

УДК 004.4

М. Л. Долженкова, Г. А. Чистяков

ПРОЕКТИРОВАНИЕ АРХИТЕКТУР УНИВЕРСАЛЬНЫХ МАШИН ЛОГИЧЕСКОГО ВЫВОДА

В работе рассматривается вопрос проектирования архитектур универсальных машин логического вывода (МЛВ) – специализированных вычислительных устройств символьной обработки данных, способных осуществлять логический вывод посредством группы методов. В основе организации архитектуры лежит концепция абстрактного исполнителя, реализующего акторную модель логико-поточковых вычислений, что позволяет при минимальных аппаратных затратах обеспечить поддержку свойственных методам логического вывода крайне высокой степени параллелизма. С точки зрения конечного пользователя подобная МЛВ является виртуальной машиной с перестраиваемой архитектурой, в которой конкретный применяемый метод определяется посредством микропрограммного управления с учетом особенностей формальной постановки решаемой задачи, а процесс выбора метода не требует внесения изменений в архитектуру машины. Отмеченные особенности позволяют использовать универсальную МЛВ специалистам, не являющимся экспертами в разработке систем логического вывода, для решения актуальных задач из различных областей человеческой деятельности.

Ключевые слова: логический вывод, архитектура машины логического вывода, модель логического вывода, акторная модель.

На сегодняшний день одним из наиболее широкоиспользуемых инструментов для решения целого спектра актуальных задач является математический аппарат теории логического вывода (ЛВ) [1]. Основным критерием применимости данного аппарата служит возможность сведения практической задачи к ее эквивалентной логической формулировке в следующем общем виде: «Пусть имеется некоторый набор истинных правил M_P и фактов M_F , образующих базу

знаний $KB = M_P \cup M_F$. Требуется установить следование заданного логического выражения из KB ».

Несмотря на существование обобщенной формулировки задачи ЛВ, в каждом случае, как правило, присутствует набор дополнительных ограничений, накладываемых на KB и оказывающих влияние на ход процесса вывода. При этом зачастую требуется разработка наиболее эффективной и обладающей полнотой модификации конкретного метода, на основе которой в дальнейшем проектируется архитектура специализированного вычислительного устройства – машины логического вывода (МЛВ). Реализованная программно, программно-аппаратно или же полностью аппаратно, МЛВ используется затем для решения задач, удовлетворяющих заданному набору ограничений [2].

К сожалению, процессы проектирования архитектуры и реализации МЛВ характеризуются чрезмерной трудоемкостью, что в значительной степени сдерживает применение математического аппарата теории ЛВ в ряде перспективных областей. Одним из возможных решений данной проблемы является создание универсальных МЛВ, способных поддерживать выполнение нескольких методов или модификаций методов ЛВ и позволяющих, тем самым, решать более широкий класс задач.

Процесс проектирования архитектуры МЛВ, согласно [3], включает в себя следующие шаги: анализ характерных особенностей метода логического вывода, разработка модели логических вычислений, разработка структуры МЛВ и анализ структурных решений.

Модель логического вывода определяет способ декомпозиции задачи на более мелкие, относительно автономные, подзадачи и метод их взаимодействия. Формальная модель логических вычислений может быть определена, как совокупность различных уровней представления: абстрактного, операционного уровня, архитектурного и структурного.

На абстрактном уровне формальная модель определяется выбранным методом логического вывода.

На операционном уровне модель логических вычислений можно представить в виде множества абстрактных объектов, связанных посредством сообщений. Объекты динамически создаются и выполняют определенные действия. Причем любой объект может быть либо в активном, либо в пассивном состоянии. В случае, если в активном состоянии одновременно находится множество объектов, то можно говорить об акторном типе модели. Акторы представляют собой автономные, распределенные, параллельно работающие объекты, посылающие друг другу сообщения асинхронно. За выбор метода для обработки соответствующего сообщения, непосредственно обработку и координацию изменения состояния акторов отвечает процессор. В ответ на полученное сообщение, актор может либо послать сообщение асинхронно актору; либо создать актор с определенным поведением; либо изменить собственное поведение.

На основе акторной модели может быть построена высокопроизводительная машина логического вывода.

Переход к тому или иному техническому проекту разработки МЛВ базируется на концепции абстрактной машины (АМ), отражая общую идеологию реализации логического вывода в современных прикладных системах.

Для построения абстрактной машины необходимо определить структуры данных и разработать систему команд. Команды абстрактной машины логического вывода строятся на основе анализа схемы логических вычислений, структуры сценариев акторов и принципов функционирования АМ.

Основными элементами структуры абстрактной машины: являются процессор команд (ПК), группа исполнительных процессоров (ИП) и блок рабочей памяти (РП). Процессор команд формирует команды и посылает их на исполнительный процессор. Исполнительный процессор обрабатывает команду в соответствии с алгоритмом, предусмотренным для данного типа процесса. Логически адресное пространство рабочей памяти может быть разделено на две непересекающиеся области: статическую, содержащую по сути код программы, которая не должна претерпевать изменения в процессе работы системы, последние

ячейки статической области могут быть зарезервированы для хранения вновь создаваемых новых правил/резольвент; динамическую, предназначенную для хранения служебной и управляющей информации. Производительность проектируемой машины логического вывода во многом определяется тем, насколько удобно выбраны структуры данных для хранения правил, предикатов и термов.

Рассмотренная структура МЛВ на верхнем уровне является типовой, так как принцип работы подавляющего большинства методов ЛВ схож – процедура вывода заключается в построении древовидной структуры, ветви которой поочередно удлиняются за счет применения базовой операции. Для сокращения пространства перебора используются всевозможные эвристики, основывающиеся на анализе текущей ситуации, а алгоритмы базовых операций имеют ряд общих действий.

Поясним сказанное на примере. Рассмотрим процессы резольвирования (базовая операция метода резолюций) и частичного деления дизъюнктов (базовая операция одноименного метода) для выражений $D_1=A(x,y)\vee B(x)\vee C(x,y)$ и $D_2=\neg C(a,b)\vee B(a)\vee B(c)$.

Резольвенты $E=\{A(a,b)\vee B(a)\vee B(c)\}$ выражений D_1 и D_2 будут получены путем выполнения следующей последовательности действий.

1. Принять $E=\emptyset$.
2. Выбрать непроанализированную пару литералов L_1 и L_2 из двух заданных выражений. Если такой пары нет – перейти к выполнению пункта 8.
3. Если выбранная пара литералов является одноименной, то перейти к пункту 3. Иначе перейти к пункту 1.
4. Если выбранная пара литералов является контрарной, то перейти к пункту 4. Иначе перейти к пункту 1.
5. Если выбранные литералы унифицируемы, то сформировать унифицирующую подстановку λ и перейти к пункту 5. Иначе перейти к пункту 1.

6. Сформировать резольвенту $R=res(D_1,D_2)$, получаемую объединением множеств литералов из D_1 и D_2 и исключением из полученного множества пары литералов L_1 и L_2 .

7. Применить к литералам резольвенты полученную подстановку λ и поместить ее в множество результатов $E=E\cup\{R\}$.

8. Алгоритм завершен. Полученные резольвенты содержатся в множестве результатов E .

Остатки-делимые и остатки-делители $E=\{\{A(a,y)\vee C(a,y), \emptyset\}, \{A(c,y)\vee C(c,y), \emptyset\}\}$ выражений D_1 и D_2 будут получены путем выполнения следующей последовательности действий.

1. Принять $E=\emptyset, Q=\emptyset$.

2. Выбрать непроанализированную пару литералов L_1 и L_2 из двух заданных выражений. Если такой пары нет – перейти к выполнению пункта 6.

3. Если выбранная пара литералов является одноименной, то перейти к пункту 3. Иначе перейти к пункту 1.

4. Если выбранная пара литералов не является контрарной, то перейти к пункту 4. Иначе перейти к пункту 1.

5. Если выбранные литералы унифицируемы, то сформировать унифицирующую подстановку λ , поместить литералы L_1, L_2 и подстановку λ в множество $Q=Q\cup\{L_1, L_2, \lambda\}$ и перейти к пункту 1.

6. На основе информации из Q сформировать остатки-делимые и соответствующие им остатки-делители [2].

7. Применить к литералам остатка-делимого и остатка-делителя соответствующие подстановки λ и поместить их в множество результатов E .

8. Алгоритм завершен. Полученные остатки содержатся в множестве результатов E .

В результате анализа действий, совершаемых в ходе выполнения операций резольвирования и деления дизъюнктов, может быть сделан вывод о том, что

данные операции имеют существенное число общих шагов и, следовательно, могут быть реализованы на одном и том же оборудовании с минимальными дополнительными затратами.

Таким образом, машина логического вывода, включающая в свой состав узлы, необходимые для реализации набора методов ЛВ, а также средства управления выводом (в том числе выбора конкретного метода) и определения совокупности используемых эвристик, будет являться универсальной – поддерживающей в произвольный момент времени выполнение одного метода из группы предопределенных. С точки зрения конечного пользователя подобная универсальная машина может рассматриваться как виртуальная, то есть эмулирующая поведение узкоспециализированной, реализующей единственный метод, машины логического вывода посредством совокупности ресурсов. При этом необходимость изменения используемого метода не повлечет за собой необходимость внесения изменений в архитектуру машины, а потребует только воздействия на средства управления.

Проектирование архитектуры универсальной МЛВ может быть выполнено путем осуществления следующей последовательности действий.

1. Определение группы методов, выполнение которых должна поддерживать машина.
2. Анализ методов и выделение вычислительных примитивов (акторов), максимизирующих степень общности методов.
3. Построение соответствующим методам моделей логических вычислений.
4. Формирование объединенной модели логических вычислений.
5. Разработка на основе объединенной модели архитектуры МЛВ, поддерживающей выполнение выбранных методов ЛВ.
6. Определение микропрограммного управления, посредством которого задается реализуемый метод и набор используемых эвристик.

Предложенный подход к проектированию архитектуры МЛВ может являться базой для создания универсальных машин логического вывода, поддерживающих выполнение нескольких методов. Возможность корректировки микропрограмм выполнения шагов вывода, а также присутствие в составе машины необходимых для выполнения данных шагов вычислительных ресурсов, позволяет рассматривать универсальную МЛВ как виртуальную МЛВ с перестраиваемой архитектурой (ВМЛВ). В свою очередь, ВМЛВ может быть использована специалистами, не являющимися экспертами в области ЛВ и разработке систем ЛВ, для решения актуальных практических задач из других областей человеческой деятельности.

Список литературы

1. *Вагин В. Н.* Достоверный и правдоподобный вывод в интеллектуальных системах / В. Н. Вагин, Е. Ю. Головина, А. А. Загорянская, М. В. Фомина. М.: ФизМатЛит, 2008. 712 с.
2. *Страбыкин Д. А.* Логический вывод в системах обработки знаний. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ, 1998. 164 с.
3. *Meltsov V. Yu.* High-Performance Systems of Deductive Inference. Yelm, WA, USA: Science Book Publishing House, 2014. 216 p.

ДОЛЖЕНКОВА Мария Львовна – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры ЭВМ, Вятский государственный университет. 610000, г. Киров, ул. Московская, 36.

E-mail: maryid@mail.ru

ЧИСТЯКОВ Геннадий Андреевич – кандидат технических наук, доцент кафедры ЭВМ, Вятский государственный университет. 610000, г. Киров, ул. Московская, 36.

E-mail: gennadiychistyakov@gmail.com