

УДК 004.825

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

Ю. В. МЕЛЬНИК, доктор техн. наук, ст. науч. сотрудник;

Д. Е. ВАСИЛЕНКО, аспирант;

А. А. АРОНОВ, канд. техн. наук,

Государственный университет телекоммуникаций, Киев

Метод формализации знаний о задачах управления воздушным движением, решаемых в центрах управления воздушным движением

При разработке открытых экспертных систем различного назначения особую роль играет способ формализации и представления знаний. Решению задачи разработки метода формализации знаний для открытой экспертной системы реального времени посвящена данная статья. Особое внимание уделено вопросам разработки базы знаний, логическим взаимосвязям в такой базе, исследованы возможности сокращения ее объема без нарушения логической целостности, а также обеспечения логического вывода на такой базе в реальном масштабе времени. Результатом данной статьи является разработанный метод формализации знаний о задачах управления воздушным движением.

Ключевые слова: экспертная система; обработка знаний; знания; система управления; воздушное движение; база знаний; формализация знаний.

Введение

В работах [1; 2] рассмотрены основные вопросы формализации различных видов знаний о задачах управления воздушным движением, решаемых в центрах управления воздушным движением. Однако задачу формализации знаний о задачах управления воздушным движением нельзя считать решенной, если все этапы формализации не позволяют разработать базу знаний о предметной области для ее реализации в открытой экспертной системе реального времени.

Цель данной статьи — разработка подходов к созданию базы знаний и формирование метода формализации знаний о задачах управления воздушным движением, решаемых в центрах управления воздушным движением.

Анализ последних публикаций. Сегодня возможно применение различных подходов к разработке специального математического обеспечения открытой экспертной системы (СМО ОЭС) и базы знаний (БЗ) как его составной части. Для традиционного подхода (рис. 1, а) характерен ряд существенных недостатков [3–9], среди которых невозможность обеспечения построения СМО, соответствующего лавинообразному.

В ряде работ [6–8] обосновано использование при разработке информационных систем объектно-ориентированного подхода (ООП). Схема разработки информационной системы с использованием ООП представлена на рис. 1, б.

Основными достоинствами ООП, определяющими предпочтение его применения при разработке информационных систем, являются [8; 9]:

- возможность учета при разработке систем свойств структурированных сложных систем;
- возможность использования объектно-ориентированных языков при формировании структуры понятий на уровне модулей и программ;
- существенное повышение качества разработки информационных систем как в целом, так и их отдельных фрагментов;
- компактная, по сравнению с традиционным подходом, реализация; упрощение процесса внедрения изменений;
- снижение риска отрицательного результата при разработке информационных систем, повышение уверенности в правильности их работы; ориентирование на «человеческое» восприятие мира.

Таким образом, для разработки БЗ ОЭС воспользуемся методом, предложенным при объектно-

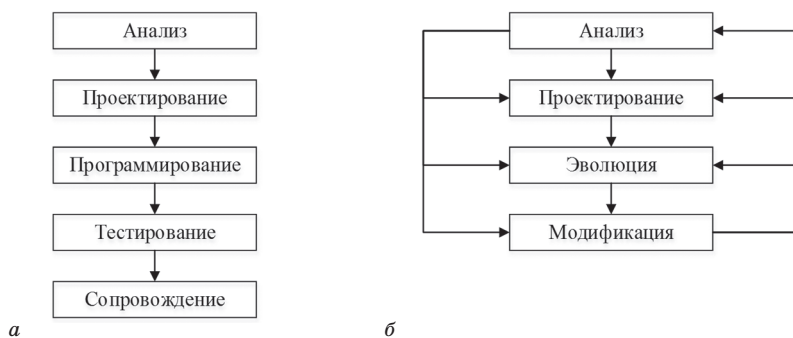


Рис. 1. Схема разработки информационных систем: а — традиционная; б — с использованием ООП

ориєнтованном підході к розробці програмного забезпечення.

Основная часть

При розробці БЗ будемо руководствоватися такими етапами ООП:

- об'єктно-орієнтований аналіз (ООА) [7];
- об'єктно-орієнтованне проектування;
- еволюція системи з совмещением в себе етапів програмування, тестування і інтегрування системи;
- необхідність модифікації системи из-за потреби в процесі життєвого циклу системи додавати або змінювати деякі існуючі у неї властивості;
- підвищення складності розробляваних в нинішнє час інформаційних систем;
- суттєве ускладнення внесення змін у розроблявану систему из-за високої ступені взаємозв'язаності компонентів системи;
- необхідність обов'язкової послідовності виконання етапів розробки проектів, що викликає значительні ускладнення при поверненні на попередній етап;
- несумісність з перспективними методами розробки.

Всі ці етапи мають ітеративний характер, що дозволяє наближатися до заданих для розробки інформаційних систем вимогам поступово.

Принципальним моментом в процесі формалізації описань закономірностей ПО є наявність подвійного семантичного характеру основних структурних елементів розглядаваної структури цільових установок (СЦУ) [1; 2]. Подвійність проявляється в наявності в рамках СЦУ елементів, які мають явно виражену семантичну інтерпретацію (цільові установки, початкові умови, ресурси і т. д.), але не мають семантичної інтерпретації в рамках конкретних завдань, а також для цих елементів семантичної інтерпретації, прив'язаної до конкретних умов і завдань. Останні описання мають інтенціональний характер, так як по відношенню до них застосовні інтенціональні описання властивостей і закономірностей даних

елементів, однак їх подальша семантична інтерпретація вже неможлива.

Структурні елементи СЦУ, які мають семантичну інтерпретацію в рамках деякого обмеженого набору завдань, будемо називати *екземплярами структурних елементів*. Структурні елементи, з яких породжуються екземпляри, будемо називати *базовими*.

Екземпляри структурних елементів СЦУ цілеспрямовано об'єднують, в свою чергу, в єдині структурні елементи БЗ. Таким чином повинні бути сформовані бібліотеки екземплярів цілей, екземплярів початкових умов, екземплярів ресурсів.

Крім того, внаслідок наявності семантичної інтерпретації ресурсів в рамках конкретних завдань, нормативні правила використання їх екземплярів можуть мати принципово відмінну від базових структурних елементів семантику (наприклад, правила використання різних ресурсів). Це передбачає введення в БЗ бібліотек нормативних правил використання екземплярів ресурсів.

Широке застосування множини ознак (в описаннях цільових установок, початкових умов і т. д.), а також обмеженість набору доступних системі ознак визначають необхідність введення останніх в *бібліотеку ознак*. Даний структурний елемент БЗ прямо пов'язаний з БД і містить необхідні ключі доступу до відповідним даним. В бібліотеці ознак розміщуються:

- семантична інтерпретація ознак в поняттях бази знань;
- атрибути ознак в відповідності з методикою описання прагматичного аспекта знань [10];
- значення ознаки, визначаючі її істинності ключа пошуку ознаки в БД.

Возможність поповнення БЗ на етапі експлуатації ОЭС робить необхідним введення базових структурних елементів в єдину *бібліотеку базових об'єктів мережі*. Сюди ж включаються об'єкти описання просторових відносин, відносин порівняння.

Характерною особливістю базових об'єктів є можливість їх подальшої семанти-



Рис. 2. Графічна ілюстрація процесу формування екземпляра об'єкта

ческой интерпретации при адаптации системы к решению конкретных задач в процессе формирования и пополнения БЗ.

Создание экземпляра объекта предполагает заполнение соответствующих полей базового объекта. Пример формирования экземпляра объекта из базового объекта приведен на рис. 2, с. 27.

В общем объеме знаний, подлежащих формализации в рамках ОЭС, возможно разделение знаний на *объективные* и *субъективные* [11]. К объективным относятся знания, описывающие объективные закономерности предметной области. К субъективным — методы и методики, используемые экспертами при решении частных задач с различным набором исходных данных в конкретных условиях обстановки, являющимися обобщением их личного опыта. Очевидно, что объективные закономерности, присущие предметной области, могут быть выделены непосредственно на этапе разработки и являются фундаментом БЗ. Знания данного класса носят характер метаэкспертной системы (ЭС).

Дальнейшее формирование БЗ может осуществляться уже на этапе эксплуатации ЭС. При этом эксперты, формализуя свои знания и опыт в рамках БЗ, могут вносить новые отношения между понятиями и объектами, формировать новые целевые установки (ЦУ), вводить отношения между самими ЦУ, определять начальные условия функционирования системы и их взаимосвязь с ЦУ. В данном случае возможно выделение в отдельные группы, с одной стороны — знаний о внутренней структуре и условиях достижения выделенных ЦУ ЭС, с другой стороны — знания, определяющие отношения между целевыми установками, ЦУ и начальными условиями формирования решений, порядок достижения высших целей системы.

Таким образом, возможно создание иерархической БЗ ЭС (рис. 3). Знания высшего уровня иерархии (метаэкза) такой БЗ формализуются специалистами-когнитологами на стадии создания ЭС. Знания более низких уровней иерархии формализуются экспертами непосредственно в процессе эксплуатации. При этом, более высокие уровни



Рис. 3. Структура иерархической базы знаний открытой экспертной системы КП корпуса ПВО

иерархии БЗ являются нормативными для всех нижестоящих уровней. На промежуточных уровнях иерархии могут описываться правила изменения общности понятий, позволяющие приводить в однозначное соответствие закономерности, представленные как в обобщенных понятиях, характерных для органов планирования, так и в понятиях, имеющих место для органов оперативного управления.

Приведенные структурные элементы БЗ ОЭС рассматриваемого класса позволяют адекватно формализовать отдельные компоненты знаний (ЦУ, НУ и т.д.). Вместе с тем, необходима организация четкой логической взаимосвязи отдельных элементов СЦУ, обеспечивающей строгую адекватность СЦУ рассматриваемой ПО на уровне модулей и программ.

Как было показано в [2], для адекватного представления графа сетевой модели могут быть использованы матрицы СЦУ.

В существующих работах для организации логических взаимосвязей в матрицах смежности использовались символы {1,0} [3]. Логические взаимосвязи в представленном виде на уровне модулей и программ потребуют при реализации логического вывода проведения анализа значительного количества символьных данных, являющихся элементами соответствующих матриц. Это может привести к существенному снижению быстродействия. Решение данной задачи может быть найдено при переходе от символьного заполнения содержания матриц и таблиц к адресному. Такой подход позволит сократить количество операций, связанных с анализом символьных данных, частично заменив их операциями прямой адресации соответствующих элементов в соответствующих библиотеках.

Изменение содержания элементов матриц обосновано использованием их только для отражения структуры графа сети и отсутствием, по отношению к самим матрицам, арифметических операций.

Таким образом, в основу логической организации знаний в БЗ ОЭС могут быть положены адресные матрицы смежности и таблицы.

Использование адресных матриц взамен традиционных символьных позволит:

- сократить время обращения к необходимым элементам в процессе логического вывода за счет сокращения операций символьного анализа и тем самым повысить оперативность решения задач;
- существенно сократить размерность. Хранение адресов позволит устранить необходимость анализа всех элементов матриц в процессе логического вывода, непосредственно используя адреса прямого доступа к соответствующим элементам. Так, при объеме БЗ в 200 ЦУ в традиционной МСЦУ необходимо размещение 40 000 символов. Для адресной (при наличии отношений каждой ЦУ с 10-ю смежными целями) — 2000 адресов.



Рис. 4. Структура логических взаимосвязей элементов БЗ ОЭС реального времени

Данный подход реализуется посредством «динамических матриц» и «динамических коллекций», широко применяемых в объектно-ориентированном программировании.

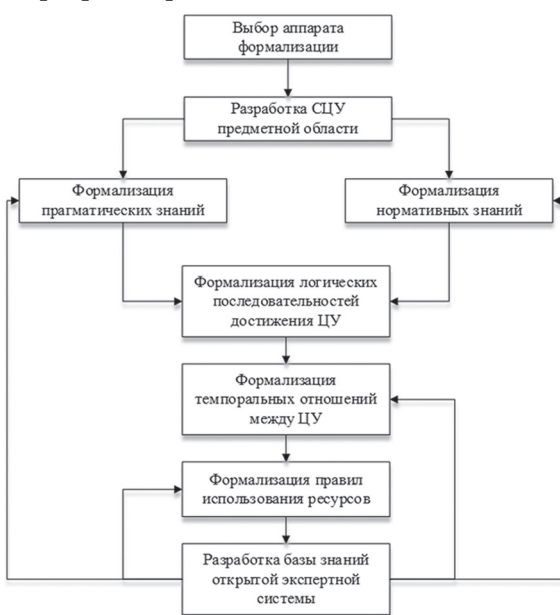


Рис. 5. Структура метода формализации знаний о задачах управления воздушным движением для открытых экспертных систем реального времени

Приведенные рассуждения позволяют сформировать структуру логических взаимосвязей элементов БЗ ОЭС, представленную на рис. 4.

Приведенная структура логически следует из описанного ранее метода формализации знаний и отражает особенности построения соответствующего СЦУ.

С учетом результатов, полученных в [1; 2], и подхода к формированию БЗ ОЭС структура метода формализации знаний о задачах управления воздушным движением, решаемых в центрах управления воздушным движением, будет иметь следующий вид (рис. 5).

Выводы

◆ Представление структур знаний на уровне модулей и программ возможно посредством матриц смежности, таблиц и библиотек, отражающих структуру и содержание сетевой модели.

◆ Применение принципов структурирования и ООП позволяет разработать иерархическую структуру БЗ, органично соединяющую знания, формализуемые органами планирования и оперативного управления.

♦ Использование адресных матриц и таблиц позволяет снизить их размерность при хранении на носителях информации, упростить логические взаимосвязи между элементами СЦУ.

♦ Предложенные методы позволяют осуществлять формализацию знаний с использованием динамических структур, существенно упростить и ускорить поиск решений в условиях дефицита времени.

Список использованной 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. 2016. № 3. С. 44–49.

2. Василенко Д. Е., Обидин Д. Н., Бердник П. Г. Разработка процедуры контроля непротиворечивости знаний для открытой экспертной системы реального времени // Системи обробки інформації. 2016. № 9. С. 90–93.

3. Искусственный интеллект. Справочник в 3-х кн. Кн. 2. Модели и методы / под ред. Д. А. Поспелова. М.: Радио и связь. 1990. 304 с.

4. Теоретические основы автоматизации процессов выработки решений в системах управле-

ния / В. Е. Ярушек, В. П. Прохоров, Б. Н. Судаков, А. В. Мишин. Харьков: ХВУ, 1993. 446 с.

5. Ивлев Ю. В. Содержательная семантика модальной логики. М.: МГУ, 1985. 170 с.

6. Слинин Я. А. Современная модальная логика. Л.: ЛГУ, 1976. 104 с.

7. *Object-Oriented Analysis and Design with Applications (3rd Edition)*. Grady Booch, Robert A. Maksimchuk, Michael W. Engle, Bobbi J. Young [et al.]. 720 p.

8. Eric Evans *Domain-Driven Design: Tackling Complexity in the Heart of Software*. 442 p.

9. Vaughn Vernon. *Implementing Domain-Driven Design*. «ВИЛЬЯМС», 2016. 688 p.

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

11. 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. Т. 49, №5. С. 16–25.

Рецензент: доктор техн. наук, профессор Г. А. Кучук, Харьковский университет Воздушных Сил им. Ивана Кожедуба.

А. П. Бондарчук, Ю. В. Мельник, Д. Е. Василенко, А. А. Аронов
**МЕТОД ФОРМАЛІЗАЦІЇ ЗНАТЬ ПРО ЗАВДАННЯ УПРАВЛІННЯ ПОВІТРЯНИМ РУХОМ,
РОЗВ'ЯЗУВАНИХ У ЦЕНТРАХ УПРАВЛІННЯ ПОВІТРЯНИМ РУХОМ**

При розробці відкритих експертних систем різного призначення особливу роль відіграє спосіб формалізації і подання знань. Вирішенню завдання розробки методу формалізації знань для відкритої експертної системи реального часу присвячена ця стаття. Особливу увагу приділено питанням розробки бази знань, логічним взаємозв'язкам у такій базі, досліджено можливості скорочення її обсягу без порушення логічної цілісності і забезпечення логічного висновку на такій базі в реальному масштабі часу. Результатом даної статті є розроблений метод формалізації знань про завдання управління повітряним рухом.

Ключові слова: експертна система; обробка знань; знання; система управління; повітряний рух; база знань; формалізація знань.

A. P. Bondarchuk, Y. V. Melnyk, D. E. Vasilenko, A. O. Aronov
**METHOD FORMALIZATION OF KNOWLEDGE ABOUT THE TASKS OF AIR TRAFFIC SOLVED
IN THE CENTER OF AIR TRAFFIC CONTROL**

In developing public expert systems for various purposes special role played by way of formalizing and knowledge representation. The task of developing a method of formalizing knowledge to open real-time expert system dedicated to this article. Particular attention is paid to the development of the knowledge base logical relationships in such a database, investigated the possibility of reducing the volume without disturbing the integrity and logical inference to provide such a basis in real time. The result of this paper is the method of formalization of knowledge about the problem of air traffic control.

Keywords: expert system; knowledge processing; knowledge management system; air movement; knowledge base; knowledge formalization.