

УДК 517.11

В.Б. Лаврушина

Севастопольский национальный технический университет

Студгородок, г. Севастополь, Украина, 990053

E-mail: root@sevgtu.sebastopol.ua

ПОДСИСТЕМА ОБУЧЕНИЯ И КОНТРОЛЯ ПРЕОБРАЗОВАНИЙ УТВЕРЖДЕНИЙ В ЯЗЫКЕ ЛОГИКИ ПРЕДИКАТОВ

Рассматривается задача создания обучающей подсистемы в рамках методологии ОККАМ [1] для обучения алгоритму сокращенного переборного поиска опровергающего набора, используемому для доказательства утверждений в языке логики предикатов. Описывается подход к анализу ошибок обучаемого, возникающих в процессе решения данной задачи. Особое внимание обращается на обеспечение полноты контроля и адекватности комментариев в случае обнаружения ошибки.

Преобразование формул логики предикатов является одной из важнейших задач экспертных систем и систем искусственного интеллекта. Поэтому создание системы (тренажера) для обучения алгоритму сокращенного переборного поиска опровергающего набора является актуальным.

Согласно принципам контроля, положенным в основу разработки системы ОККАМ [1] (система **об**учения и **кор**ректного **к**онтроля **ал**горитмическим **м**етодом процесса решения задач), создана новая подсистема для задачи “Доказательство истинности утверждений логики предикатов методом подтверждения отсутствия опровергающего набора” [2]. Автоматическое доказательство истинности утверждений в современных системах искусственного интеллекта осуществляется, как правило, с использованием метода резолюций. Однако применение правила резолюций может вызвать порождение большого числа лишних дизъюнктов, результатом чего является громоздкость этого метода, и следовательно, большие затраты времени, даже с учётом возможностей современных ЭВМ. В то же время в логике высказываний известен алгоритм поиска ортогонального набора, созданный для доказательства тождественности утверждений. В логике высказываний алгоритм довольно эффективен и не требует много машинного времени (оно не тратится на порождение дизъюнктов), так что можно надеяться на эффективность его расширения на логику предикатов. Алгоритм поиска ортогонального набора изложен в [3], а идеи его расширения на логику предикатов опубликованы в [2].

Для более полной автоматизации процесса обучения было принято решение включить в подсистему контроль освоения теории. Если обучаемый работает с программой уже не в первый раз и достаточно хорошо изучил материал, он может уточнить интересующие его понятия (рисунок 1) или сразу же приступить к практическому решению задачи. После изучения очередной порции понятий обучаемому предлагается набор тестовых во-

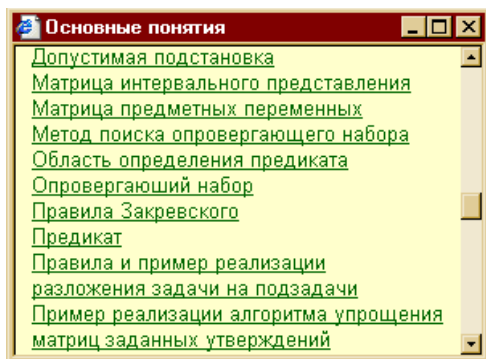


Рисунок 1 – Экран выбора для изучения основных понятий задачи

просов трёх уровней сложности. Если он ответил на предложенные вопросы “лёгкой” категории, ему предлагаются более сложные вопросы и т.д. Если на каком-то из уровней число неправильных ответов превысило допустимое, тест прерывается с выдачей рекомендации о более тщательном изучении предметной области.

После изучения теории обучаемому дана возможность применить полученные

навыки на практике решения задачи. Из библиотеки заданий предоставляется вариант системы утверждений, истинность либо ложность которой необходимо доказать.

В задаче доказательства системы утверждений процесс решения и ответы неоднозначны. Простой контроль наличия ошибки в ответе дает мало информации для выявления характера и источника ошибки. Необходимы анализ ответа обучаемого, контроль его соответствия постановке задачи, классификация причины ошибки и формирование адекватных комментариев.

Для применения любого правила к системе утверждений обучаемый должен заполнить таблицу, изображенную на рисунке 2: он должен указать номер правила, столбец и строку, к которым оно применяется, удаляемые строки, значение предиката и его области определения в ортогональном наборе.

№ правила	Предикат	№ строки	Номера удаляемых строк	Значение предиката	Область определения предиката
-----------	----------	----------	------------------------	--------------------	-------------------------------

Рисунок 2 – Представление данных при применении правил

При обнаружении ошибки система сообщает об этом обучаемому и запрашивает об уровне помощи: самостоятельное исправление ошибки, предоставление комментариев, описание нарушенного правила с указанием места ошибки и, наконец, построение системой правильного ответа для очередного преобразования. Если обучаемый не может исправить ошибку сам и обращается к подсказке, то ему предоставляется максимально подробная информация о том, где возникла ошибка и какие правила нарушены. После исправления обучаемый продолжает решение.

Пусть на текущем этапе решения сформированы следующие таблицы задания системы утверждений [3].

Таблица 1 – Кодированное представление системы утверждений

Ошибка: истинник перекрестной ссылки не найден

Рассмотрим вариант процесса доказательств. Для минимизации его понадобятся формулировка правила 2: если в таблице несколько непустых столбцов и некоторая строка состоит из истинных элементов (таблица предметных утверждений)

0	1	1			x	x	$x, f(x)$		
0	1		1		x	x		$f(x)$	
				1					a
0					a				
		0		1			a, y		y
	0			0		x			x

№ правила	Столбец	Строка	Удаляемые строки	Значение предиката	Область определения
2	E	4	1, 2, 4	0	x

Рисунок 3 – Правильное применение правила 2

Действительно, в строке 4 только один предикат определён: $E(a)=0$. Для того, чтоб эта дизъюнкция была истинна необходимо присвоение $E(x)=0$. Расширение области возможно до x, так как в строках 1 и 2 предикат $E(a)=0$ определён на всей области x. Соответственно становятся истинными строки 1, 2, 4 и могут быть удалены.

Для полноты анализа возможных ошибок обучаемого в рамках правила 2 сформирована таблица 2.

Таблица 2 – Контролируемые данные и комментарии к ошибкам в них при анализе ответов обучаемого по правилу 2

Контролируемые соответствия отдельных компонент правила 2	Комментарии
Правило, строка	Правило неприменимо к указанной строке, так как в ней имеется несколько значений предикатов или данный предикат вообще не определён
Строка, предикат	Элемент таблицы интервального представления не позволяет применить правило.
Правило, предикат	Правило неприменимо к указанному предикату
Значение предиката в опровергающем наборе	Значение предиката в опровергающем наборе не инвертируется
Значение предметной	Область определения в ортогональном наборе

переменной в опровергающем наборе	неверно вычислена
Удаляемые строки	Неверно указаны строки, подлежащие удалению из таблицы (включены не все либо приведены лишние строки)

Аналогичные таблицы сформированы для других правил алгоритма решения.

Подобный разбор, выделение контролируемых ситуаций, процедуры анализа ответов обучаемого, классификация типов ошибок и формирование адекватных комментариев осуществляется для всех правил и процедур изучаемого метода.

Анализ возможных ошибок по всем правилам приводит к следующим классам логических ошибок.

1. Обучаемый попытался осуществить ветвление процесса решения, а можно было применить правило сокращения таблицы.

2. Ошибочное правило. Указанное правило неприменимо к данным столбцу и строке.

3. Ошибочный номер строки. Возникает тогда, когда указанное правило неприменимо к строке, либо когда её номер вообще не нужно указывать для правила.

4. Ошибочный номер столбца. Возникает тогда, когда правило не относится к столбцу или когда содержимое столбца противоречит правилу.

5. Несовместимы строка и столбец. Возникает тогда, когда ячейка в матрице интервального представления на пересечении строки и столбца пуста.

6. Ошибка в номерах удаляемых строк. Возникает тогда, когда указаны не все удаляемые строки, либо указаны лишние строки. Причём ошибочный номер столбца может быть определен не только по значению предиката, но и по области его определения.

7. Ошибочное значение предиката в опровергающем наборе. Возникает, когда обучаемый пытается записать в набор инверсное, а не прямое значение.

8. Ошибочное значение предметной переменной в опровергающем наборе. Возникает, когда обучаемый неправильно выполнил подстановку (например, не расширил до возможного в данном столбце значения или, наоборот, расширил область определения предметной переменной).

Основные положения, обеспечивающие полноту контроля ответов обучаемого состоят в следующем:

1. Контроль очередного преобразования, описанного алгоритмически, достаточно полно, точно, однозначно.

2. Структурная организация ответов обучаемого обеспечивающая эффективное отсеивание синтаксических ошибок.

3. Полнота требуемого ответа и в некоторых случаях даже его избыточность, обеспечивающие диагноз ошибки, классификацию причины ошибки и адекватное её комментирование.

4. Алгоритмический контроль соответствия параметров и соответствие ответов обучаемого постановке задачи.

5. При обнаружении и классификации ошибки – сообщение обучаемому заранее подготовленных комментариев к ней с параметрами текущего варианта задания и ответа.

Сформулированный подход к контролю действий обучаемого позволяет сократить количество возможных отклонений ответа от допустимого и тем самым исключить неправильную классификацию типа ошибок обучаемого и неадекватное их комментирование. Обнаружение и исправление ошибки в момент и в месте её возникновения предотвращают закрепление ошибочных знаний.

Предлагаемый тренажер может использоваться для ознакомления пользователей и экспертов с применяемыми в интеллектуальных системах процедурами вывода. Планируется в дальнейшем дополнить систему модулем контроля преобразования формул логики предикатов в сколемовскую стандартную форму.

Библиографический список

1. Новосёлов В.Г. ОККАМ: обучение и контроль на основе алгоритмического метода / В.Г. Новосёлов // Управляющие системы и машины. — К., 1987. — № 4-5. — С. 94–101.

2. Закревский А.Д. Логический синтез каскадных схем / А.Д. Закревский. — Минск: Наука и техника, 1981. — 461 с.

3. Лаврушина В.Б. Адаптация алгоритма нахождения ортогонального набора к доказательствам в логике предикатов / В.Б. Лаврушина, В.Г. Новосёлов // Вестн. СевГТУ: Сб. науч. тр. — Севастополь, 2002. — № 47. — С. 58–63.

Поступила в редакцию 11.03.2004 г.