OSTIS-2013
(Open Semantic Technologies for Intelligent Systems)

УДК 004.822:514

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПОИСКА ТРАНСФОРМАЦИЙ СХЕМ ОЦЕНКИ УВЕРЕННОСТИ

Моросанова Н.А.

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, факультет ВМК
г. Москва, Россия

nmorosanova@gmail.com

При совместном использовании систем, использующих различные схемы оценки уверенности, возникает задача равномерного накопления и обмена информацией между схемами. Эта задача может быть решена с помощью трансформаций, сохраняющих операцию комбинирования. В работе рассматриваются возможности автоматизации поиска таких трансформаций. Приводятся результаты работы предложенного алгоритма поиска на примерах трансформаций схем, основанных на коэффициентах уверенности и баейсовском подходе, а также для функций комбинирования, полученных аксиоматическим методом.
Ключевые слова: изоморфизм, операция комбинирования, оценка уверенности.

Введение

Схема оценки уверенности есть некоторый способ описания информации, определяемый при создании экспертной системы. Эта схема используется для составления базы знаний и организации логического вывода. Существование трансформации, устанавливающей соответствие между двумя схемами, определяется свойствами операций в этих схемах.

Выбор конкретной схемы оценки уверенности является подзадачей, возникающей при разработке экспертных систем. При этом существует возможность выбирать сразу несколько различных схем для различных категорий пользователей, либо различных задач, решаемых с помощью этой системы. В таком случае требуется некоторый способ преобразования данных, представленных с помощью различных схем оценки уверенности.

1. Подходы к трансформации оценок уверенности

Задача трансформации оценки уверенности возникает при наличии применяющих различные схемы систем, которые необходимо соединить в одну неоднородную систему [Luo et al., 2001]. Задача состоит в обеспечении обмена информацией, представленной в терминах различных схем. Можно выделить два основных подхода к решению этой задачи:

1. построение некоторого обобщения всех или нескольких используемых схем;
2. построение преобразований между парами схем.

К первому подходу можно отнести построение различных обобщающих схем на основе нечетких логик [Аршинский, 2007, Аверкин и др., 2000, Hunter et al., 2006], теории Демпстера-Шафера [Hajek et al., 2008].

Ко второму подходу относятся установленные соответствия между распространенными схемами оценки уверенности [Heckerman, 1990, Grosof, 1986, Daniel, 2004].

Выбор подхода зависит от свойств конкретной задачи, например, количества различных схем оценки уверенности. Первый подход позволяет получать многократно используемые результаты, второй подход направлен на решение конкретного частного случая. Тем не менее, рассмотрение таких частных случаев может дать дополнительную информацию для построения обобщающей схемы, либо ее выбора из уже имеющихся обобщений.

2. Возможности автоматизации трансформаций

В случае задачи трансформации систем, применяющих различные схемы оценки уверенности, системы работают отдельно друг от друга, но могут обмениваться информацией. Для этого необходим изоморфизм операций комбинирования.

Будем рассматривать задачу поиска трансформации для пары схем, сохраняющей результат операции комбинирования.

Будем считать, что для каждой схемы определены:

- множество значений, которые описывают степень уверенности в факте;
- «особые» значения этого множества: «истина», «ложь», «отсутствие информации»;
- допустимые операции над этим множеством;
- отношение порядка на множестве значений.

Трансформация есть отображение множества значений одной схемы во множество значений другой схемы. Будем обозначать его, как $h(x)$. Рассмотрим основные свойства, которые могут быть у $h(x)$:

- сохранение соответствия <<особых>> значений двух множеств;
- существование обратного преобразования $h^{-1}(x)$;
- установление соответствия между операциями комбинирования;
- монотонность: если $x_1 > x_2$, то $h(x_1) > h(x_2)$.

Обозначим множества значений и операции комбинирования двух схем, как X, Y и cmb_1, cmb_2, соответственно. Предположим, что обе операции дизъюнктивны, то есть

$$\begin{aligned}&\mathrm{cmb}_1(x_1, x_2) > \max(x_1, x_2),\\&\mathrm{cmb}_2(y_1, y_2) > \max(y_1, y_2),\end{aligned} \tag{1}$$

а также что X и Y замкнуты и в них выделены особые значения $x_{\min}, x_{\max}$, и $y_{\min}, y_{\max}$, соответствующие друг другу:

$$\begin{aligned}&h(x_{\min}) = y_{\min},\\&h(x_{\max}) = y_{\max}.\end{aligned} \tag{2}$$

Будем искать монотонную трансформацию $h(x)$, такую, что

$$h\big(\mathrm{cmb}_1(x_1, x_2)\big) = \mathrm{cmb}_2\big(h(x_1), h(x_2)\big) \tag{3}$$

в виде некоторого численного приближения $h^*(x)$.

3. Алгоритм поиска

Пусть на X и Y заданы две однородные сетки $\{x_i\}$ и $\{y_j\}$ размера n. Будем считать, что в переменных $listx$ и $listy$ накапливаются элементы множеств X и Y, соответствующие друг другу. Изначально $listx = (x_{\min}, x_{\max})$ и $listy = (y_{\min}, y_{\max})$, а очередь q_1 содержит все элементы $\{x_i\}$. Приведем алгоритм получения $h^*(x)$ в указанных условиях.

3.1. Базовый алгоритм

1) Если очередь q_1 непуста, то перейти на п.2, иначе на п.4

2) Для очередного x_i выполнить поиск $h^*(x_i)$:

3) Для каждого y_j:

a. Фиксировать y_j как кандидата;

b. Построить последовательность точек $\{z_k\}$:

$$\begin{aligned}&z_1 = x_i,\ \ z_k = \mathrm{cmb}_1\left(z_{k-1}, x_i\right),\ \ k \ge 2,\ k \in \mathbb{N},\\&\textit{пока}\ |z_k - z_{k-1}| > \varepsilon_1;\end{aligned} \tag{4}$$

c. Построить соответствующую последовательность точек $\{u_k\}$:

$$\begin{aligned}&u_1 = y_i,\ \ u_k = \mathrm{cmb}_2\left(u_{k-1}, y_i\right),\ \ k \ge 2,\ k \in \mathbb{N},\\&\textit{пока}\ |u_k - u_{k-1}| > \varepsilon_2;\end{aligned} \tag{5}$$

d. Добавить $\{z_k\}$ к $listx$ и $\{u_k\}$ к $listy$, если при этом не нарушается их «монотонность»:

$$\begin{aligned}&listx(pos_1) > listx(pos_2)\\&\qquad \Rightarrow listy(pos_1) > listy(pos_2),\end{aligned} \tag{6}$$

в противном случае вернуться к п. 2;

4) По полученным точкам $h^*(x_i)$ построить $h^*(x)$ (например, с помощью полиномиальной регрессии);

5) Если полученная $h^*(x)$ удовлетворяет требованиям монотонности и неравенства

$$\frac{\sum_{i=1}^{n} |\, h^*(\mathrm{cmb}_1(x_i, x_i)) - \mathrm{cmb}_2(h^*(x_i), h^*(x_i))\,|}{n} < \varepsilon_3, \tag{7}$$

где ε_3 – заранее заданный порог, то $h^*(x)$ считать приближением $h(x)$.

Важно отметить, что если $h(x)$ не единственна, то может быть найдено некоторое из всех подходящих отображений. Также приближение $h^*(x)$ может быть найдено в тех случаях, когда точное решение не существует.

3.2. Модификации алгоритма

Так как алгоритм переборный, то для его эффективной работы требуются эвристики, позволяющие на ранней стадии отбрасывать неперспективные варианты. Одна из них, погрешность (7), может использоваться не только при окончательном решении, но и на промежуточных этапах, когда длина $listx$ больше некоторого числа, например, половины размера сетки.

Другое требование к $h(x)$ – сохранение разницы пороговых значений, может интерпретироваться как достаточный наклон $h(x)$, то есть $h(x)$ не должна быть константой, в то время как именно константа лучше всего минимизирует (7). Тогда можно ввести значение

$$\frac{\sum_{i=2}^{m}(listy(i)=listy(i-1))}{m}=\varepsilon_4, \qquad (8)$$

где m – длина $listx$, а $listy$ упорядочен по возрастанию соответствующих элементов $listx$. Это значение, в свою очередь, не должно превышать заранее заданного порога, например 0,5 или 0,3. Для константы это значение равно 1.

Поскольку, как правило, подходящие трансформации составляют целое семейство, требуется дополнительная информация для получения конкретной $h(x)$. Могут быть использованы значения «отсутствие информации», которые часто являются нейтральными элементами для комбинирования:

$$\mathrm{cmb}(x,e)=x \quad \forall x. \qquad (9)$$

Тогда трансформация $h(x)$ должна устанавливать соответствие таких значений. По имеющейся операции комбинирования cmb значение e можно найти выбором значения сетки x_j, минимизирующего значение

$$\sum_{i=1}^{n}|\,\mathrm{cmb}(x_i,x_j)-x_i\,|. \qquad (10)$$

3.3. Примеры работы алгоритма

Рассмотрим примеры работы алгоритма для описанного в [Luo et al., 2001] изоморфизма между схемами Байеса и Шортлиффа.

В качестве способа приближения (п. 4 в описании алгоритма) используется квадратичная регрессия. Перед использованием алгоритма производится поиск нейтральных элементов для операций комбинирования с помощью (9)-(10). Алгоритм применяется отдельно для интервалов значений больше и меньше найденного нейтрального элемента.

В таблице приведены результаты для двух вариантов отображения [Luo et al., 2001] , так как в [Luo et al., 2001] приводится семейство отображений, зависящее от параметра $p(H)$ – априорной вероятности гипотезы. Для трансформации $p(H)$ соответствует $CF=0$.

Таблица 1 – Результаты поиска $h^*(x)$

Вариант		$p(H)=0{,}5$	$p(H)=0{,}33$
$h(x)$	$x<0$	$\frac{x+1}{x+2}$	$\frac{x+1}{x+3}$
	$x\ge 0$	$\frac{1}{2-x}$	$\frac{1}{3-2x}$
$h^*(x)$	$x<0$	$0{,}5+0{,}35x-0{,}16x^2$	$0{,}33+0{,}23x-0{,}1x^2$
	$x\ge 0$	$0{,}5+0{,}25x+0{,}25x^2$	$0{,}33+0{,}23x+0{,}44x^2$
ε_1		0,1	0,1
ε_2		0,1	0,1
ε_3		0,007	0,007
ε_4		0,3	0,3

Рассмотрим пример применения алгоритма в том случае, когда точного решения не существует. Для этого пусть

$$\begin{aligned} &X=[0,1], \quad Y=[0,1], \\ &\mathrm{cmb}_1(x,y)=x+y-xy, \\ &\mathrm{cmb}_2(x,y)=x+y-xy(x+y-xy). \end{aligned} \qquad (11)$$

Здесь cmb_1 – положительная часть функции комбинирования Шортлиффа, а cmb_2 – функция комбинирования на $[0,1]$, полученная аксиоматическим методом [Johnson et al., 1989].

Точное решение $h(x)$ уравнения $h(\mathrm{cmb}_1(x_1,x_2))=\mathrm{cmb}_2(h(x_1),h(x_2))$ не существует, поскольку cmb_1 ассоциативна, а cmb_2 – нет.

При $\varepsilon_3=0{,}008$ получено решение

$$h^*(x)=0{,}45x+0{,}55x^2. \qquad (12)$$

На рисунке 1 приведено графическое изображение функции

$$\mathrm{cmb}_2(h^*(x),h^*(y))-h^*(\mathrm{cmb}_1(x,y)). \qquad (13)$$

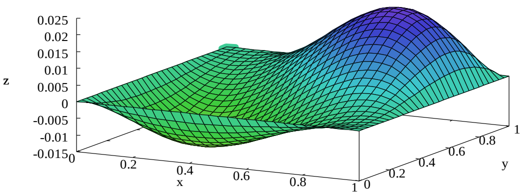

Рисунок 1 – Трансформация $h^*(x)=0{,}45x+0{,}55x^2$.

Для сравнения на рисунке 2 приведена исходная разность значений между cmb_1 и cmb_2.

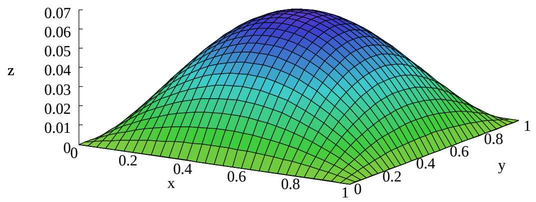

Рисунок 2 – Исходная разность значений

Видно, что с помощью применения алгоритма удается получить трансформацию, переводящую cmb_1 в приближение cmb_2. При этом максимальная разность их значений уменьшается на порядок.

Заключение

В тех случаях, когда операции не дизъюнктивны, либо имеют различные свойства на подмножествах своего множества определения, задача усложняется: поиск трансформации выполняется отдельно на каждом таком подмножестве. Таким образом, требуется решить дополнительную задачу определения интервалов значений $\mathrm{cmb}(x, y)$, на которых ее поведение:

- дизъюнктивно: $\mathrm{cmb}(x, y) > \max(x, y)$;
- конъюнктивно: $\mathrm{cmb}(x, y) < \min(x, y)$
- компромиссно:

$$\mathrm{cmb}(x, y) \le \max(x, y),$$
$$\mathrm{cmb}(x, y) \ge \min(x, y).$$

Также интересной задачей может стать обобщение алгоритма для работы с оценками уверенности, которые описываются не одним числом, а набором чисел.

Библиографический список

[Daniel, 2004] Daniel, M. Algebraic structures related to the combination of belief functions / Daniel, M. // Scientiae Mathematicae Japonicae. – 2004 – № 60(2), p. 245-256.

[Grosof, 1986] Grosof, B. Evidential confirmation as transformed probability / Grosof, B. // Uncertainty in Artificial Intelligence. – 1986 – p.153-166.

[Hajek et al., 2008] Hajek, P. and Valdes, J.J. An analysis of MYCIN-like expert systems/ Hajek, P. and Valdes, J.J. // Mathware & soft computing. – 2008 – № 1(1), p. 45-68.

[Heckerman, 1990] D. Heckerman. Probabilistic interpretations for MYCIN's certainty factors. In *Readings in uncertain reasoning*, Glenn Shafer and Judea Pearl (Eds.). Morgan Kaufmann Publishers Inc., San Francisco, CA, USA 298-312.

[Hunter et al., 2006] Hunter A., Liu W. Fusion rules for merging uncertain information / Hunter A., Liu W. // Information Fusion. – 2006 – № 7(1), p. 97-134.

[Johnson et al., 1989] Johnson N. L., Kotz S. Axiomatic approaches to formulas for combining likelihoods or evidence / N. L., Kotz S. // Journal of Statistical Computation and Simulation. – 1989 – № 31(1).

[Luo et al., 2001] Luo, X. and Zhang, C. and Leung, H. Information sharing between heterogeneous uncertain reasoning models in a multi-agent environment: a case study / Luo, X. and Zhang, C. and Leung, H. // International journal of approximate reasoning. – 2001 – № 27(1), p. 27-59.

[Аверкин и др., 2000] Аверкин А.Н., Костерев В.В. Триангулярные нормы в системах искусственного интеллекта / Аверкин А.Н., Костерев В.В. // Известия академии наук. Теория и системы управления. –2000 – № 5, с. 116-128.

[Аршинский, 2007] Аршинский Л. В. Векторные логики: основания, концепции, модели: монография // Л.В. Аршинский. – Иркутск: ВСИ МВД России, 2007.

AUTOMATED SEARCH FOR UNCERTAIN REASONING MODELS TRANSFORMATIONS

Morosanova N.A.

Lomonosov Moscow State University, CMC department, Moscow

nmorosanova@gmail.com

A problem of information sharing between different uncertain reasoning models can occur in heterogeneous multi-agent systems. The solution for this problem may be obtained by the use of the uncertain reasoning models' transformations. This study explores the possibilities of an automated search for such transformations. The results of the algorithm proposed for the case with the combination operations isomorphism are presented and discussed.

Introduction

Uncertain reasoning model specifies the way to describe uncertainty, including the value set and the combination operation. For the information sharing between systems, using several different models the transformation should preserve the result of combination operations.

Main Part

We seek to find transformation $h(x)$ that preserves the result of combination. An algorithm receives two combination operations and their value sets. It is based on a recursive exhaustive search with backtracking and a number of heuristics to cut the search space. The results are given in Table 1 for the Shotliffe CF – Bayes transformation. Fig. 1 and 2 show the results of an algorithm for the case where only pseudo-solution exists.

Conclusion

The proposed algorithm proved to find the transformation for the MYCIN-like combination operations. The next step should consist in using several values instead of only one for the uncertainty representation. Also the intervals of value set where the operation is disjunctive, conjunctive or compromise should be determined in order to apply the search algorithm more effectively.