УДК 004.832.38

ЭВРИСТИЧЕСКИЙ АЛГОРИТМ РЕЗОЛЮЦИИ ПРЕДИКАТОВ НА ГРАФЕ СВЯЗЕЙ

Балакин И.А.
Государственный университет информатики и искусственного интеллекта, г. Донецк

При обработке большого объема данных, а также при решении задач, характеризующихся экспоненциальным ростом пространства поиска, особое значение приобретает проблема эффективности процедур дедуктивного вывода [2]. Одним из основных требований предъявляемым к процедуре дедуктивного вывода, является использование эффективной стратегии поиска. Резольвирование дизъюнктов является основной операцией в процедурах дедуктивного вывода, и неэффективный выбор дизъюнктов для резольвирования приводит к практической непригодности процедуры вывода.

Одной из основных проблем, встающих перед разработчиками процедур дедуктивного вывода, является экспоненциальный рост пространства поиска. В условиях постоянно растущих объемов обрабатываемых данных особое значение приобретает проблема создания процедур дедуктивного вывода, способных эффективно работать с большими множествами дизъюнктов.

Использование графовых структур в качестве основы для построения процедур дедуктивного вывода является одним из способов повышения эффективности процесса вывода. Был создан ряд алгоритмов дедуктивного вывода на графовых структурах. Однако при решении задач практической сложности, данные алгоритмы не всегда показывали удовлетворительные результаты, что привело к дальнейшим исследованиям в области повышения эффективности процедур вывода.

Резолюция – один из основных методов логического вывода [1-4]. Логический вывод - это NP - полная проблема, поэтому нужны методы упрощения.

Одной из эффективных форм проведения резолюции является логический вывод на графе связей [2]. Граф связей – это граф, в котором вершины - это предикаты, соединённые ненаправленным ребром, называемым связью, если соответствующие предикаты образуют контрарную пару.

Алгоритм вывода на графе связей состоит из следующих шагов [2]:

1. Выбор связи из множества связей.
2. Резольвирование связи и получение резольвенты. Удаление связи, по которой производилось резольвирование. Поскольку при резольвировании алгоритм унификации выбирает конкретную подстановку, то в результате этого выбора другие подстановки становятся невозможными и связи соответствующие этим подстановкам уходят, но при этом остаются родственные связи.
3. Если получена пустая резольвента, то успешное завершение, иначе помещение резольвенты в граф, добавление ее связей, удаление дизъюнктов-тавтологий и чистых дизъюнктов, выполнение операции факторизации и поглощения дизъюнктов.
4. Если граф не содержит ни одного дизъюнкта, то неуспешное завершение алгоритма, иначе переход к шагу 1.

Сложность решения задачи зависит от порядка выбора связи при резольвировании.

При выборе связи для резольвирования в графе связей можно использовать различные эвристические функции оценки связей.

Цель данной работы - создание новой эвристики, где под эвристикой будем понимать эвристическую функцию оценки связей, позволяющую уменьшить число вариантов выбора связи и выбрать не наихудший вариант.

Рассмотрим следующие параметры графа связей:

m – номер выбранной связи в графе связей;

n_1 – количество литер, входящих в 1-ый дизъюнкт этой связи;

n_2 – количество литер, входящих во 2-ой дизъюнкт этой связи;

k – число общих литер в этих двух дизъюнктах;

$\varphi(z/\lambda)$ - количество (число) подстановок по одной константе в графе в переменную λ в рассматриваемой паре дизъюнктов (где, например, $\lambda = x, y, \ldots$);

v - количество ушедших дуг.

С учётом выше изложенных параметров, введём в рассмотрение следующую эвристическую функцию оценки связей:

$$\theta^{m}_{z,\lambda} = \left[\left(\frac{k}{n_1 \cdot n_2} \cdot \sum_{z} \varphi(z/\lambda) \right) \cdot v \right] \qquad (1)$$

где z – константа, которая подставляется вместо переменной в дизъюнкте, а λ – это некая переменная, в которую осуществляется подстановка z. А так как в графе может быть несколько констант, которые могут быть подставлены в переменную λ, то имеет место

$\sum\limits_{z} \varphi(z/\lambda)$, то есть, сумма всех подстановок по всем константам в графе в переменную λ в рассматриваемой паре дизъюнктов.

Покажем, как вычисляется $\varphi(z/\lambda)$ и v, для этого вводим следующее обозначение:

$\gamma^{(y)}_{z} = \{\gamma^{(\lambda)}_{a}, \gamma^{(\lambda)}_{b}, \gamma^{(\lambda)}_{c}\}$ - семейство множеств.

$\gamma^{(y)}_{a} = \{A^{(\lambda)}(a), B^{(\lambda)}(a), C^{(\lambda)}(a)\}$, где A, B, C – название предиката дизъюнкта, а λ - переменная, которой соответствует подстановка $\lambda := a$.

$\gamma^{(\lambda)}_{a}$ - сумма дизъюнктов, содержащих в себе одноместный предикат и только одну литеру – константу, которая является подстановкой в переменную λ.

Например:

$\gamma^{(y)}_{c} = \{Q^{(y)}(c), F^{(y)}(c), D^{(y)}(c)\}$, где $Q^{(y)}(c)$, $F^{(y)}(c)$, $D^{(y)}(c)$ – дизъюнкты графа связей.

Сумма подстановок по той константе, по которой идёт резолюция в данной паре дизъюнктов вычисляется следующим образом:

$$\varphi(z/\lambda) = |\gamma_z^{(\lambda)}|, \qquad (2)$$

где φ вычисляется как мощность множества $\gamma_z^{(\lambda)}$, здесь z, λ – определены выше.

Например, $\gamma_b^{(x)} = \{P^{(x)}(b), C^{(x)}(b)\}$, тогда $\varphi(z/\lambda) = \varphi(b/x) = 2$ (подстановка $x := b$).

Рассмотрим теперь, что значение $\sum_z \varphi(z/\lambda)$ вычисляется определяется следующим образом:

$$\sum_z \varphi(z/\lambda) = \sum_z \left|\gamma_z^{(\lambda)}\right| = \left|\gamma_a^{(\lambda)}\right| + \left|\gamma_b^{(\lambda)}\right| + \ldots \qquad (3)$$

Затем покажем, как вычисляется ν. Полагаем, что

$$\nu = \begin{cases} 1 + \sum_z \varphi(z/\lambda) - \varphi(z/\lambda), \text{ если } \varphi(z/\lambda) > 1, \\ \sum_z \varphi(z/\lambda), \text{ если } \varphi(z/\lambda) = 1. \end{cases} \qquad (4)$$

Отсюда формулу (1) можно записать следующим образом:

$$\theta_{z,\lambda}^m = \begin{cases} \dfrac{k}{n_1 \cdot n_2} \cdot \sum_z \varphi(z/\lambda) \cdot \sum_z \varphi(z/\lambda), \text{ если } \varphi(z/\lambda) = 1, \\ \dfrac{k}{n_1 \cdot n_2} \cdot \sum_z \varphi(z/\lambda) \cdot (1 + \sum_z \varphi(z/\lambda) - \varphi(z/\lambda)), \text{если } \varphi(z/\lambda) > 1. \end{cases} \qquad (5)$$

Если $\varphi(z/\lambda) = 1$, то это значит, что удаляются все связи, которые касаются рассматриваемой переменной, а также связь, которая участвует в резольвировании.

Если $\varphi(z/\lambda) > 1$, то удаляются все связи, касающиеся рассматриваемой переменной, кроме родственных связей. Родственные связи – связи, формирующиеся при резольвировании, если в графе подстановка z, по которой будет произведено резольвирование, не единственная только для выбранной пары дизъюнктов, а являющаяся также подстановкой в других связях.

Обозначим $\sum_z \varphi(z/\lambda)$ через β, тогда формула (5) примет следующий вид:

$$\theta_{z,\lambda}^{m} = \begin{cases} \frac{k}{n_1 \cdot n_2} \cdot \beta^2, \textit{если } \varphi(z/\lambda) = 1, \\ \frac{k}{n_1 \cdot n_2} \cdot \beta \cdot (1 + \beta - \varphi(z/\lambda)), \textit{если } \varphi(z/\lambda) > 1. \end{cases} \quad (6)$$

Если в графе есть связь, в которой есть сразу две подстановки в две переменные, то вид формулы (6) будет выглядеть следующим образом:

- если $\varphi(z/\lambda) = 1$, $\varphi(t/\mu) = 1$, то функцию оценки связей запишем следующим образом:

$$\theta_{z,t}^{\lambda,\mu} = \frac{k}{n_1 \cdot n_2} \cdot \left(\left(\beta_z^{\lambda}\right)^2 + \left(\beta_t^{\mu}\right)^2 \right); \quad (7)$$

- если $\varphi(z/\lambda) > 1$, $\varphi(t/\mu) > 1$, то функцию оценки связей запишем следующим образом:

$$\theta_{z,t}^{\lambda,\mu} = \frac{k}{n_1 \cdot n_2} \cdot \left(\left(\beta_z^{\lambda} \cdot \left(1 + \beta_z^{\lambda} - \varphi(z/\lambda)\right)\right) + \left(\beta_t^{\mu} \cdot \left(1 + \beta_t^{\mu} - \varphi(t/\mu)\right)\right) \right); \quad (8)$$

- если $\varphi(z/\lambda) = 1$, $\varphi(t/\mu) > 1$, то функцию оценки связей запишем следующим образом:

$$\theta_{z,t}^{\lambda,\mu} = \frac{k}{n_1 \cdot n_2} \cdot \left(\left(\beta_z^{\lambda}\right)^2 + \left(\beta_t^{\mu} \cdot \left(1 + \beta_t^{\mu} - \varphi(t/\mu)\right)\right) \right); \quad (9)$$

- если $\varphi(z/\lambda) > 1$, $\varphi(t/\mu) = 1$, то функцию оценки связей запишем следующим образом:

$$\theta_{z,t}^{\lambda,\mu} = \frac{k}{n_1 \cdot n_2} \cdot \left(\left(\beta_z^{\lambda} \cdot \left(1 + \beta_z^{\lambda} - \varphi(z/\lambda)\right)\right) + \left(\beta_t^{\mu}\right)^2 \right), \quad (10)$$

где λ, μ - переменные, z, t – соответственно, константы.

Введём эвристическую функцию оценки связей θ, которая будет выглядеть следующим образом:

$$\theta = \max_{m} \theta_{z,\lambda}^{m} \quad (11)$$

Эта эвристика работает только для подстановок в переменные констант, а не термов общего вида.

Первый шаг алгоритма вывода с учётом введённой функции выполняется следующим образом: выбор связи из множества связей осуществляется при помощи, использованной в алгоритме данной эвристической функции оценки связей; вычисляем значение функции для каждой связи в графе; выбираем связь, значение функции оценки связей которой максимально; если функция даёт несколько связей с максимальным значением, то выбор связи осуществляется среди этих максимумов в произвольном порядке.

Разработанная эвристика повышает эффективность проведения резолюции на графе связей, что показано на ряде примеров.

Литература

[1] Вагин В.Н. Дедукция и обобщение в системах принятия решений. – М.: Наука, Гл. ред. физ.-мат. лит. 1988. – 384с.

[2] Вагин В.Н., Головина Е.Ю., Загорянская А.А., Фомина М.В. Достоверный и правдоподобный вывод в интеллектуальных системах М.: ФИЗМАТЛИТ, 2004 -704с.

[3] Люггер Д. Ф. Искусственный интеллект стратегии и методы решения сложных проблем М.: Изд. дом «Вильямс», 2003-864с.

[4] Хант Э. Искусственный интеллект М.: Мир, 1978 - 558с.