УДК 519.234

ИНФОРМАЦИОННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ РАНЖИРОВАНИЯ ГРУППОВЫХ ЭКСПЕРТНЫХ ОЦЕНОК НА ОСНОВЕ ТЕОРИИ СВИДЕТЕЛЬСТВ

И.И. Коваленко
Доктор технических наук, профессор
Кафедра программного обеспечения автоматизированных систем
Национальный университет кораблестроения им. адмирала Макарова
пр. Героев Сталинграда, 9, г. Николаев, Украина, 54025

А.В. Швед
Аспирантка
Кафедра интеллектуальных информационных систем
Черноморский государственный университет им. Петра Могилы
ул. 68 Десантников, 10, г. Николаев, Украина, 54003
Контактный тел.: 095-241-32-08
E-mail: helenashv@mail.ru

У статті запропонована технологія побудови узагальненої ранжировки об'єктів експертизи на основі теорії свідоцтв з урахуванням різних технік комбінування, яка дозволяє врахувати можливі способи взаємодії експертних суджень. Розглянута процедура побудови підсумкової ранжировки в умовах значної кількості порівнюваних елементів

Ключові слова: експертні оцінки, ранжирування, теорія Демпстера-Шейфера, правило комбінування

В статье предложена технология построения обобщенной ранжировки объектов экспертизы на основе теории свидетельств с учетом различных техник комбинирования, которая позволяет учесть возможные формы взаимодействия экспертных суждений. Рассмотрена процедура построения итоговой ранжировки в условиях большого количества сравниваемых элементов

Ключевые слова: экспертные оценки, ранжирование, теория Демпстера–Шейфера, правило комбинирования

1. Введение

При анализе групповых экспертных оценок эффективные результаты могут быть получены при правильном выборе и применении методов обработки экспертной информации. В настоящее время широкое распространение получили методы, в основе которых лежит механизм попарного сравнения. Это может быть обусловлено тем, что экспертам легче попарно сравнивать объекты, чем, например, дать их некоторое упорядочение (ранжировку).

В свою очередь, такие методы обладают рядом недостатков, например, ограничение на число сравниваемых попарно элементов, необходимость оценивания всех имеющихся элементов (объектов, альтернатив), высокий уровень согласованности экспертных оценок и др.

Рассмотренные проблемы, выдвигают задачу поиска новых подходов к анализу экспертных оценок, которые должны учитывать не только указанные недостатки, но также различные виды взаимодействия суждений (оценок) экспертов.

2. Анализ исследований и публикаций

Методологические основы математическое теории свидетельств были заложены в трудах Шейфера [1], где автором были расширены идеи, предложенные Демпстером (модель верхних и нижних вероятностей) [2].

Данная теория позволила по-новому подойти к вопросам выявления предпочтений экспертов, а именно: эксперт может анализировать (оценивать) не все множество элементов (альтернатив), а выделить некоторые альтернативы или группы альтернатив для последующего их оценивания.

Традиционно в теории свидетельств при комбинировании применяют правило Демпстера [1, 3]. В настоящее время сформировался класс альтернативных правил комбинирования [4–6], позволяющих учесть некоторые ограничения правила Демпстера [7]. Среди широко известных, можно выделить правила Жанга, Инагаки, Ягера, Дюбуа и Прада и др.

3. Постановка задачи

Целью работы является анализ возможных способов взаимодействия суждений экспертов, высказанных на одном и том же множестве данных и рассмотрение процедуры построения обобщенной ранжировки объектов экспертизы на основе теории свидетельств с учетом различных техник комбинирования.

4. Изложение основного материала

Рассмотрим ряд ситуаций, которые могут возникать в процессе экспертного оценивания [8].

Пусть имеется исходное множество альтернатив $A=\{A_i \mid i=\overline{1,n}\}$ и группа экспертов $E=\{E_j \mid j=\overline{1,m}\}$, выполняющих их анализ (оценивание).

Тогда может быть сформирована система подмножеств $X=\{X_j \mid j=\overline{1,m}\}$, отражающих различные предпочтения (выбор) экспертов, таких, что $X_j \subseteq A$. Любое подмножество X_j может быть построено на основе правил:

1. $X_j=\{A_i\}$ – экспертом j выбрана одна альтернатива $A_i \in A$.
2. $X_j=\{A_i \mid i=\overline{1,p}\}$, $p<n$ – экспертом j выбрано p альтернатив $A_i \in A$. (1)
3. $X_j=A=\{A_i \mid i=\overline{1,n}\}$ – эксперт затрудняется выбрать какую-либо из предложенных альтернатив (все альтернативы равнозначны).

Ситуация 1. Пусть сформированные экспертами подмножества $X_j \subseteq A$, $j=\overline{1,m}$, подчинены условию: $X_1 \subseteq X_2 \subseteq \ldots \subseteq X_j \subseteq \ldots \subseteq X_m \subseteq X$.

Тогда суждения экспертов являются согласованными, и представляют собой такую структуру, при которой область значений одного из них является подмножеством области определения другого, т.е. структура таких суждений имеет вложенный характер.

Ситуация 2. Пусть сформированные экспертами подмножества $X_j \subseteq A$, $j=\overline{1,m}$, подчинены условию: $X_1 \cap X_2 \cap \ldots \cap X_j \cap \ldots \cap X_m \neq \varnothing$.

В этом случае суждения экспертов являются совместимыми, и представляют собой такую структуру, при которой все суждения имеют хотя бы один общий элемент.

Ситуация 3. Пусть сформированные экспертами подмножества $X_j \subseteq A$, $j=\overline{1,m}$, подчинены условию: $X_1 \cap X_2 \cap \ldots \cap X_j \cap \ldots \cap X_m = \varnothing$, $\exists C: X_i \cap X_j \neq \varnothing$.

В этом случае суждения экспертов являются произвольными, и представляют собой такую структуру, при которой нет элементов, принадлежащих одновременно всем суждения, однако некоторые из них могут иметь общие элементы.

Ситуация 4. Пусть сформированные экспертами подмножества $X_j \subseteq A$, $j=\overline{1,m}$, подчинены условию: $\forall X_i, X_j \subseteq X : X_i \cap X_j = \varnothing$.

Тогда суждения экспертов являются раздельными, и представляют собой такую структуру, при которой все сформированные подмножества (суждения экспертов) не пересекаются между собой.

Для анализа и обработки экспертной информации, при которой суждения экспертов, могут некоторым образом взаимодействовать между собой: объединяться, поглощаться или пересекаться, появляется необходимость применения новых подходов, позволяющих корректно оперировать с некоторыми видами неопределенности, возникающими в процессе обработки данных экспертного опроса.

К таким подходам относится математическая теория свидетельств (теория Демпстера–Шейфера – ТДШ) [1,3].

Рассмотрим технологию построения итоговой ранжировки, отражающей коллективное мнение экспертной группы, на основе теории свидетельств:

1. Выполнение структуризация задачи, в рамках которой определяется множество исследуемых объектов (альтернатив) $A=\{a_i \mid i=\overline{1,n}\}$ и множество экспертов $E=\{E_j \mid j=\overline{1,m}\}$, высказывающих свои предпочтения на множестве исходных данных.

2. Расчет коэффициентов компетентности экспертов в соответствии с выделенным набором профессиональных и личностных компетенций, а также учитывая выбранный метод оценки компетентности экспертов. Сформированное множество экспертов $E=\{E_j \mid j=\overline{1,m}\}$ может считаться предварительным и быть откорректировано с учетом полученных показателей компетентности экспертов.

Оценку уровня компетентности экспертов может проводить ЛПР.

3. Выявление предпочтений экспертов. На этом этапе каждый эксперт может выделить объект или группу объектов $X_k \subseteq A$, $k \le n$, отражающих предпочтения эксперта, в соответствии с (1).

Таким образом, в ходе проведения экспертного опроса каждым экспертом будет сформировано множество $X^i=\{X_1^i, X_2^i, \ldots, X_j^i, \ldots, X_k^i\}$, $i=\overline{1,m}$, $k \le n$, отражающее выбор i-го эксперта.

4. Выявление степени превосходства выделенных групп объектов (альтернатив) в значениях заданной шкалы предпочтений.

5. Расчет основного назначения вероятности выделенных подмножеств [1, 3]

$$m^{(i)}(X_j^i)=\frac{p_j^{(i)}\cdot\omega^{(i)}}{\sum\limits_{i=j}^{k} p_j^{(i)}\cdot\omega^{(i)}+\sqrt{k}},\quad m^{(i)}(A)=\frac{\sqrt{k}}{\sum\limits_{j=1}^{k} p_j^{(i)}\cdot\omega^{(i)}+\sqrt{k}}, \quad (2)$$

где k – общее число групп альтернатив выделенных i-ым экспертом, что соответствует величине $\left|X^i\right|$; $p_j^{(i)}$ – степень предпочтения j-той группы альтернатив (X_j^i) выделенной i-ым экспертом, j=1,2...k; $\omega^{(i)}$ – коэффициент компетентности i-го эксперта, $\omega \in [0;1]$.

В нотации теории свидетельств функция $m(\cdot)$ определяет субъективную степень уверенности, что искомый элемент множества A находится в подмножестве $X_k \subseteq A$.

6. Агрегирование индивидуальных предпочтений экспертов путем комбинирования основных назначений вероятности выделенных экспертами подмножеств X_j^i.

Результатом комбинирования являются результирующие подмножества B_j, а также соответствующие им $m_{rez}(B_j)$.

Правило комбинирования выбирается на основании учета таких факторов, как информация о конфликтах, о степени доверия к результатам экспертного опроса, о характере (форме) взаимодействия экспертных суждений и др.

7. Расчет функции доверия $Bel(\{X\})$ и правдоподобия $Pl(\{X\})$ для каждой исходной альтернативы, или выделенной группы альтернатив [1, 3]

$$Bel(X)=\sum_{B_j \subseteq X} m_{rez}(B_j),\quad Pl(X)=\sum_{B_j \cap X \neq \varnothing} m_{rez}(B_j), \quad (3)$$

Расчет функций производится на основе полученных результирующих (комбинированных) основных назначений уверенности выделенных групп оцениваемых объектов (включая их объединения).

В нотации теории свидетельств функция доверия $\mathrm{Bel}(\cdot)$ отражает всю степень поддержки, отдаваемую каждому из выделенных подмножеств; функция правдоподобия $\mathrm{Pl}(\cdot)$ выражает полную степень потенциальной поддержки, которая может быть отдана каждому из этих подмножеств.

8. Установление относительного приоритета каждой из результирующих подгрупп оцениваемых элементов осуществляется путем сравнения полученных интервалов $[\mathrm{Bel}(\{X\}),\mathrm{Pl}(\{X\})]$, образованных функциями доверия и правдоподобия. Лучшей считается та альтернатива (группа альтернатив), у которой значения функции уверенностей и правдоподобия являются наибольшими среди аналогичных значений всех остальных интервалов.

9. Формирование результирующей ранжировки выделенных подгрупп оцениваемых объектов (альтернатив).

Рассмотрим числовой пример получения результирующей ранжировки на основе предложенной методики.

Предположим, группе экспертов, состоящей из 10 человек, предложено проанализировать 12 проектов и выбрать наилучший из них.

Таблица 1

Степени предпочтения выделенных групп альтернатив экспертами

Проекты		Оценки экспертов									
		E_1	E_2	E_3	E_4	E_5	E_6	E_7	E_8	E_9	E_{10}
P_1	Проект 1	6	6	5	6	5	6	6	5	6	6
P_2	Проект 2		4	3	5	4	5	3	5	3	5
P_3	Проект 3	5	4		6	5	4	6	6		5
P_4	Проект 4										
P_5	Проект 5										
P_6	Проект 6	4	3	4	4	6		5	5	4	3
P_7	Проект 7										
P_8	Проект 8	6	4	6	6	5	5		4	5	
P_9	Проект 9	4	3		5		3	3	4		4
P_{10}	Проект 10	4	5	4	3	4		5	5	4	4
P_{11}	Проект 11										
P_{12}	Проект 12	3	3	5	3	5	4	5	4	3	4

Таблица 2

Интервалы доверия, полученные на основе различных правил комбинирования

Проект	Правила комбинирования свидетельств			
	Демпстера	Инагаки	Жанга	Ягера
P_1	[0.2637; 0.3612]	[0.2913; 0.3509]	[0.8640; 0.8649]	[0.1565; 0.5992]
P_2	[0.0657; 0.1455]	[0.0627; 0.0979]	[0.0138; 0.0144]	[0.0281; 0.5209]
P_3	[0.1031; 0.1969]	[0.1121; 0.1627]	[0.0365; 0.0374]	[0.0475; 0.5223]
P_4	[0.0000; 0.0267]	[0.0000; 0.0019]	[0.0000; 0.0002]	[0.0000; 0.3964]
P_5	[0.0000; 0.0267]	[0.0000; 0.0019]	[0.0000; 0.0002]	[0.0000; 0.3964]
P_6	[0.0823; 0.1660]	[0.0806; 0.1310]	[0.0334; 0.0345]	[0.0501; 0.5102]
P_7	[0.0000; 0.0267]	[0.0000; 0.0019]	[0.0000; 0.0002]	[0.0000; 0.3964]
P_8	[0.0781; 0.1660]	[0.0876; 0.1519]	[0.0179; 0.0187]	[0.0379; 0.4606]
P_9	[0.0289; 0.0969]	[0.0303; 0.0664]	[0.0019; 0.0025]	[0.0101; 0.4706]
P_{10}	[0.0696; 0.1663]	[0.0870; 0.1378]	[0.0154; 0.0166]	[0.0152; 0.5182]
P_{11}	[0.0000; 0.0267]	[0.0000; 0.0019]	[0.0000; 0.0002]	[0.0000; 0.3964]
P_{12}	[0.0782; 0.1678]	[0.0858; 0.1281]	[0.0144; 0.0151]	[0.0238; 0.5157]

По условию задачи имеется множество альтернатив (проектов) $P=\{P_i \mid i=\overline{1,12}\}$ и группа экспертов $E=\{E_j \mid j=\overline{1,10}\}$, выполняющих их анализ (оценивание).

В результате проведения экспертного опроса каждым экспертом было сформировано множество $X^i=\{X_1^i,X_2^i,...,X_j^i,...,X_k^i\}$, $i=\overline{1,10}$, $k\leq 12$, отражающее предпочтения (выбор) i-го эксперта.

На основе сформированных подмножеств (выделенных групп альтернатив) $X_j^i\subseteq P$, экспертами назначены степени предпочтения (табл. 1) в заданной шкале отношений 2÷6 [3]: 2 – слабое превосходство, 3 – умеренное превосходство, 4 – сильное превосходство, 5 – значительное превосходство, 6 – абсолютное превосходство).

Рассчитанные значения функций доверия и правдоподобия на основе правил комбинирования Демпстера, Жанга, Инагаки и Ягера приведены в табл. 2.

Расчеты, выполненные на основе различных правил комбинирования позволяют сделать следующие выводы:

1. При применении правил комбинирования были получены некоторые различия касающиеся результирующих значений. Это связано с применением разных подходов при комбинировании основных назначений вероятности выделенных подмножеств.

2. Вне зависимости от правила комбинирования максимальное значение функции доверия принадлежит проекту P_1.

3. Наибольшее значения высказанного доверия к выбору P_1 предоставляет правило Жанга, при этом значение полного незнания (основное назначение вероятности, отнесенное к основе анализа) минимально.

4. Наименьшее значение высказанного доверия к выбору P_1, и как результат наибольшее значение полного незнания имеет место при применении правила Ягера.

5. Проекты P_4, P_5, P_7, P_{11} получили нулевую степень поддержки и выбыли из анализа.

6. При применении правил Демпстера, Инагаки и Жанга суммарное значение функции доверия принадлежащее рассмотренным проектам значительно больше назначению вероятности относящейся к основе анализа.

7. Суждения экспертов могут быть признаны произвольными.

8. Имеет место ситуация незначительного конфликта между отбельными группами экспертных суждений. Значения коэффициента конфликтности находится в пределах 0.3.

Учитывая значения степени незнания, структуру экспертных суждений, уровень конфликта и ряд других факторов, для комбинирования экспертных суждений было выбрано правило Инагаки.

На основе правила Инагаки была построение результирующая ранжировка отражающая коллективное мнение экспертной группы, вида:

$$\{P_1 \succ P_3 \succ P_8 \succ P_{10} \succ P_{12} \succ P_6 \succ P_2 \succ P_9\}.$$

4.Выводы

Предложенный подход позволяет группировать различные комбинации исходных элементов (объектов экспертизы, альтернатив) в кластеры (в условиях наличия большого числа анализируемых объектов) и получать результирующую ранжировку групповых экспертных оценок анализируемых объектов, что позволило снять ограничение на число альтернатив (объектов экспертизы), подлежащих анализу (оцениванию), а также в некоторой степени снять необходимое условие согласованности экспертных оценок.

Предложенный подход позволяет проводить процедуру агрегирование индивидуальных предпочтений экспертов путем их комбинирования.

В качестве правила комбинирования были рассмотрены правила Демпстера, Ягера, Инагаки и Жанга.

Так, например, правило Демпстера может быть использовано при условии наличия минимального конфликта, если суждения экспертов признаны согласованными, и количественное значение полного незнания намного меньше суммарного значения вероятности, относящейся ко всем выделенным подмножествам.

Литература

1. Shafer G. A mathematical theory of evidence. Princeton University Press, Princeton, 1976. 297 p.
2. Dempster A.P. Upper and lower probabilities induced by a multi-valued mapping. Annals of Mathematical Statistics, 1967, vol. 38. pp. 325–339.
3. Beynon M.J, Curry B., Morgan P. The Dempster-Shafer theory of evidence: an alternative approach to milticriteria decisionn modeling. Omega, 2000, vol. 28, № 1, pp. 37–50.
4. Inagaki T. Interdepence between Safety-Control Policy and Multiple-Sensor Schemes Via Dempster-Shafer Theory. Transaction on Reliability, 1991, vol. 40, № 2, pp. 182–188.
5. Yager R.R On the Dempster-Shafer framework and new combination rules. Information Science , 1987, vol. 41, № 2, pp. 93–137.
6. Zhang L. Representation, independence and combination of evidence in the Dempster-Shafer Theory of Evidence. Advances in the Dempster-Shafer Theory of Evidence. John Wiley & Sons, 1994, pp. 51– 69.
7. Zadeh L.A. Review of Shafer's "A mathematical theory of evidence". The AI Magazine, 1984, pp. 81–83.
8. Sentz K., Ferson S. Combination of Evidence in Dempster-Shafer Theory. Sandia National Laboratories, Albuquerque, 2002. 94 p.

Abstract

The article concerns the use of modern theories for the analysis of expert information. The results of our research in this area are presented. The main purpose of research is the development of techniques of analysis and aggregation of group expert estimates to solve the problems of ranking.

The use of modern approaches of analysis of expert information allows us to take into consideration the forms of interaction of expert judgments, and some specific types of uncertainty, in the frameworks of which the experts' estimates were formed. This article considers the technology of expert information processing on the basis of methods of mathematical theory of evidence, taking into account alternative techniques of evidence combining.

The suggested technique allows to identify and analyze and only relevant alternatives or groups of alternatives. It can significantly reduce the time of the examination, and increase the efficiency of obtained expert information. We suggest the use of the technology for the formation of the collective opinion of an expert group in the case of inaccurate and incomplete expert information.

The considered approach suggests new possibilities for the creation of information technologies of expert estimates structuring under conditions of uncertainty, which can be the basis of an automated decision-making support system.

Keywords: *expert estimates, ranking, Dempster-Shafer theory, combination rule*