

УДК 004.832.34

I.С. СКАРГА-БАНДУРОВА, канд. техн. наук, доц., ТІ СНУ
ім. В. Даля, Сєвєродонецьк

ІНТЕГРОВАНІЙ ПІДХІД ДО ПОЄДНАННЯ НЕВИЗНАЧЕНОСТЕЙ З ВИКОРИСТАННЯМ ФУНКЦІЙ ДОВІРИ

Стаття присвячена теоретичним аспектам обґрунтування рішень при наявності конкуруючих гіпотез. В контексті задач дослідження розглянуті особливості прийняття рішень з використанням структур довіри. Виділена проблема конфліктів, яка є невіршуваною в класичній моделі. Удосконалена модель прийняття рішень шляхом використання додаткової процедури їх комбінунання. Табл.: 1. Бібліогр.: 28 назв.

Ключові слова: поєднання невизначеностей, гіпотеза, прийняття рішень, структура довіри, модель.

Постановка проблеми та аналіз літератури. Більшість моделей прийняття рішень, заснованих на функціях довіри, містять виявлення суб'єктивних даних від групи експертів на основі якісних переваг. Враховуючи, що однією з основних причин використання груп є припущення, що в поєднанні судження групи перевершує особисті судження, то питання синтезу, оцінки та досягнення консенсусу стають актуальними. У загальному випадку процес вилучення знань містить урахування індивідуальних невизначеностей експертів, невідповідності їх думок і комбінунання рішень для досягнення консенсусу. На завершальному етапі, коли потрібно узагальнити всі судження, звичайна роз'єднаність в значній мірі ускладнює прийняття остаточного рішення.

Незважаючи на значну кількість академічних робіт [1 – 10] і глибокі методологічні розробки основних концепцій теорії прийняття рішень, на сьогоднішній день ряд рішень все ще потребує теоретичного обґрунтування. До таких рішень відносять вибір в умовах невизначеності, темпоральний (межчасовий) вибір, вибір при наявності конкуруючих гіпотез та комплексні рішення.

У теорії прийняття рішень підхід на основі доказових міркувань (evidential reasoning approach) являє собою методологію аналізу множинних атрибутів рішення, що враховують як кількісні, так і якісні критерії в умовах невизначеності, включаючи неосвіченість і випадковість [11 – 13]. Пояснення ситуацій при цьому проводиться на підставі поточної інформації і ступеня впевненості в ній, а ступінь довіри і висновки можуть змінюватися залежно від накопиченої інформації [14].

При цьому аргументація являє собою пізнавальну процедуру прийняття гіпотез, або абдукції. Неформально абдукція окреслюється знаходженням кращого пояснення отриманим даним [15], тобто необґрунтованим (unsound) правилом виводу і, отже, висновок не обов'язково є істиною для кожної інтерпретації, при якій істинні передумови [16]. Більш формально, абдукція це пошук припущень G , які в поєднанні з деякою теорією T досягають деякого набору цілей, не викликаючи певних протиріч [17, 18].

Найчастіше завдання абдукції розглядається як задача знаходження множини мінімальних пояснень спостережуваних подій на основі наявних знань і обмежень для представлення результатів [15, 19, 20]. Формалізація абдукції засобами двозначної логіки предикатів першого порядку виглядає наступним чином [21]:

Нехай D – множина спостережуваних фактів, T – деяка задана теорія, G – множина гіпотез. Тоді множина висловлювань E називається абдуктивним поясненням D , якщо і тільки якщо для нього виконуються наступні умови: E міститься в G , з об'єднання T і E виводиться D , T і E – несуперечливі.

Таким чином, завдання отримання абдуктивного пояснення зводиться до знаходження E . Дане завдання передбачає, що спочатку для отримання пояснення (ап'юріорної оцінки) використовується вже наявна інформація (статистичні та експериментальні дані, або експертні оцінки). Потім ап'юріорна оцінка об'єднується з новою інформацією.

Отримана оцінка може об'єднувати інформацію загального характеру, різні припущення і судження, висловлені експертами, а також дані, що стосуються безпосередньо розглянутого об'єкта. На цьому етапі виникає проблема об'єднання припущень і конкуруючих гіпотез, яка в ряді випадків може бути ефективно вирішена за допомогою теорії функції довіри Демпстера-Шафера [22, 23].

Мета роботи – розробка підходу до автоматичного комбінунвання гіпотез з використанням функцій довіри.

Особливості класичної моделі довіри. Структура довіри Демпстера-Шафера визначена в просторі X , що складається з набору n ненульових підмножин B_j , $j = 1, \dots, n$, званих фокальними елементами і відображення m (basic belief assignment), званого основною функцією призначення ймовірностей, мірою довіри [16] або масою ймовірності [24], визначеної як:

$$m : 2^X \rightarrow [0,1],$$

такої, що

$$\sum_{j=1}^n m(B_j) = 1, \quad \forall B_j \subseteq X,$$

$$m(A) = 0, \quad \forall A \neq B_j.$$

Модель структури довіри [13] є розподіленою оцінкою з рівними довіри для представлення ефективності альтернативи за обраним критерієм. Припустимо, що критерій оцінюється повним набором можливих ситуацій з n оцінними класами, $H = \{H_1; H_2; \dots; H_j; \dots; H_n\}$, де H_j це j -й оцінний клас.

Без втрати спільності, передбачається, що H_n переважніше за H_{n+1} . Дана оцінка для критерію c математично може бути представлена у вигляді наступного розподілу:

$$S(c) = \{F(H_j, m(B_j))\}, \quad j = 1, \dots, n, \quad (1)$$

де $m(B_j) \geq 0$, $\sum_{j=1}^N m(B_j) \leq 1$.

Функція (1) означає, що критерій c оцінюється для класу H_n з рівнем довіри $m(B_j)$. Оцінка $S(c)$ є повною, якщо $\sum_{j=1}^N m(B_j) = 1$ і неповною, якщо

$\sum_{j=1}^N m(B_j) < 1$. Особливим випадком є $\sum_{j=1}^N m(B_j) = 0$, який являє собою

повне ігнорування критерію c .

Зі структурами довіри, традиційно, асоційовані дві міри – Pls (plausibility) і Bel (belief) [23].

Міра Pls визначається як $Pls : 2^X \rightarrow [0,1]$, така, що:

$$Pls(A) = \sum_{A \cap B_j \neq \emptyset} m(B_j).$$

Аналогічно, міра довіри Bel визначається як $Bel : 2^X \rightarrow [0,1]$, така, що:

$$Bel(A) = \sum_{B_j \subseteq A} m(B_j).$$

Bel являє собою точну підтримку A , у той час як Pls являє собою можливу підтримку A . За допомогою цих мір можливе представити інтервал довіри A у вигляді $[Bel(A), Pls(A)]$. Даний інтервал розглядається відповідно як нижній і верхній рівні довіри A .

Модель Шафера визначає розрізнявальний фрейм Θ , як простір всіх можливих рішень. Правило Демпстера дозволяє для кожної сукупності вихідних підмножин (фокальних елементів) на всій множині вихідних даних сформулювати результуючі підмножини і обчислити для них ступені впевненості (комбіновані міри довіри (маси ймовірності)). Правило Демпстера є універсальним для комбінування гіпотез X , Y і виконується шляхом ортогонального підсумовування відповідних їм мір довіри m_1 і m_2 :

$$m_{12}(A) = \frac{\sum_{X \cap Y = A} m_1(X)m_2(Y)}{1 - k_{12}}, \quad (2)$$

де

$$k_{12} = \sum_{X \cap Y = \emptyset} m_1(X)m_2(Y). \quad (3)$$

Основною проблемою використання даного підходу при проектуванні автоматизованих систем підтримки прийняття рішень є наявність нормувального фактору $(1 - k_{12})$, який повністю ігнорує конфлікти.

Практично, при k_{12} рівному одиниці, правило комбінування свідочств (2) математично не визначається.

Поєднання невизначеностей з використанням функцій довіри.

Для вирішення даної проблеми було розглянуто ряд моделей комбінування гіпотез: Дюбуа, Лефевра, Мерфі, Сметс і Ягера [25 – 28]. В результаті запропоновано використовувати комбінацію модифікацій свідочств Лефевра і Ягера, застосовуючи наступну процедуру:

1. Розраховується загальна кількість конфліктів щодо кон'юнктивного консенсусу по (3), де $X, Y \in 2^\Theta$.

2. Здійснюється комбінування гіпотез на підмножині розрізняльного фрейму $(A \neq \emptyset) \subseteq \Theta$ з відповідним набором коефіцієнтів $\varpi_m(A) \in [0,1]$:

$$m(\emptyset) = \varpi_m(\emptyset)k_{12},$$

$$m(A) = \sum_{X \mathbf{I} Y = A} m_1(X)m_2(Y) + \overline{\omega}_m(A)k_{12},$$

де $\forall (A \neq \emptyset) \in 2^\Theta$ і $\sum_{A \subseteq \Theta} \overline{\omega}_m(A) = 1$.

Використання даної процедури дозволяє представити правило комбінації, вибравши певний набір коефіцієнтів.

3. Проводиться розрахунок за правилом Ягера, шляхом вибору $\overline{\omega}_m(\Theta) = 1$ і $\overline{\omega}_m(A \neq \Theta) = 0$:

$$m(A) = \sum_{X \mathbf{I} Y = A} m_1(X)m_2(Y),$$

$$m(\Theta) = m_1(\Theta)m_2(\Theta) + \sum_{X \mathbf{I} Y = A} m_1(\Theta)m_2(\Theta) = \overline{\omega}(\Theta) + \overline{\omega}(\emptyset), \text{ якщо } A = \Theta,$$

де $\forall A \in 2^\Theta, A \neq \emptyset$.

Наприклад, для наборів $\{s_1, s_2, s_4\}, \{s_2, s_3, s_4\}, \{s_2, s_4\}$ можливі перетини фокальних елементів $X_1 \mathbf{I} Y_2, X_1, Y_2 \subseteq \Theta$ представлені у табл.

Таблиця

Можливі перетини фокальних елементів X, Y

		$m_1(X)$		
		$m_1(x_1)$	$m_1(x_2)$	$m_1(x_3)$
$m_2(Y)$		$\{s_1, s_2, s_4\}$	$\{s_2, s_3, s_4\}$	$\{s_2, s_4\}$
	$m_2(y_1)$	$\{s_1, s_2, s_4\}$	$\{s_2, s_4\}$	$\{s_2, s_4\}$
	$m_2(y_2)$	$\{s_2, s_3, s_4\}$	$\{s_2, s_4\}$	$\{s_2, s_4\}$
	$m_2(y_3)$	$\{s_2, s_4\}$	$\{s_2, s_4\}$	$\{s_2, s_4\}$

$$m(\{s_1, s_2, s_4\}) = m_1(x_1) \cdot m_2(y_1),$$

$$m(\{s_2, s_3, s_4\}) = m_1(x_2) \cdot m_2(y_2),$$

$$m(\{s_2, s_4\}) = m_1(x_2) \cdot m_2(y_1) + m_1(x_3) \cdot m_2(y_1) + m_1(x_1) \cdot m_2(y_2) + m_1(x_3) \cdot m_2(y_2) + m_1(x_1) \cdot m_2(y_3) + m_1(x_2) \cdot m_2(y_3) + m_1(x_3) \cdot m_2(y_3).$$

Висновки. Представлено задачу обґрунтування рішень при наявності конкуруючих гіпотез. Запропоновано об'єднану процедуру комбінації гіпотез з використанням модифікацій свідочств Лефевра і Ягера. Даний підхід дозволяє представити проблему конфліктів принципово вирішуваною для алгоритмізації та подальшого використання в автоматизованих системах підтримки прийняття рішень.

- Список літератури 1.** Демидова Л.А. Принятие решений в условиях неопределенности / Л.А. Демидова, В.В. Кираковский, А.Н. Пылькин. – М.: Горячая Линия – Телеком, 2012. – 288 с. **2.** Катулев А.Н. Математические методы в системах поддержки принятия решений / А.Н. Катулев, Н.А. Северцев. – М.: Высшая школа, 2005. – 312 с. **3.** Есиков О.В. Модели и методы поддержки принятия решений / О.В. Есиков, А.С. Кислицын, В.Г. Кузнецов, А.В. Пружинин – М.: Радиотехника, 2010. – 192 с. **4.** Петровский А.Б. Теория принятия решений / А.Б. Петровский. – М.: Академия, 2009. – 400 с. **5.** Саати Л. Принятие решений при зависимостях и обратных связях. Аналитические сети / Т.Л. Саати. – М.: Либроком, 2011. – 360 с. **6.** Chen Z. Computational intelligence for decision support / Z. Chen // The CRC Press, 2000. – 400 p. **7.** Cruz J. Constraint reasoning for differential models / J. Cruz // IOS Press, 2005. – 244 p. **8.** Введение в нормативную теорию принятия решений. Методы и модели: моногр. / В.В. Крючковский, Э.Г. Петров, Н.А. Соколова, В.Е. Ходаков; под ред. Э.Г. Петрова. – Херсон: Гринь Д.С., 2013. – 284 с. **9.** Phillips-Wren G. Intelligent decision making Studies in Computational Intelligence // G. Phillips-Wren, N. Ichalkaranje – 2008. – Vol. 97. – 424 p. **10.** Power D.J. Decision Support Systems: Concepts and Resources for Managers / D.G. Power. – Praeger, 2002. – 272 p. **11.** Srivastava R.P. An Introduction to Evidential Reasoning for Decision Making under Uncertainty: Bayesian and Belief Functions Perspectives / R.P. Srivastava // International Journal of Accounting Information Systems. – 2010. – Vol. 12. – P. 126-135. **12.** Liu X.-B. Evidential Reasoning Approach for MADA under Group and Fuzzy Decision Environment / X.-B. Liu, Mi Zhou, J.-B. Yang // Advances in Intelligent Decision Technologies Smart Innovation, Systems and Technologies. – 2010. – Vol. 4. – P. 209-214. **13.** Yang J.B. The evidential reasoning approach for MADA under both probabilistic and fuzzy uncertainties / J.B. Yang, Y.M. Wang, D.L. Xu, K.S. Chin // European Journal of Operational Research. – 2006. – Vol. 171. – P. 309-343. **14.** Skarga-Bandurova I. Belief Structure and Its Application to Critical Infrastructure Management / I. Skarga-Bandurova // XXIII Int. Conf. Problems of Decision Making Under Uncertainties (PDMU-2014). – К.: Taras Shevchenko National Univ. of Kyiv, 2014. – P. 41. **15.** Inoue K. Discovering rules by meta-level abduction / K. Inoue, K. Furukawa, I. Kobayashi, and H. Nabeshima // 19th International Conference, ILP 2009 Leuven, Belgium, July 02-04, 2009 Revised Papers. – 2009. – P. 49-64. **16.** Люгер Д.Ф. Искусственный интеллект: Стратегии и методы решения сложных проблем. 4-е изд. / Д.Ф. Люгер. – М.: Изд. дом "Вильямс", 2003. – 864 с. **17.** Eshghi K. A tractable class of abductive problems / K. Eshghi // In Proc. IJCAI'93. – 1993. – Vol. 1. – P. 3-8. **18.** Stickel M.E. Upside-down meta-interpretation of the model elimination theorem-proving procedure for deduction and abduction / M.E. Stickel // Journal of Automated Reasoning. – 1994. – 13 (2). – P. 189-210. **19.** Inductive logic programming: 19th International Conference, ILP 2009 / L. De Raedt (Ed.). – Belgium: Springer. – 2010. – 257 p. **20.** Tamaddoni-Nezhad A. Application of abductive ILP to learning metabolic network inhibition from temporal data / A. Tamaddoni-Nezhad, R. Chaleil, A. Kakas, S. Muggleton // Machine Learning. – 2006. – Vol. 65. – P. 209-230. **21.** Конверський А.С. Логіка: підручн. для студентів юридичн. факульту / А.С. Конверський. – К.: Центр навч. літерат., 2004. – 304 с. **22.** Dempster A.P. Upper and lower probabilities induced by a multi-valued mapping // Ann. Math. Stat. – 1967. – Vol. 38. – P. 325-339. **23.** Shafer G. A Mathematical Theory of Evidence / G. Shafer. – Princeton University Press, Princeton, 1976. – 314 p. **24.** Коваленко І.І. Методи експертного оцінювання сценаріїв: учеб. посібник / І.І. Коваленко, А.В. Швед. – Миколаїв: ЧДУ ім. П. Могили, 2012. – 156 с. **25.** Dubois D. Representation and combination uncertainty with belief functions and possibility measures / D. Dubois, H. Prade // Computation Intelligence. – 1988. – Vol. 4. – P. 244-264. **26.** Lefevre E. Belief functions combination and conflict management / E. Lefevre, O. Colot, P. Vanmoorenberghe // Information Fusion. – 2002. – Vol. 3 (2). – P. 149-162. **27.** Murphy C. Combining belief functions when evidence conflicts / C. Murphy // Decision support systems. – 2000. – Vol. 29. – P. 1-9. **28.** Smets P. The transferable belief model / P. Smets, R. Kennes // Pattern analysis and Machine Intelligence. – 1994. – Vol. 66 (2). – 191-234.

- Bibliography (transliterated):** 1. *Demidova L.A.* Prinjatje reshenij v uslovijah neopredelennosti / *L.A. Demidova, V.V. Kirakovskij, A.N. Pyl'kin.* – M.: Gorjachaja Linija – Telekom, 2012. – 288 s.
2. *Katulev A.N.* Matematicheskie metody v sistemah podderzhki prinjatija reshenij / *A.N. Katulev, N.A. Severcev.* – M.: Vysshaja shkola, 2005. – 312 s. 3. *Esikov O.V.* Modeli i metody podderzhki prinjatija reshenij / *O.V. Esikov, A.S. Kislicyn, V.G. Kuznecov, A.V. Pruzhinin* – M.: Radiotekhnika, 2010. – 192 s. 4. *Petrovskij A.B.* Teorija prinjatija reshenij / *A.B. Petrovskij.* – M.: Akademiya, 2009. – 400 s. 5. *Saati L.* Prinjatje reshenij pri zavisimostjakh i obratnyh svjzjah. Analiticheskie seti / *T.L. Saati.* – M.: Librokom, 2011. – 360 s. 6. *Chen Z.* Computational intelligence for decision support / *Z. Chen* // The CRC Press, 2000. – 400 p. 7. *Cruz J.* Constraint reasoning for differential models / *J. Cruz* // IOS Press, 2005. – 244 p. 8. Vvedenie v normativnuju teoriju prinjatija reshenij. Metody i modeli: monogr. / *V.V. Krjuchkovskij, Je.G. Petrov, N.A. Sokolova, V.E. Hodakov; pod red. Je.G. Petrova.* – Herson: Grin' D.S., 2013. – 284 s. 9. *Phillips-Wren G.* Intelligent decision making Studies in Computational Intelligence // *G. Phillips-Wren, N. Ichalkaranje.* – 2008. – Vol. 97. – 424 p. 10. *Power D.J.* Decision Support Systems: Concepts and Resources for Managers / *D.G. Power.* – Praeger, 2002. – 272 p. 11. *Srivastava R.P.* An Introduction to Evidential Reasoning for Decision Making under Uncertainty: Bayesian and Belief Functions Perspectives / *R.P. Srivastava* // International Journal of Accounting Information Systems. – 2010. – Vol. 12. – P. 126-135. 12. *Liu X.-B.* Evidential Reasoning Approach for MADA under Group and Fuzzy Decision Environment / *X.-B. Liu, Mi Zhou, J.-B. Yang* // Advances in Intelligent Decision Technologies Smart Innovation, Systems and Technologies. – 2010. – Vol. 4. – P. 209-214. 13. *Yang J.B.* The evidential reasoning approach for MADA under both probabilistic and fuzzy uncertainties / *J.B. Yang, Y.M. Wang, D.L. Xu, K.S. Chin* // European Journal of Operational Research. – 2006. – Vol. 171. – P. 309-343. 14. *Skarga-Bandurova I.* Belief Structure and Its Application to Critical Infrastructure Management / *I. Skarga-Bandurova* // XXIII Int. Conf. Problems of Decision Making Under Uncertainties (PDMU-2014). – K.: Taras Shevchenko National Univ. of Kyiv, 2014. – P. 41. 15. *Inoue K.* Discovering rules by meta-level abduction / *K. Inoue, K. Furukawa, I. Kobayashi, H. Nabeshima* // 19th International Conference, ILP 2009 Leuven, Belgium, July 02-04, 2009 Revised Papers. – 2009. – P. 49-64. 16. *Ljuser D.F.* Isskustvennyj intellekt: Strategii i metody reshenija slozhnyh problem. 4-e izd. / *D.F. Ljuser.* – M.: Izd. dom "Vil'jams", 2003. – 864 s. 17. *Eshghi K.* A tractable class of abductive problems / *K. Eshghi* // In Proc. IJCAI'93. – 1993. – Vol. 1. – P. 3-8. 18. *Stickel M.E.* Upside-down meta-interpretation of the model elimination theorem-proving procedure for deduction and abduction / *M.E. Stickel* // Journal of Automated Reasoning. – 1994. – 13 (2). – P. 189-210. 19. Inductive logic programming: 19th International Conference, ILP 2009 / *L. De Raedt* (Ed.). – Belgium: Springer. – 2010. – 257 p. 20. *Tamaddoni-Nezhad A.* Application of abductive ILP to learning metabolic network inhibition from temporal data / *A. Tamaddoni-Nezhad, R. Chaleil, A. Kakas, S. Muggleton* // Machine Learning. – 2006. – Vol. 65. – P. 209-230. 21. *Konvers'kij A.C.* Logika: pidruchn. dlja studentiv juridichn. fakul't / *A.C. Konvers'kij.* – K.: Centr navch. literat., 2004. – 304 s. 22. *Dempster A.P.* Upper and lower probabilities induced by a multi-valued mapping // Ann. Math. Stat. – 1967. – Vol. 38. – P. 325-339. 23. *Shafer G.* A Mathematical Theory of Evidence / *G. Shafer.* – Princeton University Press, Princeton, 1976. – 314 p. 24. *Kovalenko I.I.* Metody jekspertnogo ocenivanja scenarijev: ucheb. posobie / *I.I. Kovalenko, A.V. Shved.* – Mikolaiv: ChDU im. P. Mogili, 2012. – 156 s. 25. *Dubois D.* Representation and combination uncertainty with belief functions and possibility measures / *D. Dubois, H. Prade* // Computation Intelligence. – 1988. – Vol. 4. – P. 244-264. 26. *Lefevre E.* Belief functions combination and conflict management / *E. Lefevre, O. Colot, P. Vannoorenbergh* // Information Fusion. – 2002. – Vol. 3 (2). – P. 149-162. 27. *Murphy C.* Combining belief functions when evidence conflicts / *C. Murphy* // Decision support systems. – 2000. – Vol. 29. – P. 1-9. 28. *Smets P.* The transferable belief model / *P. Smets, R. Kennes* // Pattern analysis and Machine Intelligence. – 1994. – Vol. 66 (2). – 191-234.

Статтю представив д-р техн. наук, проф., зав. каф. комп'ютерної інженерії Технологічного інституту СХУ ім. Даля Рязнцев О.І.

Надійшла (received) 04.07.2014

Skarga-Bandurova Inna, PhD, Associated Professor
Technological Institute of East Ukrainian National University named after Volodymyr Dahl
Radyansky ave., 59-a, Siverodonetsk, Luhansk region, Ukraine, 93400
tel./phone: (064) 522-89-97, e-mail: skarga_bandurova@ukr.net
ORCID ID: 0000-0003-3458-8730