

КОНТРОЛЬ КОСМІЧНОГО І ПОВІТРЯНОГО ПРОСТОРУ

УДК 004.825

Д.Е. Василенко¹, П.Г. Бердник²¹ *Кировоградская летная академия НАУ, Кировоград*² *Харьковский национальный университет имени С.Н. Каразина, Харьков*

ФОРМАЛИЗАЦИЯ ЗНАНИЙ О ЗАДАЧАХ УПРАВЛЕНИЯ ВОЗДУШНЫМ ДВИЖЕНИЕМ ДЛЯ ПЕРСПЕКТИВНЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

Разработка перспективных систем управления воздушным движением требует разработки новых подходов к проектированию и разработки специального математического и программного обеспечения. Одним из перспективных направлений совершенствования специального математического обеспечения является использование методов искусственного интеллекта. Для разработки баз знаний и данных таких систем необходимо провести анализ и выбор метода формализации знаний. В работе обоснован выбор метода формализации знаний с учетом особенностей решения задач управления воздушным движением.

Ключевые слова: управление воздушным движением, искусственный интеллект, формализация задач, АСУ, управление, принятие решений.

Введение

Развитие систем управления различного назначения на сегодняшний день представляет собой, в первую очередь, совершенствование математического и программного обеспечения получения, хранения и обработки информации в процессе управления различными объектами и процессами.

Одним из перспективных направлений развития математического обеспечения является внедрение методов искусственного интеллекта для решения задач управления. При управлении воздушным движением наиболее остро встают вопросы оперативности принятия решений в условиях высокой неопределённости данных и знаний о сложившейся обстановке и направлении ее изменения. Это определяет актуальность разработки экспертных систем оценки складывающейся обстановки и анализа возможных путей ее развития. Разработка данной системы позволит усовершенствовать процессы информационного обеспечения деятельности диспетчеров при управлении воздушным движением. Одной из ключевых задач при разработке экспертных систем является выбор аппарата формализации знаний для разработки свойств и структур баз знаний и данных таких систем.

Анализ литературы. Анализ возможностей использования различных логик в качестве основы построения формальных систем (ФС) для формализации задач рассматриваемого класса позволяет сформулировать их основные недостатки [1 – 5]:

В классической математической логике понятие истины абсолютно. В то же время, истина в требуемом логическом исчислении должна рассматриваться как относительная. Это связано с тем, что развитие

ситуации в воздушной среде делает знание о ней относительным, неточным и неполным. Кроме того, в физической реальности истина может зависеть от множества ситуаций, начальных условий и т.д.

Понятие истины в математической логике является статическим. Это вытекает из основных свойств математической логики. Все материальные объекты в отличие от математических изменяют свои свойства и характеристики. Реальные объекты являются динамическими. Следовательно, в требуемом исчислении истины должны рассматриваться как динамические.

Неконструктивность математической логики. Все истины должны иметь конструктивную семантическую интерпретацию в объективной реальности, т.е. должны существовать практические способы установления их соответствия этой реальности – прагматической истинности (здесь и далее речь идет о телеотической прагматике).

Для математической логики понятие истины имеет смысл по отношению к суждениям объективной реальности. Требуемая логика должна носить множественный характер исходя из необходимости отражения различных аспектов знаний. По отношению к суждениям, выводимым посредством аппарата формализации (АФ). Основополагающую роль играет понятие присутствия, возможности, необходимости, реализуемости и других свойств объективных явлений, отражающих соответствующие аспекты знаний.

На практике для предметной области (ПО), вследствие наличия субъективных знаний о ней, характерны неполнота и противоречивость информации. Классические логики не позволяют в должной мере описывать объекты ПО в условиях неполноты и противоречивости знаний о них.

Для решения подобных противоречий возможно применение категорной логики как основы построения АФ [2, 3]. Однако для категорной логики характерна сложность представления объектов различной природы, установление и описание всего множества морфизмов между объектами разных теорий ПО. Это значительно затрудняют возможность использования категорной логики для формализации задач распознавания ситуации в воздушном пространстве и задач управления воздушными объектами для приведения ситуаций в воздушном пространстве к целевому состоянию (при условии выполнения всех приведенных выше требований к АФ экспертной системы).

В ряде работ обосновано использование для описания процессов принятия решений структуры целевых установок, представленной обобщенной сетевой моделью [4 – 10]. Данная структура является разновидностью неоднородной функциональной сети, и обладает широкими описательными возможностями. Однако в ранее используемом виде СЦУ не позволяла устанавливать истинность целевых установок (НУ) по всем аспектам знаний вследствие отсутствия описательных средств прагматического аспекта. Вместе с тем, необходимость установления прагматической истинности для систем рассматриваемого класса обусловлена характером процесса управления в реальном масштабе времени. В ряде работ отмечено, что описание фактов достижения целей может быть корректно произведено посредством системы понятий (признаков) в рамках четырехзначных логик, обладающих высокими описательными способностями в условиях неопределенности и противоречивости информации [8 – 10]. Введение в состав ФС, являющейся основой АФ структуры целевых установок (СЦУ), элементов логики присутствия интерпретированной применительно к логике множеств, позволяет устранить ограниченность описательных возможностей рассматриваемой структуры [7]. В настоящее время показано, что рассмотренные логики в самом общем случае могут быть описаны и представлены методами теории нечетких множеств.

Таким образом, для формализации знаний о задачах рассматриваемого класса целесообразно использовать формально-логический АФ СЦУ, дополненный для описания прагматического аспекта знаний нечеткими множествами.

Целью данной работы является обоснование выбора аппарата формализации знаний о задачах управления воздушным движением для перспективных автоматизированных систем управления воздушным движением.

Основная часть

В общем случае принятие решения в сложных ситуациях характеризуется перечнем проблем $\bar{P} = (P_1, P_2, \dots, P_n)$, ограничений на возможные дей-

ствия $\bar{O} = (O_1, O_2, \dots, O_m)$ и заключается в формировании множества целей принятия решения $\bar{C} = (C_1, C_2, \dots, C_l)$, возможных вариантов их достижения $\bar{D} = (D_1, D_2, \dots, D_k)$ и выборе наилучшего в некотором смысле набора действий $\bar{D}^* = (D_1^*, D_2^*, \dots, D_s^*)$, обеспечивающих достижение поставленных целей [6 – 10].

Формулировка и постановка цели является одним из основных этапов целевого планирования и управления. В понимаемом смысле цель характеризует:

- предметную область - некоторую проблему, для устранения которой цель необходимо сформулировать и достигнуть;
- множество состояний объектов физической реальности, достижение которых обеспечивает достижение цели;
- множество состояний объектов физической реальности, определяющих направление действий для достижения самой цели.

Существенным моментом является то, что средства достижения цели вытекают из содержания самой цели [2]. Пусть в рамках решаемой задачи множество целей описано семантическими формулами на естественном языке. Из всего указанного множества можно выделить основные, вспомогательные и промежуточные цели [3].

Основные и вспомогательные цели могут быть, в свою очередь, постоянными и оперативными [4]. Оперативные цели являются интерпретацией постоянных целей применительно к конкретным условиям сложившейся обстановки, их формулировки указывают на конкретные объекты внешней среды или системы. Конечные состояния являются существенными для требуемого целевого состояния (ЦС). Каждая постоянная цель может порождать множество оперативных целей, которые должны выполняться совместно.

В общем случае формализованное описание цели может включать некоторое множество формул Φ_a , соединенных между собой логическими связками \wedge, \vee (дизъюнкции и конъюнкции).

Если существует множество формул $\{x_1, x_2, \dots, x_m, y\}$, таких, что:

$$x_1 \wedge x_2 \wedge \dots \wedge x_m \rightarrow y, \quad (1)$$

$$y \rightarrow x_1 \wedge x_2 \wedge \dots \wedge x_m, \quad (2)$$

истинны для некоторой цели y , то цель y называется конъюнктивной, в иерархической структуре ей соответствует вершина «И» (рис 1, а).

Если для множества формул $\{x_1, x_2, \dots, x_m, y\}$ истинны выражения

$$x_1 \wedge x_2 \wedge \dots \wedge x_m \rightarrow M \uparrow y, \quad (3)$$

$$M \uparrow y \rightarrow x_1 \wedge x_2 \wedge \dots \wedge x_m, \quad (4)$$

то цель - называется конъюнктивно достижимой (рис. 1, б). Вершине $M \uparrow y$ у соответствуют некоторые действия системы, позволяющие перейти из текущего состояния в состояние истинности y . Для цели y истинность конъюнкции $x_1 \wedge x_2 \wedge \dots \wedge x_m$ является необходимым и достаточным условием возможности ее достижения.

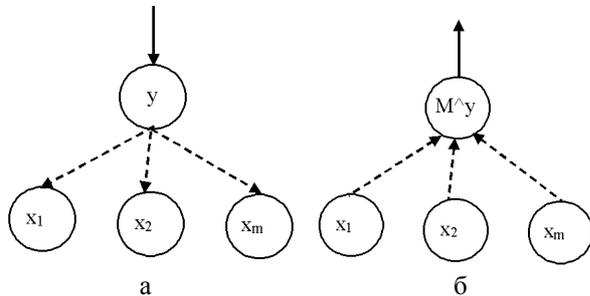


Рис. 1. Обозначение конъюнктивных и конъюнктивно достижимых целей на графе сетевой модели

Дизъюнктивной называется цель y , для которой истинны выражения:

$$x_1 \vee x_2 \vee \dots \vee x_m \rightarrow y, \tag{5}$$

$$y \rightarrow x_1 \vee x_2 \vee \dots \vee x_m, \tag{6}$$

в иерархической структуре ей соответствует вершина «ИЛИ» (рис. 2, а). Если истинны формулы:

$$x_1 \vee x_2 \vee \dots \vee x_m \rightarrow M \uparrow y, \tag{7}$$

$$M \uparrow y \rightarrow x_1 \vee x_2 \vee \dots \vee x_m, \tag{8}$$

то цель дизъюнктивно достижима (рис. 2, б).

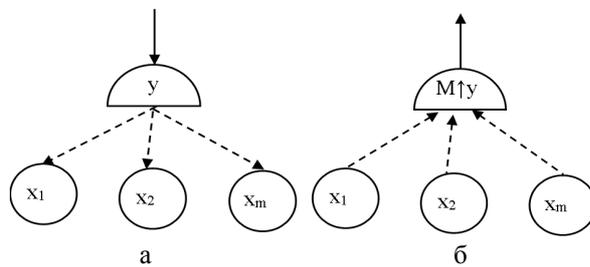


Рис. 2. Обозначение дизъюнктивных и дизъюнктивно достижимых целей на графе сетевой модели

Истинность любой из составляющих дизъюнкций (7) является необходимым и достаточным условием возможности достижения цели y .

Выражения (3, 4, 7, 8) отражают алетический и деонтический аспекты знаний. Причем истинность выражений (3, 7) отражает алетическую истинность T_a или ложность F_a , истинность выражений (4, 8) - деонтическую истинность T_D или ложность F_D .

Процесс достижения цели y из некоторого множества целевых установок $\{x_1, x_2, \dots, x_m, y\}$ определяется типом вершины y и носит иерархический характер. Такой порядок достижения цели y вытекает из того, что цели $\{x_1, x_2, \dots, x_m, y\}$, в свою

очередь, могут достигаться из множества $\left\{ \{z_1^1, z_2^1, \dots, z_0^1\}, \{z_1^2, z_2^2, \dots, z_p^2\}, \{z_1^m, z_2^m, \dots, z_r^m\} \right\}$, включающего подмножества $\{z_i^j\}$, $(i = 1, \dots, t, j = 1, \dots, m)$ достижения целей $\{x_1, x_2, \dots, x_m\}$. Таким образом, возможно выделение некоторой логической последовательности достижения целей всех уровней иерархии. На самом нижнем уровне иерархии будут находиться исходные послылки, определяющие начальный этап достижения целей. Данные послылки не имеют необходимых и достаточных условий достижения, их достижение определяется исходной для решения задач управления ситуацией. Такие исходные послылки называются начальными условиями [6].

Достижение различных целей из некоторого множества начальных условий (НУ) возможно за различное количество шагов, определяющих ранг ЦУ. Под рангом ЦУ (уровнем иерархии цели) будем понимать максимальное для всех возможных путей достижения цели количество шагов (этапов) за которое она может быть достигнута из начального состояния системы [7]. Необходимо отметить, что иерархическая сетевая структура отражает лишь возможность достижения определенного ЦС. Реально достижение этого состояния осуществляется посредством активного воздействия на внешнюю среду системы управления через объекты управления, т.е. сопровождается некоторым действием. Состояния внешней среды при отсутствии воздействия могут не соответствовать состояниям, описываемым СЦУ.

Логическая последовательность достижения ЦУ определяется отношениями между ними. Поскольку ЦУ являются формализацией ЦС и последовательность достижения целей в физической реальности отражает определенный порядок чередования во времени ЦС, то правомочно рассматривать отношения между ЦУ как отношения следования. В свою очередь, эти отношения могут быть разделены на отношения подчинения, предшествования, начальные условия и результирующую вершины [8].

Отношения подчинения целей x и y (xPy) предполагают, что цель x является конъюнктивной или дизъюнктивной составляющей цели y или необходимым условием ее достижения [9].

Отношения предшествования между ЦУ определяют последовательность достижения вышестоящих целей системы из целей нижнего уровня. Отношения слабого предшествования предполагают, что для целей x и y существует момент времени t , когда цель x достигнута, а y - нет. В этом случае x предшествует y и обозначается xTy .

Отношения "начальные условия-результат" (xDu) или отношения действия, характеризуют некоторые действия системы, определяющие ее переход из одного состояния в другое, являющихся необхо-

димыми условиями такого перехода. Отношения действия предполагают наличие некоторых ресурсов системы \bar{R} . Для двух ЦУ x и y , между которыми установлены отношения действия, переход из ЦС x в состояние y предполагает активное воздействие на внешнюю среду, сопровождаемое расходом запаса ресурсов системы. При этом под ресурсами понимаются любые силы и средства оказания воздействия на внешнюю среду. В общем случае возможно наличие сложных действий, предполагающих некоторую композицию простых (элементарных) действий. Например, для изменения характеристик полета воздушного объекта могут использоваться средства связи или радиотехнического обеспечения полетов либо их совместное использование т.д.

Таким образом, в общем случае, для перехода из одного ЦС в другое необходимы затраты некоторого запаса воздействий множества ресурсов $\bar{R}_{s_s} = \{r_1, r_2, \dots, r_m\}$ определяемых логической комбинацией элементарных действий. При этом каждый из ресурсов может иметь правила использования ресурсов $\bar{N}_i(r_j)$, определяющих условия и порядок их применения, нормативные правила расхода запаса воздействий ресурсов $\bar{P}_{3_k}(r_j)$. Например, для изменения параметров полета может быть потрачено различное количество топлива.

Предполагается, что любое действие, определяющее переход из одной ЦУ в другую, осуществляется во времени, т.е. является динамичным. Причем, действию должно соответствовать некоторое множество НУ или ситуаций, определяющее априорные предпосылки его успешного завершения. То есть, отношения действия D_S между ЦУ x и y предполагают строгую временную последовательность достижения целей, что позволяет рассматривать их как некоторое отношение предшествования, "нагруженное" действием:

$$D_S = \langle \bar{R}_{S_s}, \bar{N}_i, \bar{P}_{3_s}, T_s \rangle, \quad (9)$$

где $\bar{N}_i = \langle \bar{N}_i(r_j) \rangle$ - множество нормативных правил использования ресурсов, $\bar{P}_{3_s} = \langle \bar{P}_{3_s}(r_j) \rangle$ - множество нормативных правил расхода запаса воздействий ресурсов, T_s - интервал времени, определяющий продолжительность действия.

Использование в приведенном виде отношений между ЦУ для описания закономерностей ПО является проблематичным, так как реальные отношения оказываются значительно более сложными. Вместе с тем, выделение набора элементарных отношений $\langle xRy, xTy, xDu \rangle$ позволяет, используя их комбинации, строить более сложные описания, не нарушая

характера отношений следования. Кроме того, характер и наличие отношений между ЦУ могут зависеть от условий $\bar{\Theta}$, определяемых значениями признаков (состояний объектов, запасом ресурсов и т.д.). Рассмотрим сложные конъюнктивные, дизъюнктивные и комбинированные отношения.

Под конъюнктивными сложными отношениями будем понимать такие отношения между ЦУ, которые имеют признаки нескольких элементарных отношений. При этом под элементарными отношениями понимаются составляющие отношений следования (действия, предшествования, подчинения). Конъюнктивные сложные отношения могут быть, в свою очередь, безусловными (10) и условными (11).

$$R1 = R1_1 \wedge R1_2 \wedge \dots \wedge R1_k; \quad (10)$$

$$R1 = (R1_1 / \vartheta = \vartheta_1^k) \wedge \dots \wedge (R1_1 / \vartheta = \vartheta_1^j), \quad (11)$$

где $R1_i$ - одно из элементарных отношений; ϑ - формула, определяющая условие реализации $R1_i$ -го элементарного отношения; ϑ_i^j - интерпретация формулы ϑ , определяющая условие реализации отношений между i -й и j -й ЦУ.

Под дизъюнктивными сложными отношениями будем понимать такие отношения между ЦУ, которые при различных условиях могут иметь признаки одного из элементарных отношений:

$$R1 = (R1_1 / \vartheta = \vartheta_1^k) \vee \dots \vee (R1_1 / \vartheta = \vartheta_1^j). \quad (12)$$

Под обобщенными (комбинированными) отношениями будем понимать такие отношения, которые при различных условиях ϑ_i^j могут иметь признаки сложных комбинаций элементарных отношений:

$$R1 = (R1_1 / \vartheta = \vartheta_1^k) \nabla \dots \nabla (R1_1 / \vartheta = \vartheta_1^j), \quad (13)$$

где ∇ - одна из логических операций.

Дизъюнктивные и обобщенные отношения всегда являются условными. На графе сети условные сложные отношения изображаются с использованием вершин-разветвителей (рис. 3).

Простые отношения являются отношениями строгого частичного порядка, характеризующимися свойствами:

$$x R x \text{ - антирефлексивности; } \quad (14)$$

$$x R y \rightarrow \neg y R x \text{ - антисимметричности; } \quad (15)$$

$$(x R y) \vee (y R z) \rightarrow x R z \text{ - транзитивности. } \quad (16)$$

Сложные отношения также являются отношениями строгого частичного порядка. Действительно, по определению, элементарные отношения являются

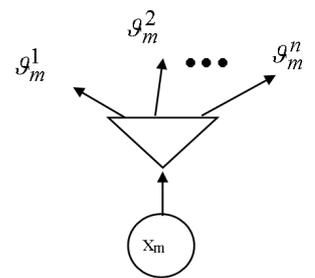


Рис. 3. Обозначение сложных отношений на графе сетевой модели

независимими и взаимно не включают компоненты по которым осуществляется их классификация. Следовательно, любая их комбинация не нарушает строгости и частичного порядка. Введение условий Θ определяет только наличие отношений, их вид, но не изменяет степень их строгости и значение порядка.

Возможность рассмотрения отношений с точки зрения единой методологии, а также их обобщение, позволяет рассматривать отношения между ЦУ как обобщенные отношения следования.

Обобщенные отношения следования с точки зрения различных ЦУ носят двойственный характер. С позиции ЦУ более высокого уровня иерархии, цели низшего уровня является причиной. С позиции ЦУ более низкого уровня иерархии, цели высшего уровня является следствием. Следовательно, для анализа процесса достижения целей с позиций ЦУ различных уровней иерархии возможно выделение в рамках обобщенных отношений следования отношений причины и отношений следствия. Целевая установка x условно или безусловно является причиной ЦУ y , если x подчинена y , предшествует ей, либо y является результатом действия x . При этом y является следствием x . Отношения причины будем обозначать Pg , следствия - Sl .

В представленном виде СЦУ реализует аксиоматический подход к формированию ФТ предметной области [10]. Действительно, правила формирования сети отражают аксиомы алетической и деонтической логики, являющиеся логическими аксиомами базовой ФС для СЦУ. Нелогические аксиомы определяют описание с позиций прагматического, деонтического и алетического аспектов знаний, семантическую интерпретацию сети по отношению к моделируемой СТ ПО. Система проверки корректности знаний отражает эпистемистический, процедуры логического вывода - десизиональный аспект знаний.

ФОРМАЛІЗАЦІЯ ЗНАНЬ ПРО ЗАВДАННЯ УПРАВЛІННЯ ПОВІТРЯНИМ РУХОМ ДЛЯ ПЕРСПЕКТИВНИХ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ

Д.Є. Василенко, П.Г. Бердник

Розробка перспективних систем управління повітряним рухом вимагає розробки нових підходів до проектування і розробки спеціального математичного та програмного забезпечення. Одним з перспективних напрямів удосконалення спеціального математичного забезпечення є використання методів штучного інтелекту. Для розробки баз знань і даних таких систем необхідно провести аналіз і вибір методу формалізації знань. В роботі обґрунтований вибір методу формалізації знань з урахуванням особливостей рішення задач управління повітряним рухом.

Ключові слова: управління повітряним рухом, штучний інтелект, формалізація завдань, АСУ, управління, прийняття рішень.

FORMALIZATION OF KNOWLEDGE THE TASKS OF AIR TRAFFIC CONTROL SYSTEMS FOR ADVANCED AIR TRAFFIC CONTROL

D.E. Vasilenko, P.G. Berdnik

Development of advanced air traffic control systems requires the development of new approaches to the design and development of special mathematical and software. One of the promising ways to improve special software is to use the methods of artificial intelligence. To develop the knowledge base and data of such systems should be analyzed and the choice of method of formalization of knowledge. We justify the choice of the method of formalization of knowledge allowing for the solution of air traffic control problems.

Keywords: air traffic control, artificial intelligence, the formalization of tasks, automation, management, decision-making.

Вывод

Таким образом, рассматриваемый метод должен обеспечивать формализацию знаний с позиций алетического, деонтического и прагматического аспектов знаний, методика контроля корректности знаний - эпистемистического аспекта. Формализация десизиональных знаний о задачах ОУ выходит за рамки настоящего исследования.

Список литературы

1. ДСТУ 2481-94. Системи оброблення інформації. Інтелектуальні інформаційні технології. Терміни та визначення. - К.: Держстандарт України, 1994. - 30 с.
2. Ивлев Ю.В. Содержательная семантика модальной логики / Ю.В. Ивлев. - М.: МГУ, 1985. - 170 с.
3. Слинин Я.А. Современная модальная логика / Я.А. Слинин. -Л.: ЛГУ, 1976. - 104 с.
4. Соснин П.И. Логика понятий / П.И. Соснин. - Саратов: Саратовский госуд. ун-т, 1986. - 86 с.
5. Модальные и интенциональные логики и их применение к проблемам методологии науки / Под ред. В.А. Смирнова. - М.: Наука, 1984. - 368 с.
6. Чень Ч. Математическая логика и автоматическое доказательство теорем / Ч. Чень, Р. Ли. Пер. с англ. - М.: Наука, 1983. - 360 с.
7. Заде Л. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений / Л. Заде. - М.: Мир, 1976. - 165 с.
8. Дюбуа Д. Теория возможностей. Приложение к представлению знаний в информатике / Д. Дюбуа, А. Прадью. Пер. с франц. - М.: Радио и связь, 1990. - 287 с.
9. Низенко Б.И. Метод формализации знаний, содержащих модальности для экспертных систем реального времени / Б.И. Низенко, М.А. Павленко, П.Г. Бердник // Системи обробки інформації. - Х.: ХВУ, 2004. - Вип. 10(38). - С. 117-125.
10. Павленко М.А. Разработка процедуры многоэтапной формализации знаний для экспертных систем реального времени / М.А. Павленко // Системи обробки інформації. - Х.: ХВУ, 2004. - Вип. 9(37). - С. 124-133.

Надійшла до редколегії 14.11.2015

Рецензент: д-р техн. наук, проф. О.І. Тимочко, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.