

УДК 004.825

Д.Е. Василенко<sup>1</sup>, Д.Н. Обидин<sup>1</sup>, П.Г. Бердник<sup>2</sup><sup>1</sup> Кировоградская летная академия Национального авиационного университета, Кировоград<sup>2</sup> Харьковский национальный университет имени В.Н. Каразина, Харьков

## РАЗРАБОТКА ПРОЦЕДУРЫ КОНТРОЛЯ НЕПРОТИВОРЕЧИВОСТИ ЗНАНИЙ ДЛЯ ОТКРЫТОЙ ЭКСПЕРТНОЙ СИСТЕМЫ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ

Разработка экспертных систем различного назначения сопряжена с необходимостью разработки базы знаний. Одним из важных свойств базы знаний является ее полнота. Полнота предполагает наличие как можно большего числа правил, фактов и правил манипулирования ними. Для достижения полноты огромное число правил вносится в базу знаний и есть большая вероятность внесения противоречивых, взаимоисключающих правил. Внесение таких правил приводит к некорректности либо отказу в принятии решений. Поэтому актуальной является задача разработки процедуры контроля непротиворечивости знаний в открытых экспертных системах.

**Ключевые слова:** знания, база знаний, корректность знаний, экспертная система.

### Введение

Развитие интеллектуальных технологий обработки данных предполагает широкое внедрение экспертных систем в системы управления различного назначения. Одним из важнейших этапов разработки экспертной системы (ЭС) является разработка базы знаний (БЗ). Конечной целью формализации знаний является их представление на уровне модулей БЗ и программ ЭВМ [1]. Следовательно, наиболее полным и корректным, с этой точки зрения, будет являться контроль непротиворечивости именно на этом уровне.

Непротиворечивость базовых элементов формальной модели знаний [2, 3], не означает, что такими не будут являться более сложные конструкции, составленные из них и принадлежащие к знаниям различных уровней иерархии в БЗ. Семантическая интерпретация элементов формальной модели знаний (например, структуры сетевых установок (СЦУ)) будет относиться к одному уровню иерархии знаний, структура, объединяющая их в рассматриваемую сеть, к другому.

Поэтому в рамках межуровневых противоречий должны быть рассмотрены противоречия базовых элементов (отношений, целевых установок (ЦУ), объектов). Для этих элементов знаний необходимо проанализировать возможные источники возникновения противоречий и их следствия.

Необходимо отметить, что если для структурных элементов, по отношению к которым аппарат формализации формируются определенные правила (правила достижения целей, правила использования запаса воздействия ресурса и т.д.), источники возникновения противоречий выявить достаточно просто, то в отношении объектов это сделать в явном виде сложно.

Целью данной статьи является разработка процедуры контроля непротиворечивости знаний для открытой экспертной системы реального времени.

### Основная часть

Разработка методики контроля непротиворечивости отношений между целевыми установками. Представление отношений между ЦУ обобщенными отношениями следования определяют, в соответствии со свойствами отношений присоединения противоречий, необходимость анализа непротиворечивости всех составляющих этих отношений и их свойств. К объектам контроля непротиворечивости необходимо отнести: правила, определяющие последовательность достижения целей, вытекающие из свойств отношений (строгость и порядок); правила, определяющие порядок формирования сложных отношений (правила ветвления сети); правила, определяющие порядок использования ресурсов; правила, определяющие порядок достижения целей по времени. Следовательно, данная методика может быть представлена частными методиками контроля непротиворечивости соответствующих правил.

Методика контроля непротиворечивости последовательности достижения целей. В ряде работ показано, что для моделей, структура знаний которых представима в виде ориентированного графа, имеется возможность выявления противоречивости последовательности достижения целей на основе анализа информации о структуре графа модели [4, 5, 10]. В частности, для СЦУ, объектом такого исследования может являться матрица инцидентности графа сетевой модели [6 – 8]. Показано [5, 7], что из свойств отношений между ЦУ (антисимметричность, антирефлексивность, транзитивность) следует, что наличие контуров графа сетевой модели свидетельствует о противоречивости этих отноше-

ний при рассмотрении порядка достижения целей.

Контур на графе – конечный путь

$$\Theta = \{x_i, x_j, x_k, \dots, x_m\} \quad (1)$$

у которого совпадают конечная и начальная вершины, где  $x_p$ , ( $p = i..m$ ) – ЦУ, представленная на графе конъюнктивной или дизъюнктивной вершиной.

Существует ряд методов поиска контуров на ориентированном графе [7 – 9]. Однако, в одних - поиск контуров осуществляется без учета информации о процессе последовательного изменения структуры графа, для реализации других - требуются существенные затраты вычислительных ресурсов.

Предлагаемая методика базируется на анализе матрицы инцидентий графа сетевой модели, построенной для обобщенных отношений следования между ЦУ. Необходимым условием дальнейшего анализа является нумерация ЦУ по уровням иерархии сети. В основу методики положен разработанный метод поиска контуров на графе сетевой модели. Пусть для сетевой модели графа построена матрица инцидентий обобщенных отношений следования и нумерация ЦУ выполнена по уровням иерархии целей. Тогда для любой строки матрицы инцидентий, наличие элементов, обозначающих отношения следствия в столбце с большим или равным номером, чем у элементов отношения причины, свидетельствует о наличии контура в графе. Длина контура  $L_k$ , при этом определяется выражением:

$$L_k = |K_{x_i} - K_{x_i}| + 1,$$

где  $K_{x_p}$ ,  $K_{x_j}$  – соответственно наименьший и наибольший уровни иерархии ЦУ, образующих контур.

Таким образом, для выявления противоречивости порядка достижения целей, достаточно проанализировать матрицу инцидентий графа сети с учетом приведенных выше рассуждений.

Существенным моментом в процессе устранения выявленных противоречивых отношений является их локализация.

Под локализацией противоречий будем понимать выявление и выделение множества противоречивых элементов знаний.

Локализация множества противоречивых отношений возможна посредством выделения граничных (контурообразующих) ЦУ на матрице инцидентий (например, вершин  $\{x_6, x_{11}\}$  для контура №1 и вершин  $\{x_5, x_{10}\}$  для контура №2 рис. 1), и последующего составления логической цепочки достижения целей в процессе образования контура.

Таким образом, методика контроля непротиворечивости последовательности достижения целей можно представить в следующем виде:

1. Формирование матрицы инцидентий графа сетевой модели. При этом осуществляется замена всех НУ на ЦУ «нулевого уровня».

2. Анализ матрицы инцидентий на наличие контуров графа сетевой модели.

3. При обнаружении контура – локализация контурообразующих вершин.

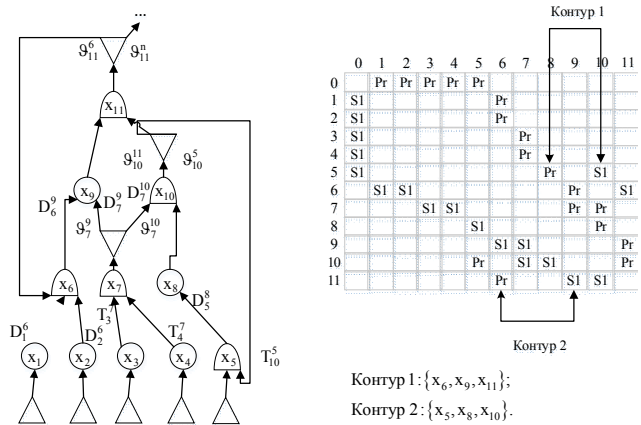


Рис. 1. Фрагмент противоречивой СЦУ и матрицы инцидентий графа сетевой модели

**Методика контроля непротиворечивости правил формирования сложных отношений.**

Правила формирования сложных отношений определяют порядок ветвления сети. Следовательно, возможные противоречия здесь могут возникнуть из-за неоднозначности заключений данных правил, что может привести к неоднозначности отношений следования и к изменению характера самих отношений. Порядок выявления и локализации данных противоречий существенно облегчается ограниченным набором правил, определяющих множество следствий одной ЦУ. Правила, определяющие следствия других ЦУ, не могут влиять друг на друга вследствие независимости отношений. Правила формирования сложных отношений представлены продукциями вида

$$\exists O_a (\forall O_i \in O_a (\pi_j \equiv Y_m)) \Rightarrow (x_a \Rightarrow x_b),$$

где  $O_a$  – множество объектов анализа посылки;  $O_i, \pi_j, Y_m$  – объект анализа, признак, характеризующий некоторое свойство объекта и его значение, определяющее истинность посылки;  $x_a, x_b$  – предшествующая и последующая ЦУ. Содержанием операций продукционной посылки является анализ состояния некоторого объекта, значений признаков прагматической оценки ситуации и т.д. на соответствие его некоторому значению. Следовательно, в соответствии со свойствами отношений присоединения противоречий, наличие в множестве рассматриваемых правил одинаковой посылки и различных заключений может привести к противоречию, т.е. если  $\{P_i\}, i = \overline{1, n}$  – множество посылок,  $\{S_k\}, k = \overline{1, m}$  – множество заключений правила  $Q_r$  ветвления сети, определяющего условные отношения  $r$ -й ЦУ, то данное правило является противоречивым:

$$\exists i \exists j \left( (P_j \rightarrow S_i) \wedge (P_j \rightarrow S_j) \wedge \right. \\ \left. \wedge (P_i \equiv P_j) \wedge (S_i \neq S_j) \right) \rightarrow (\Leftrightarrow Q_r). \quad (2)$$

Таким образом, методику выявления противоречий рассматриваемого вида можно сформулировать в виде последовательности правил:

1. Выделение правил ветвления сети, определяющих следование из  $i$ -й ЦУ  $k$ -го уровня иерархии к целям  $(k+1)$ -го уровня.
2. Выделение пересекающихся множеств объектов анализа в посылках отобранных правил.
3. Выделение в рассматриваемом множестве правил с различными заключениями.
4. Выделение множества противоречивых правил, для которых из одинаковых значений атрибутов объектов анализа в посылках следуют различные заключения.

Необходимо отметить, что выражение (2) справедливо для всех продукций и должно использоваться при контроле непротиворечивости всех соответствующим образом построенных правил в рамках рассматриваемого аппарата формализации.

**Методика контроля непротиворечивости правил использования ресурсов.** Фактические правила использования ресурсов определяются выражением

$$\forall k \exists R_k \Rightarrow \left( \text{Пр}_u^0 \equiv \bigcup_k \bigcap_m \left( \begin{array}{l} [N_i(R_k)], \\ [P3_u(R_k)], N3_{kq} \end{array} \right) / \{Y_{pj}\} \right).$$

Противоречия в данном случае могут возникать при использовании одного фактического правила пересечения нескольких взаимоисключающих нормативных правил (их конъюнктивной комбинации).

Пусть  $R_{ih} = \{R_f^H\}$ ,  $(f = \overline{1, m})$  - подмножество нормативных правил, конъюнктивно образующих  $h$ -ое фактическое правило  $R_{ih}^0$  расходования источников воздействия  $i$ -го ресурса. Имеется нормативно установленное множество  $M^0 = \{M_l^0\}$ ,  $(l = \overline{1, p})$  групп взаимоисключающих правил использования источников воздействий,  $M_l^0 = \{R_{lq}^0\}$ ,  $(q = \overline{1, u})$ . Тогда:

$$\exists i \exists j \left( (R_i \in R_{kh}) \wedge (R_j \in R_{kh}) \wedge \right. \\ \left. \wedge (R_i \in M_l^0) \wedge (R_j \in M_l^0) \right) \rightarrow (\Leftrightarrow R_{jk}^0). \quad (3)$$

Методика контроля непротиворечивости правил использования ресурсов может быть сформулирована следующим образом:

1. Анализ правил в соответствии с (3).
2. Формирование на этапе разработки взаимоисключающих групп нормативных правил расходования источников воздействий.
3. Анализ в процессе пополнения знаний на принадлежность составных частей фактических правил расхода источников воздействий, образу-

ющих конъюнктивную комбинацию, одной из взаимоисключающих групп нормативных правил.

**Контроль непротиворечивости достижения целей по времени.** Анализа правил, определяющих порядок достижения ЦУ по времени, корректно возможен только при проведении логического вывода в процессе эксплуатации. Реальные затраты времени на достижение тех или иных целей становятся определяемыми только после означивания некоторого набора НУ, проведения планирования расхода ресурсов и выработки плана действий. Проверка в данном случае может быть выполнена по анализу ранних и поздних сроков наступления событий, определяющих достижение заданных целей и сравнение их и нормативными [2]. Условие корректности достижения целей по времени будет иметь вид:

$$\sum_{i=1}^n t_i^n \leq t_{\text{пред}},$$

где  $t_i^n$  - поздние сроки наступления событий достижения целей, определяемых выбранным вариантом решения,  $t_{\text{пред}}$  - предельное нормативное время реализации решения.

**Методика контроля непротиворечивости описаний целевых установок.** Целевые установки, как структурные элементы знаний, обладают важным свойством, определяющим направления контроля непротиворечивости описаний ЦУ. Это - индивидуальность ЦУ. Корректно (с точки зрения правил построения) составленная сеть не должна содержать двух одинаковых ЦУ, находящихся на разных уровнях иерархии, так как в этом случае возможно нарушение свойства антирефлексивности отношений. Таким образом, методика контроля непротиворечивости описаний ЦУ может быть представлена в следующем виде:

1. Анализ МСЦУ на наличие одинаковых адресов ЦУ в различных столбцах (для стратегии прямого логического вывода), или в строках (при реализации стратегии обратного логического вывода);

2. Наличие одинаковых значений указателей адресов свидетельствует об использовании на различных уровнях иерархии сети одних и тех же ЦУ, что приводит к противоречивости описаний целей.

**Методика контроля непротиворечивости описаний целевых объектов.** ЦУ включает описание некоторого множества целевых объектов, изменение состояния которых и определяет факт достижения цели. В процессе пополнения знаний в рамках одной ЦУ возможно формирование описаний одного объекта. Но достижение ЦУ может определяться различными его состояниями. Это может привести в процессе логического вывода к противоречивому толкованию содержания ЦУ.

Пусть в процессе формализации  $q$ -й ЦУ используется описание некоторого множества объек-

тов  $O_q = \{O_{qi}\}$ . Достижение цели определяется множеством состояний  $C_q = \{\xi_{qj}^t\}$  объектов, принадлежащих  $O_q$ . Тогда условие противоречивости описаний объектов в рамках одной ЦУ имеет вид:

$$\exists i \exists j \left( (O_i \in O_q) \wedge (\xi_{qi}^t \neq \xi_{qj}^t) \right) \rightarrow (\nexists C_q). \quad (4)$$

### Заключение

Таким образом, процедура контроля непротиворечивости должна включать:

1. Формирование матрицы инцидентий графа сетевой модели. При этом осуществляется замена всех НУ на ЦУ «нулевого уровня».
2. Анализ матрицы инцидентий в соответствии с приведенными рассуждениями на наличие контуров графа сетевой модели.
3. При обнаружении контура - локализация контурообразующих вершин.
4. Анализ правил в соответствии с (3).
5. Формирование на этапе разработки взаимоисключающих групп нормативных правил расхода источников воздействий.
6. Анализ в процессе пополнения знаний на принадлежность составных частей фактических правил расхода источников воздействий, образующих конъюнктивную комбинацию, одной из взаимоисключающих групп нормативных правил.
7. Анализ МСЦУ на наличие одинаковых адресов ЦУ в различных столбцах (для стратегии прямого логического вывода), или в строках (при реализации стратегии обратного логического вывода)
8. Наличие одинаковых значений указателей адресов свидетельствует об использовании на различных уровнях иерархии сети одних и тех же ЦУ, что приводит к противоречивости описаний целей.

9. Выбор последовательно описаний объектов, используемых при формализации каждой ЦУ.

10. Анализ описаний одноименных объектов в рамках рассматриваемой цели для выявления противоречивых описаний их целевых состояний в соответствии с выражением (4).

### Список литературы

1. Метод формализации знаний в открытой экспертной системе реального времени в автоматизированных системах управления воздушным движением / Д.Е. Василенко, Д.Н. Обидин, П.Г. Бердник, В.Н. Руденко // Системи озброєння і військова техніка. – Х.: ХНУПС, 2016. – № 3(47). – С. 112-117.
2. Искусственный интеллект. Справочник в 3-х книгах. Книга 2. Модели и методы / Под ред. Д.А. Поспелова. – М.: Радио и связь, 1990. – 304 с.
3. Теоретические основы автоматизации процессов выработки решений в системах управления / В.Е. Ярушек, В.П. Прохоров, Б.Н. Судаков, А.В. Мишин. – Х.: ХВУ, 1993. – 446 с.
4. Object-oriented analysis and design with applications / G. Booch, Robert A. Maksimchuk, Michael W. Engle, Bobbi J. Young, Jim Conallen, Kelli A. Houston. – 720 p.
5. Domain-Driven Design: Tackling Complexity in the Heart of Software Eric Evans. – 442 p.
6. Vaughn Vernon. Implementing Domain-Driven Design / Vaughn Vernon. – М.: ВИЛЬЯМС», 2016. – 688 p.
7. Когнітивний підхід до розробки інформаційних моделей в системах підтримки прийняття рішень / М.А. Павленко, В.К. Медведев, П.Г. Бердник, С.В. Михасьов // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. – 2016. – № 2. – С. 138-141.
8. Гибридная модель знаний для распознавания ситуаций в воздушном пространстве / М.А. Павленко, А.И. Тимочко, Н.А. Королюк, М.Ю. Гусак // Автоматика и вычислительная техника. – 2014. – No. 5, vol. 49. – С. 16-25.

Надійшла до редколегії 14.06.2016

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. О.І. Тимочко, Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків.

### РОЗРОБКА ПРОЦЕДУРИ КОНТРОЛЮ ПОВНОТИ ТА СУПЕРЕЧНОСТІ ЗНАТЬ ДЛЯ ВІДКРИТОЇ ЕКСПЕРТНОЇ СИСТЕМИ РЕАЛЬНОГО ЧАСУ

Д.Є. Василенко, Д.М. Обідін, П.Г. Бердник

Розробка експертних систем різного призначення пов'язана з необхідністю розробки бази знань. Однією з важливих властивостей бази знань є її повнота. Повнота передбачає наявність якомога більшої кількості правил, фактів і правил маніпулювання ними. Для досягнення повноти величезне число правил вноситься в базу знань і є велика ймовірність внесення суперечливих, взаємовиключних правил. Внесення таких правил призводить до некоректності чи відмови у прийнятті рішень. Тому актуальною є задача розробки процедури контролю несуперечності знань у відкритих експертних системах.

**Ключові слова:** знання, база знань, коректність знань, експертна система.

### ESTABLISHING PROCEDURES FOR THE CONTRADICTION CONTROL FOR OPEN KNOWLEDGE OF EXPERT SYSTEM REAL TIME

D.E. Vasilenko, D.N. Obidin, P.G. Berdник

Development of expert systems for various purposes is associated with the need to develop a knowledge base. One of the important properties of the base of knowledge is its completeness. Completeness implies the existence of an increasing number of rules, facts and rules to manipulate them. In order to achieve the fullness of a great number of rules introduced in the knowledge base and have a high probability of making contradictory and mutually exclusive rules. Adding to these rules leads to incorrect or denial decisions. Therefore, the actual problem is the development of consistency control procedures Knowledge in open systems expertise.

**Keywords:** knowledge, knowledge base, correct knowledge, expert system.