфликтных ситуаций. Каждой ситуации поставим в соответствие функцию

$$\eta_j(t) = \begin{cases} v_s(i), & \text{если } T_{npi} > \Delta d_i \\ 0 & \text{в противном случае} \end{cases}, \quad (1)$$

где i – индекс ситуации; $\Delta d_i = d_i - t$; t – текущее время; d_i – директивный срок разрешения i -й ситуации; T_{npi} – время устранения i -й ситуации; $v_s(i)$ – коэффициент относительной важности i -й ситуации.

Задача ранжирования конфликтных ситуаций формулируется следующим образом. Необходимо найти такую перестановку ситуаций Π , где $\Pi(k) = i$, если i -я ситуация должна быть разрешена k -й по счету, чтобы суммарная функция штрафов была минимальной, т.е.

$$\sum_{i=1}^N \eta_i(t) \rightarrow \min. \quad (2)$$

Известно [4], что задачи составления оптимального расписания не поддаются решению аналитическими методами и являются NP -полными. Для их решения существуют точные и приближенные методы. Точные методы, ввиду их большой вычислительной сложности, неприемлемы для реализации в реальном времени. Поэтому в основу алгоритма формирования плана можно положить один из наиболее эффективных приближенных методов – метод динамического программирования.

Существует два алгоритма составления расписания в постановке выражения (2), реализующих метод динамического программирования.

Алгоритм Хелда-Карпа [5] позволяет составить оптимальное решение для функции штрафа произвольного вида. Сложность этого алгоритма равна $O(N * 2^N)$.

Алгоритм Сахни-Горвица [5] позволяет составить оптимальное расписание только для случая, когда функция штрафа имеет вид равенства (1). Сложность этого алгоритма равна $O(N^2)$.

Таким образом, алгоритм Сахни-Горвица по сравнению с алгоритмом Хелда-Карпа обладает значительно меньшей сложностью, что существенно для условий реального времени. Поэтому в основу алгоритма формирования плана целесообразно положить алгоритм Сахни-Горвица.

2.2. Формирование гипотез о причинах возникновения конфликтных ситуаций

В качестве исходной информации для формирования гипотез о возможных решениях в конфликтных ситуациях можно использовать только наблюдения эксперта – описания текущих ситуаций, в которых было принято то или иное решение. Необходимая для формирования гипотез информация может быть получена путем логического анализа. Поэтому задача обучения формированию гипотез относится к классу задач обобщения и классификации текущих ситуаций. Обобщение текущих ситуаций заключается в формировании их понятий.

Введем определение понятия в соответствии с работой В.П. Гладуна [3]. Понятие – это обобщенная информация о множестве объектов, представленная наборами значений-признаков, которая отображает характерные для этого множества логические отношения между отдельными значениями признаков и является достаточной для различения с помощью некоторого правила объектов, принадлежащих множеству, от объектов, не принадлежащих ему.

Для понятий гипотез о возможных решениях объектами являются примеры конфликтных ситуаций, в которых принималось то или иное решение.

В АСУ реального времени в основу обучения формированию гипотез целесообразно положить метод растущих пирамидальных сетей (РПС), разработанный В.П. Гладуном. Этот выбор обусловлен достоинствами, следующими из графовой структуры РПС. Во-первых, алгоритм на основе РПС позволяет одновременно формировать несколько понятий. Во-вторых, появляется возможность формирования нечетких понятий. В-третьих, выделение сочетаний существенных признаков приводит к построению более «коротких» по сравнению с другими методами понятий и значительному уменьшению числа переборов.

Все вершины РПС делятся на рецепторы и ассоциативные вершины. Рецепторами называются вершины графа РПС, имеющие нулевую степень захода. Все остальные вершины называются ассоциативными. Через рецепторы поступают сигналы, соответствующие значениям признаков. Каждая ассоциативная вершина соответствует сочетанию значений признаков, поступающих на рецепторы, замыкающиеся на данную вершину непосредственно или через другие ассоциативные вершины. Объекты обучающей выборки представлены конечными наборами значений признаков, которым соответствуют рецепторы РПС.

Процесс формирования понятий состоит из двух последовательных этапов: ввода очередного объекта обучающей выборки (корректировки сети) и выделения контрольных вершин сети. Контрольными называются вершины,

с помощью которых должно осуществляться распознавание объектов из объема понятий.

Исходными данными для формирования понятий гипотез являются объекты обучающей выборки, представленные конечными наборами значений признаков $p^\beta c$ соответствующими качественными оценками $T_\beta(\varphi_j)$.

Здесь p^β – множество признаков, характеризующих конфликтную ситуацию $S_\beta: S_{np.i}$ – i -я конфликтная ситуация, $S_{np.i} \in S$; Hij – j -я гипотеза о возможном решении в j -й ситуации; $T_\beta(\varphi_j)$ – терм-значение лингвистической переменной L , которая используется экспертом для оценки частоты принятия j -го решения в i -й ситуации и имеет базовое терм-множество $T = \{T_\beta(\varphi_j)\}$, каждый терм этого множества описывается нечетким подмножеством значений F базовой переменной f .

Работа алгоритма распознавания объектов понятия основана на поиске определяющих объединенных конъюнктивных членов описания понятия. Если определяющий конъюнктивный член CON^l найден, то с достоверностью $F_{ij} = F_i$ можно предположить, что в i -й ситуации правильным является j -е решение, описываемое отображением

$$p^\beta \times S_{np.i} \xrightarrow[p^{\beta'} \supset p^\beta]{\{CON^l\}, l = \overline{1, L}} H_{ij} \times F_{ij}. \quad (3)$$

Если определяющий конъюнктивный член не найден, то выдвижение соответствующей гипотезы нецелесообразно. Для выдачи сообщений о гипотезах оператору в лингвистической форме реализован обратный переход к шкале лингвистической переменной L

$$H_{ij} \times F_{ij}^* \rightarrow L(H_{ij}) \times T_\beta(\varphi_j) \times \mu_{\varphi_j}(f); \quad (4)$$

$$\varphi_j = \arg \max [\mu_{\varphi_j}(f)], \quad (5)$$

где $L[H_{ij}]$ – сообщение о j -м решении в i -й ситуации в лингвистической форме (4) отражает порядок перехода от F_{ij}^* к $T_\beta(\varphi_j)$. При пересечении нескольких термов выбирается терм, для которого при заданной частоте F_{ij}^* значение функции принадлежности $\mu_{\varphi_j}(f)$ максимально.

Так как каждый терм отличается нечетким подмножеством множества значений базовой переменной f , в сообщение о гипотезе включается величина $\mu_{\varphi_j}(f)$, уточняющая положение значения F_{ij}^* в этом подмноестве

$$\mu'(f) = \begin{cases} \mu_{\varphi_j}(f), & \text{если } F^* \geq F_{\mu \max}(\varphi_i) \\ 1 - \mu_{\varphi_j}(f) & \text{– в противном случае,} \end{cases} \quad (6)$$

где $F_{\mu \max}(\varphi_j)$ – значение частоты, для которой $\mu_{\varphi_j}(f)$ нормированная относительно 0,5 функция принадлежности значения частоты терму $T_\beta(\varphi_j)$.

Неполнота информации о конфликтных ситуациях, недостаточная компетентность экспертов, сложность учета всех факторов, влияющих на принятие решения, приводит к тому, что сформированные понятия оказываются

неполными или недостаточными. Возникает необходимость дообучения формированию гипотез.

Формирование понятий новых гипотез о возможных решениях осуществляется при непосредственном участии человека-оператора. Корректировка сформированных на этапе обучения понятий, гипотез осуществляется в автоматическом режиме. Основное правило корректировки заключается в увеличении степени достоверности гипотезы F^* , если она подтвердилась, или в ее уменьшении, если гипотеза не подтвердилась.

2.3. Формирование плана проверки гипотез и реализации решений

Реализация решений оператором предполагает выполнение множества операций различного содержания. При этом имеет место большое число вариантов, отличающихся значением основных эргономических показателей временем выполнения и надежностью (безошибочностью) выполнения. Возникает задача оптимизации деятельности оператора на этапе проверки гипотез и реализации решений, что позволяет автоматизировать этот этап деятельности оператора.

Формальная постановка и метод решения задачи существенно зависят от условий принятия решения, психологических особенностей оператора, требования простоты реализации алгоритмов и других факторов. Из всего многообразия задач планирования действий оператора рассмотрим две наиболее важные типичные задачи.

Минимальное время реализации плана при допустимом уровне ошибок (уровне риска решения) равно:

$$\sum_{i=1}^N t_i \rightarrow \min, \quad \mu(H^*) \leq \mu_{\text{дон}}, \quad (7)$$

где t_i – время выполнения i -й оперативной единицы алгоритма деятельности, $i = 1, N$ – интегральная оценка функции риска формируемого оператором плана $\mu(H^*)$; H – множества возможных планов; $\mu_{\text{дон}}$ – заданный уровень риска.

Эта постановка соответствует условиям принятия решения, в которых степень риска ограничена, поскольку ошибка может иметь тяжелые последствия для системы. Минимизация времени выполнения алгоритма устраняет временную избыточность в формируемом плане.

Максимальная надежность плана при допустимом времени его реализации составляет

$$m(H^*) = m(H) \rightarrow \max, \quad \sum_{i=1}^N t_i \leq T_{\text{дон}}, \quad (8)$$

где $T_{\text{дон}}$ – допустимое время выполнения плана.

Важность данной постановки состоит в том, что время принятия решения является одновременно и основной его характеристикой, и наиболее существенным фактором сложности решения. В условиях дефицита времени оператор принимает решение по «свернутым» алгоритмам, полагаясь на свою интуицию и опыт. При этом возникает риск неправильных действий, что ведет к нерешительности оператора, которая часто является причиной невыполнения или несвоевременного выполнения действий по устранению конфликтных ситуации.

Специфика нечетких моделей заключается, с одной стороны, в использовании нечетких оценок $\mu(H) \in [0,1]$, изменяющихся с некоторой дискретностью, с другой – в графовой интерпретации, позволяющей отнести формирование плана к числу комбинаторных задач на графах. Область допустимых решений может определяться α -уровнем нечеткости графа, который соответствует нечеткой оценке $\mu(H)$. Задаваясь значением $\mu(H)$, можно определить область допустимых решений, а затем в этой области производить поиск оптимальных решений на графах [6,7].

Формирование плана заключается в нахождении упорядоченной последовательности (r -ки) вершин в графе от начальной h_0 к конечной h_N ; $l_m = (h_0, \dots, h_m, \dots, h_{m1}, \dots, h_N)$ где l_m – путь в графе, объединяющий совокупность вершин с порядковым номером. С каждым таким путем сопоставим оценки, определяющие риск

$$\mu G(l_m) = \min \{ \mu G(h_0, h_m); \mu G(h_{m1}, h_{m2}); \mu G(h_{mr}, h_N) \} \quad (9)$$

и временные затраты

$$T(l_m) = \sum_{r=1}^R t(h_{mr}). \quad (10)$$

Пусть $L = \{l_1, l_2, \dots, l_m\}$ – множество всех путей в граф-модели плана реализации решения. Тогда экстремальный путь l^* в зависимости от постановки (7) или (8) определяется соотношением

$$l^* = \underset{m}{\text{index}} \min_i \{ T(l_1), T(l_2), \dots, T(l_m) \}, \quad (11)$$

или

$$l^* = \underset{m}{\text{index}} \min_{\mu_G} \{ \bar{\mu}_G(l_1), \bar{\mu}_G(l_2), \dots, \bar{\mu}_G(l_m) \}. \quad (12)$$

Для решения экстремальных задач на графах известны алгоритмы Форда-Фалкерсона, Дейкстра, Флойда-Уоршелла и др. [7]. Наиболее целесообразно для решения приведенных задач использовать алгоритм Дейкстра как наиболее экономичный с точки зрения реализации на ЭВМ в реальном времени.

Заключение

Краткое изложение сути основных этапов синтеза систем поддержки принятия решений как наиболее характерного и важного класса искусственного интеллекта позволяет сделать следующие выводы:

- структура СППР определяется структурой логико-психологической модели (процесса принятия решения);
- формальное описание процессов функционирования в СППР базируется на логико-лингвистическом подходе, суть которого составляет теория нечетких множеств, которая позволяет формализовать словесные описания, получаемые от экспертов, в виде математических выражений и учесть их нечеткость через оценки истинностей и предпочтений;
- предпочтительным методом формирования и обработки знаний, получаемых от экспертов, является метод растущих пирамидальных сетей, модифицируемых с использованием теории нечетких множеств.

Экспериментальная оценка эффективности СППР показала, что она позволяет сократить время принятия решения в КС в среднем на 60%, повысить вероятность принятия правильного и своевременного решения с 0.55 (без использования СППР) до 0.85.

Подобные системы могут найти широкое применение в управлении воздушным движением, энергетическими объектами и технологическими процессами.

Литература

1. Новиков П.П. Принятие решений человеком в авиационных системах управления. – М.: Возд. транспорт, 1980. – С. 348.
2. Поспелов Д.А. Логико-лингвистические модели в системах управления. – М.: Энергоатомиздат, 1981.-С. 232.
3. Гладун В.П. Эвристический поиск в сложных средах. – Киев: Наукова думка, 1976. – С. 166.
4. Теория расписаний и вычислительные машины / Под ред. Э.Г. Коффмана. – М.: Наука, 1984. – С. 333.
5. Хелд М., Карп Р. Применение динамического программирования // Кибернетический сборник, 1964. – Вып. 9. – С. 202–208.
6. Майника Э. Алгоритмы оптимизации на сетях и графах: Пер. с англ. – М.: Мир, 1981. – С. 323.
7. Пападимитриу Х., Стайглиц Л. Комбинаторная оптимизация: алгоритмы и сложность: Пер. с англ. – М.: Мир, 1985. – С. 512.
8. Герасимов Б.М., Тарасов В.А., Токарев И.В. Человеко-машинные системы принятия решений с элементами искусственного интеллекта. – Киев: Наукова думка, 1993. – С 184