

УДК 519.95

КОМПЛЕКСНАЯ МЕТОДИКА ПОЛУЧЕНИЯ ЗНАНИЙ И ИХ
ОБРАБОТКА С ЦЕЛЬЮ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ РАЗВИТИЯ

С.Н.Бушуев, В.В.Григорьев

При изучении сложного объекта или процесса, как правило, возникают трудности в формировании его модели. Это объясняется существенным недостатком знаний о его внутренних функциональных взаимосвязях. Именно к таким процессам относится процесс развития технических средств и систем (ТСС). Поэтому возможность его анализа и получения прогнозных вариантов характеристик перспективных образцов ТСС должна быть основана на детальном изучении его внешних проявлений с целью определения тенденций и закономерностей, а также на оценках (суждениях) экспертов о возможном ходе будущего развития. В настоящей статье рассматриваются вопросы реализации системы прогнозирования ТСС, основанной на знаниях [1].

1. Определение состава и модели представления знаний

Выбор той или иной модели определяется составом и структурой знаний в конкретной предметной области. Выявление состава и структуры знаний предшествует выбору модели представления и разработке Базы Знаний (БЗ). Обоснование и конкретизация элементов знаний и их взаимосвязей происходят чаще всего в непосредственном контакте со специалистами предметной области - экспертами.

Проведенный анализ предметной области и задачи прогноза - рования характеристик ТСС показывает, что в качестве исходных данных и знаний для получения прогноза целесообразно использовать: характеристики существовавших и существующих образцов; закономерности ретроспективного процесса развития ТСС; значимость характеристик с точки зрения основного функционального назначения; ограничения на предельные значения характеристик; существующие и предполагаемые потребности развития, вытекающие из требований современной обстановки; зависимости между характеристиками; признаки классов ТСС (возможные диапазоны значений характеристик для ТСС определенного функционального назначения); критерии оценки и выбора прогнозных вариантов; способ рассуждения, используемый для получения прогноза.

В качестве основных критериев при выборе модели представления знаний целесообразно и естественно выбрать следующие: адекватность поставленной задаче, т.е. способность кратко и полно описывать предметную область; возможность организации рационального хранения в памяти ЭВМ; удобство обработки и использования; возможность легкой интерпретации человеком; возможность реализации удобной процедуры получения знаний (как через инженера по знаниям, так и автоматизированными способами с помощью ЭВМ).

Сопоставление перечисленного состава знаний, необходимых для реализации процесса прогнозирования, и требований к модели их представления с существующими способами (продукции, фреймы, семантические сети, исчисление предикатов), а также следование принципу простоты реализации позволяет в качестве модели представления знаний о закономерностях изменения выбранной для прогнозирования характеристики ТСС в зависимости от изменения других, связанных с нею каким-либо способом, выбрать продукционную форму представления, т.е. импликации вида

$A_1 \& A_2 \& \dots \& A_n \Rightarrow B$, где A_1, A_2, \dots, A_n, B - элементарные высказывания об изменениях характеристик ТСС.

Указанной модели представления вполне достаточно, чтобы работать с отличиями и особенностями ТСС, классами ТСС по выделенным характеристикам. К тому же БЗ, использующие этот вид представления, просты, легко структурируемы и интерпретируемы. Это относится и к знаниям, имеющим декларативный характер, которые могут быть представлены в продукционной модели элементарными высказываниями (фактами).

2. Существующие подходы к получению знаний

При создании, да и при эксплуатации БЗ процесс получения знаний является наиболее трудоемким и дорогостоящим по времени и другим ресурсам [2,3]. Практический опыт разработки экспертных систем привел к развитию методов и программных средств, призванных облегчить процесс получения знаний.

Ограниченность современных автоматизированных систем получения знаний обусловлена тем, что состав и типы получаемых знаний фиксируются при их разработке. Последствием этого является то, что эксперт оказывается вынужденным все свои знания "подгонять" к этим типам. Из сказанного следует, что современные программные продукты получения знаний не являются "автоматическими инженерами знаний", они выполняют функцию помощников, автоматизируя часть рутинной работы по получению знаний фиксированных типов.

Но, несмотря на отмеченное достаточно сильное ограничение, автоматизация процесса получения знаний, т.е. использование средств вычислительной техники, а именно, интеллектуальных редакторов и индуктивных программ, позволяет значительно сократить сроки разработки экспертных систем (ЭС), повысить полноту и качество (отлаженность) знаний.

В настоящее время обычно выделяют следующие основные подходы к получению знаний: передача знаний от эксперта в БЗ через инженера по знаниям; передача знаний от эксперта в БЗ через интеллектуальную редактирующую программу; формирование знаний из данных с помощью программы индуктивного вывода; передача знаний из литературы в БЗ через программу, понимающую текст [4].

Первый подход является традиционным, эффективным при разработке ЭС, но из-за отсутствия элементов автоматизации наиболее подходящим на самом начальном, предварительном этапе разработки, т.е. при анализе постановки задачи, выборе состава и модели представления используемых знаний, при определении алгоритма функционирования ЭС и способа обработки знаний. При создании любой ЭС этот подход используется в явном или неявном виде на стадиях идентификации, концептуализации и формализации [2].

Второй подход достаточно широко распространен и позволяет избавить разработчика ЭС от рутинной работы при наполнении БЗ. Разработанные при создании существующих ЭС интеллектуальные редакторы автоматизируют обычно процесс ввода знаний в выбранную модель представления на этапе заполнения ЭС, и каждый, естественно, имеет свои возможности и особенности, обусловленные как видом приобретаемых знаний, так и способом реализации редактора.

Интеллектуальный редактор БЗ - программа, предоставляющая инженеру по знаниям возможность создавать БЗ в диалоговом режиме. Включает в себя систему вложенных меню, шаблонов языка представления знаний, подсказок (help-режим) и других сервисных средств, облегчающих работу с БЗ. Возможности существующих редакторов описаны в [2-5].

Например, специализированные редакторы систем EMYCIN, ROSIE, STAMMER при вводе знаний проверяют синтаксис правил,

осуществляют подсказки пользователю, заполняют поля по умолчанию. Кроме того, редактор EMYCIN выполняет регистрирующие функции: вводит дату, время создания правила, фамилию введившего правило. Некоторые редакторы (UNITS, KAS, AIMDS, AGE, RLL) проверяют не только синтаксис, но и семантику, т.е. согласованность вводимых знаний в "смысловом значении".

Редакторы создаются и предназначены только для получения заранее определенных моделей представления знаний по заранее определенному сценарию диалога. Уровень общения пользователя с редакторами также различен: в основном - в форме "меню", TEIRESIAS, CMACS, UCT - естественный язык, INKA, ROGET - ограниченный естественный язык.

Чрезвычайно перспективным направлением инженерии знаний является создание способов получения знаний из эмпирических данных на основе использования методов индуктивного вывода и обнаружения закономерностей. В [3] подобные способы классифицируются как методы формирования знаний, в [6] - как методы общения.

Термин формирования знаний связывают с созданием программ, реализующих методы автоматического получения знаний из данных, так называемые методы "машинного обучения" (machine learning). Это чрезвычайно перспективное направление инженерии знаний, которое предполагает, что в результате автоматизации процесса обучения система сможет "самостоятельно" формировать необходимые знания на основе имеющегося эмпирического материала (данных). Системы ориентированы на получение "нового" знания, которое в явном виде не формируют эксперты.

Можно считать, что поиск закономерностей включает отдельные акты выявления сходства, различия, сопутствующих изменений. Так, в основе многих алгоритмов распознавания образов лежит поиск общности между объектами одного класса и различий между

объектами разных классов. Разделяющие функции, двоичные деревья, минимальные тесты, кластеры и т.д. - это все формальные, легко программируемые методы поиска общностей и различий.

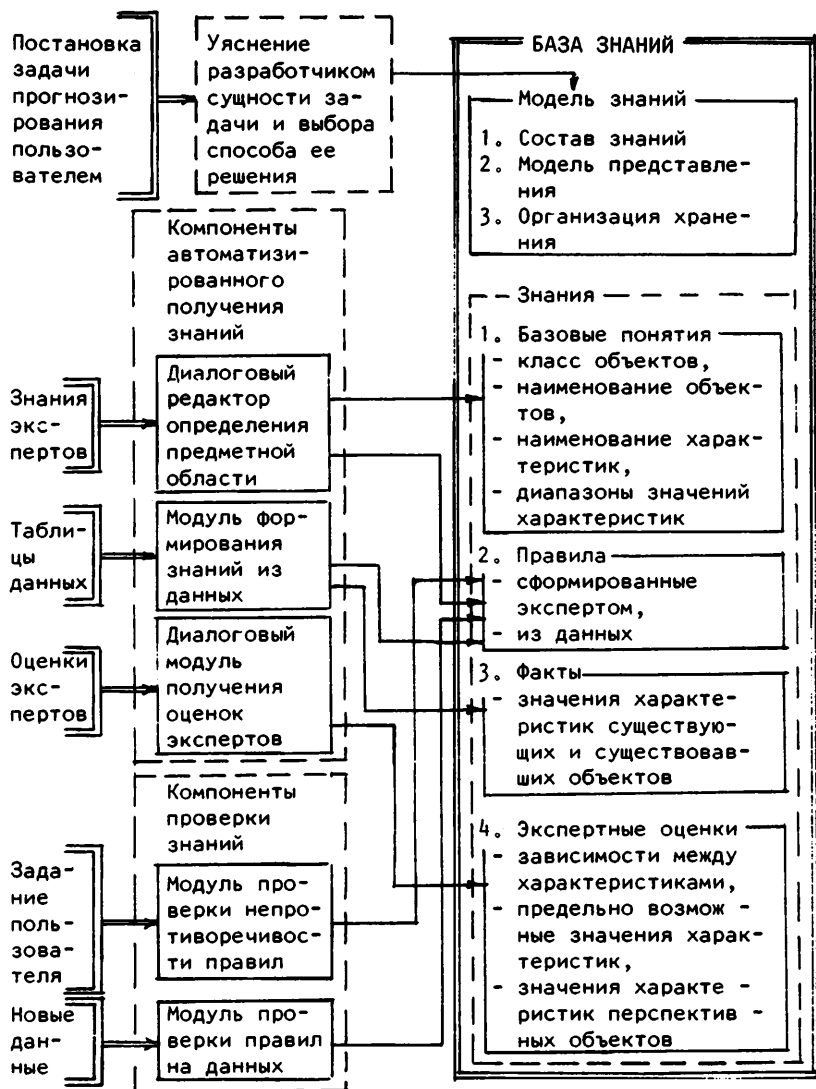
Работы по формированию знаний и их верификации на эмпирических данных находятся еще в начальной фазе. Это направление представляется исключительно важным, так как получение знаний в этом случае связано с ситуациями, когда эксперт зачастую не знает, что именно важно для решения стоящей перед ним задачи, а также когда имеется достаточно большое количество неструктурированного фактического материала. Эксперты также обычно легче формулируют фактические знания о предметной области, чем стратегические знания, т.е. знания о том, как и когда использовать факты.

3. Методика получения знаний

Оценка возможностей существующих методов получения знаний для использования при решении задачи прогнозирования характеристик перспективных ТСС показывает, что в выбранном подходе к ее решению адекватными способами автоматизации процесса получения знаний являются: разработка сценария и диалоговых процедур приобретения знаний (для приобретения первоначальных знаний о предметной области и получения оценок экспертов); разработка методики формирования знаний из данных и создание соответствующего программного модуля (для получения закономерностей ретроспективного развития ТСС); создание модулей проверки непротиворечивости правил и проверки правил на новых данных (для проверки полученных знаний).

Общая схема предлагаемого процесса получения знаний при ведена на рисунке.

Сценарий диалогового приобретения знаний дает возможность получить первоначальные знания о предметной области и оценки экспертов о значениях характеристик перспективных средств в ре-



Общая схема процесса получения знаний

жине "дружественного" интерфейса пользователя с ЭВМ. В процессе диалогового приобретения знаний в зависимости от состава получаемых знаний и периода жизненного цикла ЭС выделены следующие основные этапы:

а) первоначальное определение предметной области: определение класса ТСС, процесс развития которых будет анализироваться и прогнозироваться; перечисление существовавших и существующих объектов, относящихся к данному классу; выделение свойств, характерных для данного класса ТСС и отличающих их от других классов; определение множества значений характеристик для каждого свойства; ввод известных данных по характеристикам перечисленных объектов;

б) получение экспертных суждений о характеристиках объектов: расстановка характеристик по значимости относительно основного функционального назначения данного класса ТСС; определение степени зависимости каждой характеристики от других характеристик; определение потребностей изменения характеристик; выбор из множества закономерностей ретроспективного процесса развития ТСС наиболее характерных;

в) получение экспертных оценок о значениях характеристик перспективных ТСС.

При решении задачи формирования знаний из данных и при дальнейшем их использовании для прогнозирования используется следующая эмпирическая

ГИПОТЕЗА. Существуют определенные закономерности развития ТСС и предполагается, что эти закономерности в основном будут сохраняться при их дальнейшем развитии.

В качестве закономерностей процесса развития естественно рассматривать сходство изменений значений характеристик, отражающих ход развития. Для поиска таких закономерностей разработан методика формирования правил продукционного вида, отражающих взаимосвязанные изменения значений характеристик, из дан-

ных ретроспективного развития ТСС. Для этого из таблицы $\{x_{ij}\}$, $i = \overline{1, n}$, $j = \overline{1, m}$, отражающей прошедший период развития ТСС рассматриваемого класса, строится обучающая таблица разностей $\{\Delta_{lj}\}$, $l = \overline{1, n \cdot (n-1)}$, $j = \overline{1, m}$, где $\Delta_{lj} = x_{i+k, j} - x_{ij}$, $i = \overline{1, n-1}$; $k = \overline{1, n-i}$; $j = \overline{1, m}$, отражающая попарные отличия существовавших и существующих ТСС.

Поиск закономерностей заключается в выявлении похожих и различных тенденций развития. При этом основными используемыми процедурами являются процедуры определения сходства и различия.

Введем обозначения и определения, соответствующие приведенным в [7]. Обозначим через $R^1, R^2, \dots, R^w, \dots, R^k$ подмножества объектов множества R , данного для обучения ($\bigcup_{w=1}^k R^w = R$). На-

зовем R^w , $w = \overline{1, k}$, множеством объектов образа w . Каждому множеству объектов R^w , $w = \overline{1, k}$, поставлена в соответствие эмпирическая таблица $\{\Delta_{lj}^w\}$, являющаяся подтаблицей таблицы $\{\Delta_{lj}\}$.

Под элементарным высказыванием I будем понимать значение или любое объединение значений из области D_j для характеристики j -го типа, измеренной в шкале наименований, или любой интервал значений, принадлежащий области D_j , для характеристики, измеренной в шкалах порядка, отношений или абсолютной. Причем

$$D_j = \bigcup_{w=1}^k D_j^w.$$

Тогда высказыванием S будет конъюнкция элементарных высказываний и их отрицаний $S = I_1 \& \bar{I}_2 \& \dots \& I_\mu$, а его длиной μ - число входящих в него элементарных высказываний. Высказывание выполняется на объекте, если все элементарные высказывания, входящие в S , истинны на этом объекте.

Для каждого высказывания S и каждого образа $w = \overline{1, k}$ определяются следующие числа: N_{sw} - число объектов образа w , на которых высказывание S выполняется; N_{sw} - число объектов остальных образов, на которых выполняется высказывание S ; N_w - общее число объектов образа w ; $N_{\bar{w}}$ - общее число объектов за исключением объектов образа w .

Под логической закономерностью, характеризующей образ w , понимается высказывание S , для которого:

$$\left(P_{sw} = \frac{N_{sw}}{N_w} \geq \delta \right) \quad \& \quad \left(P_{s\bar{w}} = \frac{N_{s\bar{w}}}{N_{\bar{w}}} \leq \beta \right),$$

где β - малая величина ($\beta \rightarrow 0$); $0.5 < \delta \leq 1$ ($\delta \rightarrow 1$).

Величины P_{sw} и $P_{s\bar{w}}$ - относительные числа объектов, на которых выполнилось высказывание S соответственно для образа w и всех остальных образов (\bar{w}).

С использованием алгоритма ACQUIS [8] строится решающее правило, распределяющее объекты (строки) обучающей таблицы $\{\Delta_{1j}\}$ по образам D_j^w , $w = \overline{1, k}$, с помощью характеристик, от которых зависит целевая характеристика, а затем из выбранных ветвей решающего правила, которые выделяют множество объектов, удовлетворяющих условиям логической закономерности, формируются правила продукционного вида.

Разработанная и реализованная программно методика формирования знаний из данных позволяет реализовывать на ЭВМ процесс получения знаний из большого объема данных (фактов ретроспективного развития ТСС), обеспечив при этом значительное снижение трудозатрат по анализу данных о прошлом периоде их развития. Использование предлагаемой методики позволяет получить за-

кономерности развития в наглядном виде, удобном как для осмысления и оценки экспертами, так и для дальнейшей автоматизированной обработки.

Совокупность знаний в БЗ извлекается из различных источников: из таблиц данных ретроспективного развития ТСС от разных экспертов, имеющих субъективные, возможно отличные и даже противоположные суждения и предложения относительно единого объекта предметной области. Поэтому необходимо провести анализ полученных правил БЗ и исключить противоречия, т.е. выбрать из множества противоречивых правил (которые из одинаковых условий дают противоположные по смыслу заключения) наиболее правдоподобные, остальные необходимо изменить путем введения дополнительных условий, а если это невозможно сделать, исключить из БЗ.

При исправлении или пополнении данных о развитии необходимо провести верификацию и корректировку имеющихся правил в соответствии с новыми данными. Значительные изменения требуют пересмотра всей системы правил и полного формирования БЗ из всей совокупности имеющихся данных. В противном случае достаточно проверить правила на новых данных и согласовать их путем изменения коэффициентов правдоподобия (P_{sw}).

Для исключения противоречий и проверки знаний на данных в комплексную методику получения знаний включены после соответствующей адаптации алгоритмы, описанные в [8].

Полученные знания являются исходной информацией для прогнозирования характеристик перспективных ТСС.

4. Технология обработки знаний

Разработанный комбинированный подход к прогнозированию характеристик перспективных ТСС реализован в виде технологии обработки знаний об их развитии и предполагает получение прогноза на основе логического вывода из закономерностей ретроспек-

тивного развития, интеграцию оценок экспертов о характеристиках перспективного образца и согласование прогнозов, полученных с помощью этих процедур.

Логический вывод по правилам базы знаний, отражающим закономерности ретроспективного развития, заключается в поиске похожих изменений известных характеристик, выработке гипотез изменений прогнозируемых характеристик и выборе наиболее правдоподобных из них. Для реализации использовано понятие расстояния между фактами, которое вычисляется как расстояние между распределениями на множестве значений [9]. В качестве критерия выбора наиболее правдоподобных гипотез выбран максимум коэффициента правдоподобия гипотезы

$$K_{\text{пр}} = \text{КП} \left(1 - \frac{\sum_{i=1}^{i_k} (M_i \cdot K_i)}{\sum_{i=1}^{i_k} K_i} \right),$$

где КП - коэффициент правдоподобия правила; i_k - количество переменных в левой части правила; k_i - коэффициент значимости переменной (характеристики) i -го типа, определяемый путем экспертного опроса; M_i - расстояние между фактами по переменной i -го типа, которое определяется как расстояние между распределениями.

Процедура интеграции оценок экспертов вычисляет согласованное мнение экспертов и основывается на том, что эксперт на основе знания предметной области в состоянии предвидеть возможный ход будущего развития ТСС и высказать экспертные оценки, содержащие в себе неявно результат прогноза.

Комбинированный прогноз формируется в виде: $y_K = w_a \cdot y_a + w_b \cdot y_b$, где w_a и w_b - веса прогнозов ($w_a + w_b = 1$).

Веса прогнозов определяются следующим образом

$$w_a = \alpha_a^2 / (\alpha_a^2 + \alpha_b^2), \quad w_b = \alpha_b^2 / (\alpha_a^2 + \alpha_b^2),$$

где α_a^2 , α_b^2 - дисперсии прогнозов.

Представленная технология обработки знаний реализует комбинированный способ прогнозирования, сочетающий в себе статистический и эвристический подходы, что позволяет повысить точность и обоснованность получаемых прогнозов.

Авторы благодарны Н.Г.Загоруйко и В.Н.Ёлкиной за участие в обсуждении методических вопросов получения и обработки знаний.

Л и т е р а т у р а

1. ЗАГОРУЙКО Н.Г., БУШУЕВ С.Н., ГРИГОРЬЕВ В.В., УСТЮГОВ Ю.А. Система прогнозирования, основанная на методах получения и обработки знаний. - Настоящий сборник. - С.17-31.

2. ПОПОВ Э.В. Экспертные системы. Решение неформализованных задач в диалоге с ЭВМ. - М.: Наука, 1987.

3. ГАВРИЛОВА Т.А., ЧЕРВИНСКАЯ К.Р. Извлечение и структурирование знаний для экспертных систем. - М.: Радио и связь, 1992.

4. ХЕЙЕС-РОТ Ф., УОТЕРМАН Д., ЛЕНАТ Д. Построение экспертных систем. - М.: Мир, 1987.

5. Искусственный интеллект: В 3-х кн. Кн. 1. Системы общения и экспертные системы: Справочник /Под ред. Э.В.Попова - М.: Радио и связь, 1990.

6. Искусственный интеллект. В 3-х кн. Кн. 2. Модели и методы: Справочник /Под ред. Д.А.Поспелова. - М.: Радио и связь, 1990.

7. ЛБОВ Г.С. Методы обработки разнотипных экспериментальных данных. - Новосибирск: Наука, 1981.

8. БУШУЕВ М.В., ЁЛКИНА В.Н., ЗАГОРУЙКО Н.Г., ШЕМЯКИНА Е.Н. Блок анализа знаний в инструментальной экспертной системе ЭКСНА //Методы искусственного интеллекта. - Новосибирск, 1992. - Вып. 145: - Вычислительные системы. - С. 29-78.

9. ЗАГОРУЙКО Н.Г., БУШУЕВ М.В. Меры расстояния в пространстве знаний. //Анализ данных в экспертных системах. - Новосибирск, 1986. - Вып. 117: Вычислительные системы. - С. 24-36.

Поступила в ред.-изд.отд.

19 апреля 1994 года