

УДК 004.825

К. П. СТОРЧАК, доктор техн. наук, доцент;

А. П. БОНДАРЧУК, доктор техн. наук, доцент;

Д. Е. ВАСИЛЕНКО, аспірант;

А. Н. ШУШУРА, доктор техн. наук, доцент;

О. А. ЗОЛОТУХИНА, канд. техн. наук,

Государственный университет телекоммуникаций, Киев

ФОРМАЛИЗАЦИЯ ЗНАНИЙ О ЗАДАЧАХ УПРАВЛЕНИЯ ВОЗДУШНЫМ ДВИЖЕНИЕМ ДЛЯ ПЕРСПЕКТИВНЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ВОЗДУШНЫМ ДВИЖЕНИЕМ

Развитие перспективных систем управления воздушным движением требует изучения новых подходов к проектированию и созданию 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 статье 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.

Вступление

Сегодня развитие систем управления различного назначения представляет собой прежде всего 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 возникают вопросы оперативности принятия решений в условиях высокой неопределенности 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. Создание 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 изучения свойств и структур баз знаний и данных таких систем.

Анализ публикаций. Анализ возможностей использования различных логик в качестве основы построения формальных систем (ФС) для формализации задач рассматриваемого класса позволяет сформулировать их основные недостатки [1–7].

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 [2]).

Для математической логики понятие истины имеет смысл относительно суждений 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 играют понятия 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 [2–5]. Однако для *категорной логики* характерна сложность представления объектов различной природы, установление и описание всего множества морфизмов между объектами разных теорий ПО. Это значительно затрудняет 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 для описания процессов принятия решений обосновано использование структуры целевых установок (СЦУ), представленной обобщенной сетевой моделью [2; 6–15]. Данная структура является разновидностью неоднородной функциональной сети и обладает широкими описательными возможностями. Однако в ранее используемом виде СЦУ не позволяла устанавливать истинность целевых установок (ЦУ) по всем аспектам знаний из-за отсутствия описательных средств прагматической стороны. 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 выполнено посредством системы понятий (признаков) в рамках четырехзначных логик, обладающих высокими описательными способностями в условиях неопределенности и противоречивости информации [10–15]. Введение в состав ФС, являющейся основой АФ СЦУ, элементов логики присутствия, интерпретированной применительно к логике множеств, позволяет устранить ограниченность описательных возможностей рассматриваемой структуры [9].

В настоящее время показано, что рассмотренные логики в самом общем случае могут быть описаны и представлены методами теории нечетких множеств [14].

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 статьи 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

$\bar{P} = (P_1, P_2, \dots, P_n)$, ограниченный на возможные действия $\bar{O} = (O_1, O_2, \dots, O_m)$ и заключается в формализации множества целей принятия решения $\bar{\Pi} = (\Pi_1, \Pi_2, \dots, \Pi_l)$, возможных вариантов их достижения $\bar{D} = (D_1, D_2, \dots, D_k)$ и выборе наилучшего в некотором смысле набора действий $\bar{D}^* = (D_1^*, D_2^*, \dots, D_k^*)$, обеспечивающих достижение поставленных целей [8–15].

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 достичь;
- ♦ множество состояний объектов физической реальности, достижение которых обеспечивает достижение цели;
- ♦ множество состояний объектов физической реальности, определяющих направление действий для достижения самой цели [3].

Существенным моментом является то, что средства достижения цели следуют из содержания самой цели [4].

Пусть в рамках решаемой задачи множество целей описано семантическими формулами на естественном языке. Из всего указанного множества можно выделить основные, вспомогательные и промежуточные цели [5].

Основные и вспомогательные цели могут быть, в свою очередь, постоянными и оперативными [6]. 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 состоять из некоторого множества 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

$$x_1 \wedge x_2 \wedge \dots \wedge x_m \rightarrow y, \tag{1}$$

$$y \rightarrow x_1 \wedge x_2 \wedge \dots \wedge x_m, \tag{2}$$

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

$$x_1 \wedge x_2 \wedge \dots \wedge x_m \rightarrow M \uparrow y, \tag{3}$$

$$M \uparrow y \rightarrow x_1 \wedge x_2 \wedge \dots \wedge x_m, \tag{4}$$

то цель называется конъюнктивно достижимой (рис. 1, б). Вершине $M \uparrow y$ 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.

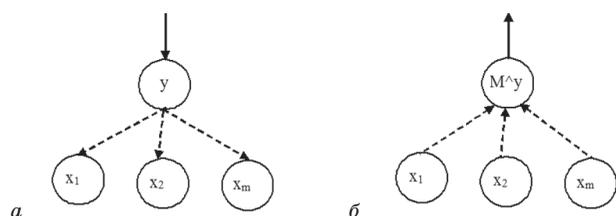


Рис. 1. Обозначение конъюнктивных (а) и конъюнктивно достижимых (б) целей на графе сетевой модели

Дизъюнктивной называется цель y , для которой истинны такие выражения:

$$x_1 \vee x_2 \vee \dots \vee x_m \rightarrow y, \quad (5)$$

$$y \rightarrow x_1 \vee x_2 \vee \dots \vee x_m, \quad (6)$$

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

Если истинны формулы

$$x_1 \vee x_2 \vee \dots \vee x_m \rightarrow M \uparrow y, \quad (7)$$

$$M \uparrow y \rightarrow x_1 \vee x_2 \vee \dots \vee x_m, \quad (8)$$

то цель называется дизъюнктивно достижимой (рис. 2, б).

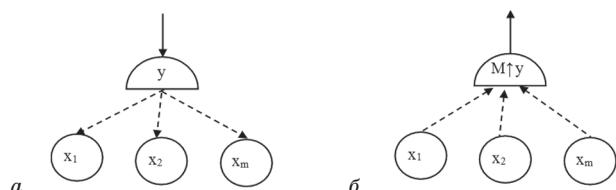


Рис. 2. Обозначение дизъюнктивных (а) и дизъюнктивно достижимых (б) целей на графе сетевой модели

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

Выражения (3), (4), (7), (8) определяют 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 следует из того, что цели $\{x_1, x_2, \dots, x_m, y\}$, в свою очередь, могут достигаться из множества $\{\{z_1^1, z_2^1, \dots, z_o^1\}, \{z_1^2, z_2^2, \dots, z_p^2\}, \{z_1^m, z_2^m, z_r^m\}\}$, включаю- го подмножества $\{z_i^j\}$, $(i = 1, 2, \dots, t, j = 1, 2, \dots, m)$ достижения целей $\{x_1, x_2, \dots, x_m, y\}$. Таким образом, возможно выделение некоторой логической последовательности достижения целей всех уровней

иерархии. На самом нижнем уровне иерархии будут находиться исходные посылки, определяющие начальный этап достижения целей. Данные посылки не имеют необходимых и достаточных условий достижения, их достижение определяется исходной для решения задач управления ситуацией. Такие исходные посылки называются *начальными условиями* [8].

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 [9].

Необходимо отметить, что иерархическая сетевая структура отражает лишь возможность достижения определенного целевого состояния (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 такого 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 вершину [10].

Отношения подчинения целей x и y (xPy) предполагают, что цель x является конъюнктивной или дизъюнктивной составляющей цели y или необходимым условием ее достижения [11].

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 необходимыми 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 $N_i(r_j)$, устанавливающих условия и порядок их применения, нормативные правила расхода запаса воздействий ресурсов $P_{S_k}(r_j)$. 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, определяющих априорные предпосылки его успешного завершения. Таким образом, 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:

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

где $\bar{N}_{i_s} = \langle N_i(r_j) \rangle$ — множество нормативных правил использования ресурсов;

$\bar{P}_{3_s} = \langle P_{3_s}(r_j) \rangle$ — 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 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 отношения следования (действия, предшествования, подчинения). Конъюнктивные сложные отношения могут быть, в свою очередь, безусловными (10) и условными (11).

$$R1 \wedge R1_1 \wedge R1_2 \wedge \dots \wedge R1_n; \quad (10)$$

$$R1 = \left(\frac{R1_1}{\vartheta = \vartheta_1^k} \right) \wedge \left(\frac{R1_2}{\vartheta = \vartheta_2^l} \right) \wedge \dots \wedge \left(\frac{R1_i}{\vartheta = \vartheta_i^j} \right), \quad (11)$$

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:

$$R1 = \left(\frac{R1_1}{\vartheta = \vartheta_1^k} \right) \vee \left(\frac{R1_2}{\vartheta = \vartheta_2^l} \right) \vee \dots \vee \left(\frac{R1_i}{\vartheta = \vartheta_i^j} \right). \quad (12)$$

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

$$R1 = \left(\frac{R1_1}{\vartheta = \vartheta_1^k} \right) \nabla \left(\frac{R1_2}{\vartheta = \vartheta_2^l} \right) \nabla \dots \nabla \left(\frac{R1_i}{\vartheta = \vartheta_i^j} \right), \quad (13)$$

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).

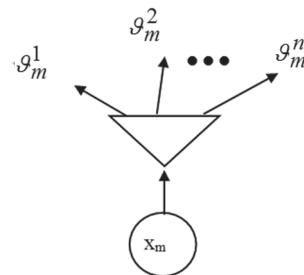


Рис. 3. Обозначение сложных отношений на графе сетевой модели

Простые отношения являются отношениями строгого частичного порядка, характеризующимися такими свойствами:

- антирефлексивности xRx ; (14)

- антисимметричности $xRy \rightarrow \neg yRx$; (15)

- транзитивности $(xRy) \vee (yRz) \rightarrow xRz$. (16)

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

независимые 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 определения отношений с позиции 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. В случае, когда ЦУ более высокого уровня иерархии, тогда цели низшего уровня являются причиной, если же ЦУ более низкого уровня иерархии, то цели высшего уровня являются следствием. Таким образом, 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 .

В представленном виде СЦУ реализует аксиоматический подход к формированию ФТ предметной области [12]. Действительно, правила формирования сети отражают аксиомы алетической и деонтической логики [13], 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 — десигнационные аспекты знаний [14].

Вывод

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

Список использованной литературы

1. ДСТУ 2481-94. Системи оброблення інформації. Інтелектуальні інформаційні технології. Тер-

міни та визначення. Київ: Держстандарт України, 1994. 30 с.

2. Искусственный интеллект. Справочник в 3-х кн. Кн. 2. Модели и методы / под ред. Д. А. Поспелова. Москва: 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. Харьков: ХВУ, 1993. 446 с.

4. Ивлев Ю. В. Содержательная семантика модальной логики. Москва: МГУ, 1985. 170 с.

5. Слинин Я. А. Современная модальная логика. Ленинград: ЛГУ, 1976. 104 с.

6. Соснин П. И. Логика понятий. Саратов: Саратов. гос. ун-т, 1986. 86 с.

7. Модальные и интенциональные логики и их применение к проблемам методологии науки / под ред. В. А. Смирнова. Москва: Наука, 1984. 368 с.

8. Чень Ч., Ли Р. Математическая логика и автоматическое доказательство теорем / пер. с англ. Москва: Наука, 1983. 360 с.

9. Заде Л. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений. Москва: Мир, 1976. 165 с.

10. Дюбуа Д., Прад А. Теория возможностей. Приложение к представлению знаний в информатики / пер. с фр. Москва: Радио и связь, 1990. 287 с.

11. Ниженко Б. И., Павленко М. А., Бердник П. Г. Метод формализации знаний, содержащих модальности для экспертных систем реального времени // Системи обробки інформації. 2004. Вип. 10(38). С. 117–125.

12. Павленко М. А. Разработка процедуры многоэтапной формализации знаний для экспертных систем реального времени // Системи обробки інформації. 2004. Вип. 9(37). С. 124–133.

13. Когнітивний підхід до розробки інформаційних моделей в системах підтримки прийняття рішень / М. А. Павленко, В. К. Медведєв, П. Г. Бердник, С. В. Міхасьов // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. 2016. № 2. С. 138–141.

14. Онипченко П. М., Павленко М. А., Тимочко О. І. Напрямки підвищення оперативності і якості бойової підготовки льотного складу авіації Повітряних Сил Збройних Сил України // Системи обробки інформації. 2016. № 3. С. 264–266.

15. Гибридная модель знаний для распознавания ситуаций в воздушном пространстве / М. А. Павленко, А. И. Тимочко, Н. А. Королук, М. Ю. Гусак // Автоматика и вычислительная техника. 2014. Т. 49, №5. С. 16–25.

Рецензент: доктор техн. наук, профессор Л. Н. Беркман, Государственный университет телекоммуникаций, Киев.

К. П. Сторчак, А. П. Бондарчук, Д. Є. Василенко, О. М. Шушура, О. А. Золотухина
**ФОРМАЛІЗАЦІЯ ЗНАТЬ ПРО ЗАВДАННЯ УПРАВЛІННЯ ПОВІТРЯНИМ РУХОМ
 ДЛЯ ПЕРСПЕКТИВНИХ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ ПОВІТРЯНИМ РУХОМ**

Розвиток перспективних систем управління повітряним рухом потребує вивчення нових підходів до проектування і створення спеціального математичного та програмного забезпечення. Одним із перспективних напрямків 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. У статті обґрунтовано вибір методу формалізації знань із урахуванням особливостей розв'язання задач управління повітряним рухом.

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

K. P. Storchak, A. P. Bondarchuk, D. E. Vasilenko, O. M. Shushura, O. A. Zolotukhina

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

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.

УДК 004.052

О. О. ІЛЬІН¹, доктор техн. наук, професор;

Д. С. КОВАЛЕНКО², Back-end розробник;

М. П. ГНІДЕНКО³, канд. техн. наук, професор,

^{1,3} Державний університет телекомунікацій, Київ

² ТОВ «Techmedia4u», Київ

Деякі практичні аспекти реалізації мультипрограмного вирішення балансування навантаження на сервери інформаційного ресурсу

Розглянуто традиційні підходи щодо балансування навантаження на сервери в мережі Інтернет, виокремлено ситуації, в яких вони здатні вирішувати виникаючі проблеми з навантаженням та ситуації, що потребують пошуку інших шляхів, зокрема таких, які полягають у комбінації наявних вирішень, додатковому налаштуванні апаратної та програмної складових серверної інфраструктури, створенні спеціалізованих додатків. На прикладі ситуації, параметри якої задано конкретним технічним завданням, проведено експериментальне дослідження і розроблено вирішення, протестоване за реальних умов та прийняте до експлуатації замовником.

Ключові слова: навантаження; сервер; протокол; трафік; балансування; навантажувальні тести; PHP; JavaScript; web socket.

ВСТУП

З кожним роком спостерігається значне зростання кількості користувачів всесвітньої мережі Інтернет, що призводить до збільшення навантаження на веб-сайти та інші сервіси (у подальшому — сервери), які працюють у всесвітній мережі. Навантаження на сервери, як правило, спричинене великим мережним трафіком, тобто потоком запитів від користувачів та зворотних відповідей від серверів. Згідно зі статистикою в Україні за період із 2000 по 2013 рік зросла кількість користувачів, а отже, збільшився і потік даних (рис. 1). Зазвичай цей потік зростає у наближеній геометричній прогресії відносно кількості користувачів, уповільнюючи роботу серверів, через що клієнти можуть, у найкращому разі, не дочекатись повного завантаження сторінки веб-сайта, а у гіршому — втратити кошти через помилку транзакції через перевантажений, наприклад, банківський сервіс.

Тому існує великий попит на різні вирішення, які дають можливість знизити навантаження на сервери, забезпечуючи функціонування сервісів.

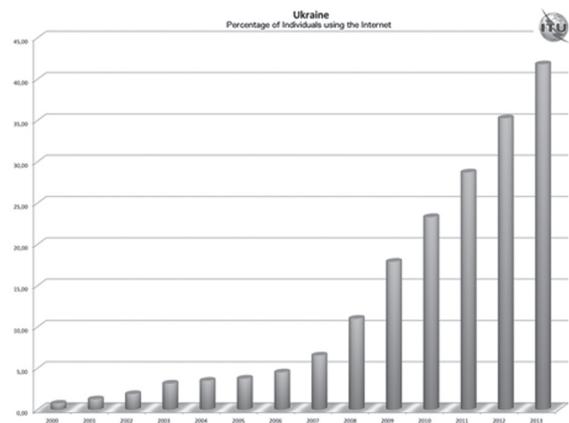


Рис. 1. Діаграма зміни чисельності інтернет-користувачів в Україні протягом 2000–2013 років [1]

© О. О. Ільїн, Д. С. Коваленко, М. П. Гніденко, 2019