

УДК 623.765:681.513.6

М.А. Павленко<sup>1</sup>, П.Г. Бердник<sup>2</sup>, С.В. Кукобко<sup>1</sup>, Ю.В. Данюк<sup>1</sup><sup>1</sup> Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, Харьков<sup>2</sup> Харьковский национальный университет им. В.Н. Каразина, Харьков

## РАЗРАБОТКА МЕТОДА МНОГОЭТАПНОЙ ФОРМАЛИЗАЦИИ ЗНАНИЙ О ПРОЦЕССЕ РАСПОЗНАВАНИЯ ОПЕРАТИВНО-ТАКТИЧЕСКИХ СИТУАЦИЙ

*В данной статье предложен метод распознавания оперативно-тактических ситуаций, основанный на использовании когнитивного подхода к решению данной задачи, а также учитывающий возможность выработки решения о типе ситуации в реальном масштабе времени.*

**Ключевые слова:** знания, формализация знаний, распознавание.

### Введение

Внедрение в автоматизированные системы управления подсистем информационного обеспечения процесса поддержки принятия решений, а также применение интеллектуальных информационных технологий для реализации автоматизированных подсистем решения отдельных творческих задач требует применения методов представления и использования знаний, как основы для выработки решений в таких системах.

Использование знаний позволяет находить решение сложных, открытых задач [1], использовать эвристические методы решения сложных задач, а также принимать решение в условиях неполноты и неопределенности информации о состоянии объектов, либо внешней среды.

Одной из наиболее важных задач в системах поддержки принятия решения является подсистема распознавания, которая позволяет решить задачи распознавания как состояний внешней среды, так и производить идентификацию самих объектов, относительно которых и принимается управляющее решение.

Для систем поддержки принятия решения (СППР), использующихся в системах управления военного назначения, актуальным является решение задачи распознавания оперативно-тактических ситуаций (ОТС), складывающихся в зоне ответственности объединения ВС в реальном масштабе времени, с целью повышения качества решения задач: управления информационными моделями (ИМ) воздушной обстановки (ВО), оперативной корректировки планов ведения боевых действий и др.

**Анализ литературы.** В известной литературе предложены следующие методы решения задачи распознавания [1 – 3].

При решении задачи распознавания физические неопределенности успешно учитывались с помощью методов теории вероятностей и математической статистики [1 – 3].

Структурные модели распознавания были развиты в связи с необходимостью решения задач распознавания изображений, в том числе и объемных. Специфика области использования данных моделей не позволяет применить их для решения рассматриваемой задачи.

В логических системах распознавания [1, 3] классы и признаки рассматриваются как логические переменные, а все сведения априорного характера о классах представляются в виде булевых соотношений. Вследствие значительных вычислительных затрат, данные методы не могут быть использованы для решения рассматриваемой задачи.

В работе [1] предложено рассматривать процесс распознавания объектов и ситуаций как согласованную фильтрацию.

В работе [3] разработана методика совместного использования признаковой информации со стохастической и нестохастической неопределенностью при распознавании ВС. Для представления экспертных знаний и описания классов признаками была использована иерархическая сеть сценарных фреймов. В основе метода решения задачи распознавания положены результаты неклассического многозначного логического исчисления – логики присутствия [1], аппарата теории нечетких мер и теории возможностей [1, 3, 5].

Анализ литературы показал, что методы распознавания ориентированы на определенные типы данных и не позволяют в явном виде учесть знания об объекте, его взаимосвязях и свойствах, что является характерным для человека, который принимает решение о распознавании какого либо объекта.

**Цель.** Разработка метода многоэтапной формализации знаний о процессе распознавания оперативно-тактических ситуаций с учетом необходимости принятия решений в условиях неполноты, нечеткости и противоречивости исходных данных в реальном масштабе времени.

## Основная часть

Анализ литературы, посвященной вопросам распознавания ОТС, показывает, что ОТС могут характеризовать около двух тысяч признаков. Учет всего многообразия признаков необходим и возможен только на этапе предварительной подготовки к ведению боевых действий, когда нет жестких ограничений на время моделирования и оценки оперативной обстановки, а также на время разработки возможных вариантов развития оперативных ситуаций.

Так в работе показано, что при учете 100 факторов и использовании сети из 10 сценарных фреймов, в каждом из которых рекомендовано не использовать более 10 решающих правил, время распознавания ОТС может составлять от 200 000 условных единиц времени. Необходимо также учесть, что при использовании для хранения информации реляционных баз данных за 1 минуту возможно обработать не более 200 запросов. Таким образом, только время извлечения информации из базы данных составит порядка 2 минут. За единицу времени принято время обработки одного фрейма (правила). Таким образом, если принять за единицу времени 1 сек., то время принятия решения составит 55 часов, а если за единицу времени принять время 0,1 сек., то время обработки составит 5 часов, что не удовлетворяет условиям работы системы распознавания ОТС в реальном масштабе времени.

Следовательно, метод формализации знаний о ОТС должен удовлетворять следующим требованиям:

учитывать возможность формализации различных аспектов знаний (алетических, дисизиональных, каузальных, дионтических и др.) [1, 3, 4];

обладать свойством непротиворечивости;

обеспечивать заданную степень полноты описания предметной области;

обеспечивать заданную степень оперативности поиска решений;

обеспечивать возможность получения множества альтернативных вариантов решений.

При разработке формализованного представления знаний о предметной области необходимо учесть логико-аналитический характер решения задач принятия решений о типе ОТС [1, 4], особенность деятельности лица принимающего решения, направленной на приведение управляемой системы к заданному целевому состоянию. Для формализации таких задач обосновано [2] совместное использование сетевых и логических моделей знаний. В частности, речь идет об использовании комбинированных моделей, основанных на использовании структуры целевых установок (СЦУ) и исчисления предикатов первого порядка (ИП).

При этом СЦУ задается в виде кортежа [1]:

$$T_{\text{по}}^{\text{сцу}} = \langle W^{\text{сцу}}, M^{\text{сцу}} \rangle,$$

где  $T_{\text{по}}^{\text{сцу}}$  – формализованная теория ПО построенная с использованием СЦУ;  $W^{\text{сцу}}$  – множество целей (состояний) процесса управления;  $M^{\text{сцу}}$  – множество отношений между элементами множества  $W^{\text{сцу}}$ .

Формализованное представление знаний о определенной ПО с использованием формального аппарата ИП [2,3,4] задается кортежем:

$$T_{\text{по}}^{\text{ип}} = \langle L^{\text{ип}}, C^{\text{ип}}, S \rangle;$$

где  $T_{\text{по}}^{\text{ип}}$  – формализованное представление знаний ПО основанное на ИП;  $L^{\text{ип}}$  – формальный язык ИП [2, 3, 4];  $C^{\text{ип}}$  – операции присоединения следствий;  $S$  – множество нелогических аксиом, описывающих свойства ПО [2, 3], заданных с использованием формального языка  $L^{\text{ип}}$  и операции присоединения следствий  $C^{\text{ип}}$ .

Следовательно, формализацию знаний о задачах распознавания ОТС возможно провести, используя метод многоэтапной формализации знаний [3, 4]. Рассмотрим основные этапы данного метода.

1. Знания о ОТС, представленные в виде высказываний на естественном языке, формализуем с использованием аппарата формализации СЦУ либо ИП.

2. Задается множество аксиом, которые описывают цель системы управления, либо цель, определенную средствами естественного языка, формализуем с помощью ИП и таким образом представим формализованное описание цели задачи распознавания.

3. Выделяем множество правил, закономерностей, которые описывают отношения между исходными данными при решении задачи распознавания, либо отношения определенные средствами естественного языка формализуем с помощью ИП и таким образом формируем формализованное описание отношений для решения задачи распознавания.

4. Формализованные описания целей и отношений между ними представим в виде формализованного описания знаний о ПО формализованной теорией –  $T_{\text{по}}^{\text{сцу}}$ .

5. При необходимости повторяем п.п. 1 – 4 до тех пор, пока не будет получено удовлетворительное формализованное описание знаний о задаче распознавания ОТС.

Таким образом, для формализации знаний о задаче распознавания ОТС необходимо рассмотреть и формализовать знания о исходных данных, на основании которых происходит принятие решения о типе ОТС.

**Определение исходных данных.** Анализ результатов проведения КШУ [2], отчетов о научно-исследовательской работе, руководства по организации боевой работы на КП объединения ВС, а также системы тревог и этапов перевода вооруженных сил США и НАТО на военное положение, позволяет сделать вывод о том, что оценка ОТС лицами боевого расчета производится на основе ограниченного количества факторов, характеризующих ОТС.

Так, например, для распознавания ОТС «Начало боевых действий» лицу принимающему решение необходимо наличие следующей информации:

1. факт определения начала массового старта средств воздушного нападения и их полет к государственной границе (зоне ответственности объединения ВС);

2. передислокация и развертывание войск противника в приграничной полосе;

3. объявление противником крупномасштабных учений на своей территории;

4. повышение интенсивности разведки техническими средствами разведки;

5. изменение интенсивности радиообмена (как уменьшение, так и увеличение);

6. изменение состояния дежурных сил противника;

организация дежурства самолетов ПВО в воздухе;

организация дежурства самолетов ДРЛО и У;

повышение активности всех видов разведки противника;

7. незапланированные полеты авиации противника вдоль границы;

8. провокационные действия воздушных судов противника;

9. наличие политической напряженности между государствами.

Тогда, используя метод многоэтапной формализации знаний, рассмотренный выше, проведем процедуру формализации знаний о начальных условиях при распознавании ОТС с использованием исчисления предикатов первого порядка:

1) начало массированного удара СВН государства  $j$  по отношению к государству  $i$ :

$$\text{НАЧМУ}(\text{СВН}_j, \Gamma_i); \quad (1)$$

2) передислокация вооруженных сил страны  $j$  к государственной границе между государствами  $j, i$ :

$$\text{ПЕРЕДИСЛ}(\text{ВС}_j, \Gamma_{j,i}); \quad (2)$$

3) развертывание вооруженных сил страны  $j$  у государственной границы государства  $i$ :

$$\text{РАЗВЕРТ}(\text{ВС}_j, \Gamma_{j,i}); \quad (3)$$

4) начало учений вооруженных сил государства  $j$ :

$$\text{НАЧУЧ}(\text{ВС}_j); \quad (4)$$

5) изменение интенсивности технической разведки государства  $j$ :

$$\text{ИНТТЕХР}(\Gamma_j); \quad (5)$$

6) изменение интенсивности радиообмена в вооруженных силах государства  $j$ :

$$\text{ИНТРАДОБМ}(\Gamma_j); \quad (6)$$

7) изменение состояния дежурных сил государства  $j$ :

$$\text{ИЗМСОСТДС}(\text{ВС}_j, \Gamma_j); \quad (7)$$

8) дежурство СВН государства  $j$  в воздухе:

$$\text{ДЕЖ}(\text{СВН}_j); \quad (8)$$

9) дежурство самолетов ДРЛО государства  $j$  в воздухе:

$$\text{ДЕЖ}(\text{ДРЛО}_j); \quad (9)$$

10) повышение интенсивности всех видов разведки государства  $j$ :

$$\text{ИНТР}(\Gamma_j); \quad (10)$$

11) полет воздушного судна вдоль государственной границы без заявки (вне плана):

$$\text{ПОЛЕТ}(\text{ВС}_k, \Gamma_{j,i}) \wedge \text{ВНЕПЛ}(\text{ВС}_k, \text{ЗАЯВКА}_n); \quad (11)$$

12) провокационные действия воздушного судна  $k$  государства  $j$ , у границ государства  $i$ :

$$\text{ПРОВОК}(\text{ВС}_{k,j}, \Gamma_i); \quad (12)$$

13) между государствами  $j$  и  $i$ :

$$\text{ПОЛИТНАПР}(\Gamma_j, \Gamma_i). \quad (13)$$

Формализация исходных данных позволяет перейти к этапу разработки формализованного описания процесса распознавания ОТС лицом, принимающим решение.

**Разработка формализованной процедуры распознавания.** В соответствии с многоэтапной процедурой формализации знаний о предметной области, рассмотрим процесс решения задачи распознавания ОТС лицом, принимающим решение.

На основании анализа литературы, стало возможным выявление следующих закономерностей, характерных для решения задачи распознавания типа ОТС.

1. Если было выявлено начало массированного удара СВН, это однозначно свидетельствует о начале военных действий.

2. Совокупность данных о том, что войска противника передислоцированы и развернуты в приграничной полосе, а также объявлены крупномасштабные учения, говорит о том, что противник планирует начать боевые действия. Наличие одного из этих факторов говорит только лишь о какой-то степени возможности начала боевых действий.

3. Учитывая то, что группировки вооруженных сил и средств воздушного нападения развернуты в мирное время противником, достаточно для проведения широкомасштабных боевых дей-

ствий против нашего государства, факторами, которые будут свидетельствовать о начале боевых действий, будут: повышение интенсивности разведки техническими средствами разведки, изменение интенсивности радиообмена, изменение состояния дежурных сил противника, незапланированные полеты авиации противника вдоль границы, провокационные действия воздушных судов противника, наличие политической напряженности между государствами.

Учитывая тот факт, что мы имеем формализованное представление исходных данных для решения задачи распознавания, возможно построить решающее правило для определения факта наступления ОТС «начало боевых действий» государства  $j$  против государства  $i$ , с использованием ИП первого порядка:

$$\begin{aligned} \text{НАЧБД}(\Gamma_j, \Gamma_i) \equiv \text{НАЧМУ}(\text{СВН}_j, \Gamma_i) \vee \\ \vee ((\text{ПЕРЕДИСЛ}(\text{ВС}_j, \Gamma_{j,i}) \vee \text{РАЗВЕРТ}(\text{ВС}_j, \Gamma_{j,i}) \vee \\ \vee \text{НАЧУЧ}(\text{ВС}_j)) \vee [(\text{ИНТТЕХР}(\Gamma_j) \wedge \\ \wedge \text{ИНТРАДОБМ}(\Gamma_j)) \vee (\text{ИЗМСОСТДС}(\text{ВС}_j, \Gamma_j) \vee \\ \vee \text{ДЕЖ}(\text{СВН}_j) \vee \text{ДЕЖ}(\text{ДРЛО}_j) \vee \text{ИНТР}(\Gamma_j)) \vee \\ \vee \text{ПОЛЕТ}(\text{ВС}_k, \Gamma_{j,i}) \wedge \text{ВНЕПЛ}(\text{ВС}_k, \text{ЗАЯВКА}_n) \vee \\ \vee \text{ПРОВОК}(\text{ВС}_{k,j}, \Gamma_i) \vee \text{ПОЛИТНАПР}(\Gamma_j, \Gamma_i)]. \end{aligned} \quad (14)$$

Учитывая то, что процесс распознавания происходит в динамичной области и значения значения каждого фактора известно лишь с какой-то степенью уверенности, запишем решающее правило в следующем виде:

$$\begin{aligned} \text{М НАЧБД}(\Gamma_j, \Gamma_i) \equiv \text{НАЧМУ}(\text{СВН}_j, \Gamma_i) \vee \\ \vee ((\text{ПЕРЕДИСЛ}(\text{ВС}_j, \Gamma_{j,i}) \vee \text{РАЗВЕРТ}(\text{ВС}_j, \Gamma_{j,i}) \vee \\ \vee \text{НАЧУЧ}(\text{ВС}_j)) \vee [(\text{ИНТТЕХР}(\Gamma_j) \wedge \\ \wedge \text{ИНТРАДОБМ}(\Gamma_j)) \vee (\text{ИЗМСОСТДС}(\text{ВС}_j, \Gamma_j) \vee \\ \vee \text{ДЕЖ}(\text{СВН}_j) \vee \text{ДЕЖ}(\text{ДРЛО}_j) \vee \text{ИНТР}(\Gamma_j)) \vee \\ \vee \text{ПОЛЕТ}(\text{ВС}_k, \Gamma_{j,i}) \wedge \text{ВНЕПЛ}(\text{ВС}_k, \text{ЗАЯВКА}_n) \vee \\ \vee \text{ПРОВОК}(\text{ВС}_{k,j}, \Gamma_i) \vee \text{ПОЛИТНАПР}(\Gamma_j, \Gamma_i)]. \end{aligned} \quad (15)$$

Где отражена возможность наступления данного события, что формально задается введением модального оператора возможности – М.

Знания о взаимосвязи между фактами в данной предметной области и формализованное представление цели решения задачи распознавания, позволяют перейти к 4 этапу метода многоэтапной формализации знаний, и представить процесс решения задачи распознавания ОТС виде СЦУ.

При этом образом вершины СЦУ будут соответствовать номерам предикатов представленных выше, а связи между вершинами соответствуют тем закономерностям, которые выявлены в данной предметной области (рис. 1).

Разработанное формализованное описание знаний о процессе распознавания ОТС, позволяет перейти к реализации процедуры принятия решения, реализованной для данной СЦУ.

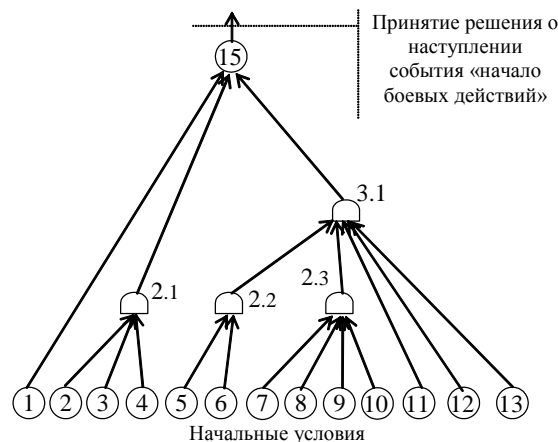


Рис. 1. Представление процедуры распознавания в виде СЦУ

**Разработка процедуры принятия решения.**

При реализации процедуры принятия решения, с использованием СЦУ необходимо учесть следующие факторы:

- 1) значения истинности исходных данных могут быть как исключительно логические 0 или 1, так и принадлежать нечеткому интервалу [0;1];
- 2) необходимость учета того, что значения истинности могут иметь различную степень истинности (детерминированную либо непрерывную);
- 3) необходимость получения оценки модального высказывания о возможности наступления данного события, как наиболее полно удовлетворяющий условиям отражения динамичности изменения ситуаций в воздушном пространстве, так и позволяющий представлять различные оценки (логические, лингвистические, нечеткие) процессам, происходящим в предметной области.

Таким образом, для реализации процедуры принятия решения о типе ОТС, возможно воспользоваться методом предложенным в. В данной работе предложено и обосновано использование в качестве аппарата обобщения результатов интерпретации высказываний ассоциативной симметрической суммы вида:

$$\sigma(x, y) = \frac{x + y - x * y}{1 + x + y - 2xy}. \quad (16)$$

Для формирования, решающего правила в виде (16), поставим в соответствие высказываниям 1-13, 15 малые буквы латинского алфавита

a,b,c,d,i,f,g,h,j,k,l,m,n,o,

которые в решающем правиле будут интерпретированы как значение оценки истинности соответствующего высказывания.

Вершини 2.1, 2.2, 2.3, 3.1 соответственно обозначим как:  $v_1, v_2, v_3, w_1$ .

Тогда можем получить:

$$v_1 = \frac{b+c+d-b \cdot c \cdot d}{1+b+c+d-2 \cdot b \cdot c \cdot d};$$

$$v_2 = \frac{i+f-i \cdot f}{1+i+f-2 \cdot i \cdot f}; \quad (17)$$

$$v_3 = \frac{g+h+j+k-g \cdot h \cdot j \cdot k}{1+g+h+j+k-2 \cdot g \cdot h \cdot j \cdot k};$$

$$w_1 = \frac{v_2+v_3+1+m+n-v_2 \cdot v_3 \cdot 1 \cdot m \cdot n}{1+v_2+v_3+1+m+n-2 \cdot v_2 \cdot v_3 \cdot 1 \cdot m \cdot n}. \quad (18)$$

Тогда окончательный вид для вычисления значения истинности решающего правила (15) в виде симметрической суммы получим:

$$o = \frac{a+v_1+v_2+v_3+w_1-a \cdot v_1 \cdot v_2 \cdot v_3 \cdot w_1}{1+a+v_1+v_2+v_3+w_1-2 \cdot a \cdot v_1 \cdot v_2 \cdot v_3 \cdot w_1}. \quad (19)$$

При этом необходимо отметить, что возможно использовать вместо (16) другие генераторы симметрических сумм, как более адекватно описывающих свойства взаимосвязей между фактами и целями в данной предметной области.

Используя предложенный подход к формализации процесса распознавания ОТС, возможно описание и других типов ОТС.

### Выводы

Предложенный в данной работе метод формализации знаний о процессе распознавания оперативно-тактических ситуациях позволяет учитывать характерные особенности решения задач подобного класса.

Разработанный метод позволяет создавать модели знаний о предметной области, для которых возможно провести проверку на непротиворечивость, гибкий аппарат формализации позволяет реализовать заданную степень полноты описания знаний о предметной области.

Также возможна реализация механизма получения альтернативных вариантов решений с заданной степенью оперативности.

Разработка всего множества описаний ОТС и объединение их в единую модель знаний о ОТС, позволит разработать обобщенную систему распознавания ОТС.

### Список литературы

1. Теоретичні основи автоматизації процесів вироблення рішень в системах управління Повітряних Сил: Навчальний посібник / О.В. Александров, Д.Е. Двухглазов, М.А. Павленко, І.О. Романенко, О.І. Тимочко. – Х.: ХУПС, 2010. – 169 с.
2. Довідник з протиповітряної оборони / А.Я. Торопчин, І.О. Романенко, Ю.Г. Даник, Р.Е. Пащенко та ін. – К.: МО України, Х: ХВУ, 2003. – 368 с.
3. Системы поддержки принятия решений и задачи их эргономического проектирования / М.А. Павленко, В.Н. Руденко, П.Г. Бердник, Ю.В. Данюк // Військово-технічний збірник Академії сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного. – Львів: Академія сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного, 2010. – Вип. 3. – С. 3-7.
4. Павленко М.А. Формалізований опис знань про процес відбору джерел вогневих засобів Повітряних Сил / М.А. Павленко, С.А. Войтович, М.І. Литвиненко // Системи обробки інформації. – Х.: ХУПС, 2009. – Вип. 2(76). – С. 30-35.
5. Раковский Х.В. Задача формализации процессов управления боевой подготовкой / Х.В. Раковский, К.А. Метешкин, М.А. Павленко // Системи обробки інформації. – Х.: ХУПС, 2008. – Вип. 2(69). – С. 162-165.

Поступила в редколлегию 15.05.2012

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. В.Д. Карлов, Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, Харьков.

### РОЗРОБКА МЕТОДУ БАГАТОЕТАПНО ФОРМАЛІЗАЦІЇ ЗНАНЬ ПРО ПРОЦЕСИ РОЗПІЗНАВАННЯ ОПЕРАТИВНО-ТАКТИЧНИХ СИТУАЦІЙ

М.А. Павленко, П.Г. Бердник, С.В. Кукобко, Ю.В. Данюк

У даній статті запропоновано метод розпізнавання оперативно-тактичних ситуацій, заснований на використанні когнітивного підходу до вирішення даного завдання, а також враховує можливість вироблення рішення про тип ситуації в реальному масштабі часу.

**Ключові слова:** знання, формалізація знань, розпізнавання.

### METHOD DEVELOPMENT MULTISTAGE FORMALIZATION OF KNOWLEDGE ABOUT RECOGNITION PROCESS TACTICAL SITUATIONS

M.A. Pavlenko, P.G. Berdник, S.V. Kukobko, Y.V. Danyuk

This paper proposed a method for detection of tactical situations, based on the use of the cognitive approach to solving this problem, and also takes into account the possibility of reaching a decision about the type of situation in real time.

**Keywords:** knowledge, formalization of knowledge, recognition.