5. Конюхова, Е. А. Выбор мощности батарей конденсаторов в цеховых сетях промышленных предприятий с учетом режимов напряжения [Текст] / Е. А. Конюхова // Электричество. – 1998. – № 1. – С. 18–25.
6. Гуревич, Ю. Е. Устойчивость нагрузки электрических систем [Текст] / Ю. Е. Гуревич, Л. Е. Либова, Э. А. Хачатрян. – М.: Энергоиздат, 1981. – 209 с.
7. Тужик, С. К. К эквивалентированию асинхронной нагрузки [Текст] / С. К. Тужик // Электромеханика. – 1968. – № 10. – С. 1105–1108.
8. Abdel-Hakim, M. M. Dynamic single-unit representation of induction motor groups [Text] / M. M. Abdel-Hakim, G.J. Berg // IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems. – 1976. – Vol. 95, Issue 1. – P. 155–165. doi: 10.1109/t-pas.1976.32088
9. Костерев, Н. В. Оценивание параметров асинхронной машины [Текст] / Н. В. Костерев, П. Л. Денисюк. – Моделирование и расчет на ЦВМ режимов энергетических систем. – К.: Наукова думка, 1977. – С. 66–75.
10. Сивокобыленко, В. Ф. Переходные процессы в системах электроснабжения собственных нужд электростанций [Текст] / В. Ф. Сивокобыленко, В. К. Лебедев. – Донецк: РВА ДонНТУ, 2002. – 136 с.
11. Мощинский, Ю. А. Определение параметров схемы замещения асинхронной машины по каталожным данным [Текст] / Ю. А. Мощинский, В. Я. Беспалов, А. А. Кирякин // Электричество. – 1998. – № 4. – С. 38–42.
12. Lehtla, T. Parameter identification of an induction motor using fuzzy logic controller [Text] / T. Lethla // PEMC '96, Budapest. – 1996. – Part 3. – P. 292–296.
13. Bilski, P. Identification of induction machine parameters using support vector machines [Text] / P. Bilski. – XX IMEKO World Congress Metrology for Green Growth. – Busan, 2012.
14. Marku, M. Computer simulation of real time identification for induction motor drives [Text] / M. Marku, I. Utu, L. Pana, M. Orban // ICTAMI Proceedings of the International Conference on Theory and Applications of Mathematics and Informatics. – Thessaloniki, 2004. – P. 295–305.
15. Гладков, Л. А. Биоинспирированные методы в оптимизации [Текст] / Л. А. Гладков, В. В. Курейчик, В. М. Курейчик. – М.: Физматлит, 2009. – 384 с.
16. Balas, E. Finding large cliques in arbitrary graphs by bipartite matching. Cliques, coloring, and satisfiability [Text] / E. Balash, W. Niehaus // DIMACS Discrete Mathematical Theoretical Computer Science. – 1996. – Vol. 26. – P. 29–49.
17. Тэрано, Т. Прикладные нечеткие системы [Текст] / Т. Тэрано, К. Асаи, М. Сугено. – М.: Мир, 1993. – 368 с.

УДК 004.023:519.816
DOI: 10.15587/1729-4061.2015.36699

МЕТОДИ ВРАХУВАННЯ СУБ'ЄКТИВНОГО ХАРАКТЕРУ ВХІДНИХ ДАНИХ ДЛЯ ЗАДАЧІ ГОЛОСУВАННЯ

О. Ю. Мулеса
Кандидат технічних наук, доцент кафедри
Кафедра кібернетики і прикладної математики
Державний вищий навчальний заклад
"Ужгородський національний університет"
пл. Народна, 3, м. Ужгород, Україна, 88000
E-mail: mulesa.oksana@gmail.com

Запропоновано правила знаходження колективного порядку в нечіткій задачі вибору, які враховують нечіткі оцінки виборців. Наведено евристики для попередньої обробки вхідних даних нечіткої задачі голосування, які дозволяють враховувати такі суб'єктивні характеристики виборців як нігілізм та надмірний оптимізм, а також виявляти виборців, які не мають чітких переваг на множині кандидатів

Ключові слова: нечітка задача голосування, евристика, колективний порядок, суб'єктивні характеристики виборців

Предложены правила нахождения коллективного порядка в нечеткой задачи выбора, учитывающие нечеткие оценки избирателей. Приведены эвристики для предварительной обработки входных данных нечеткой задачи голосования, которые позволяют учитывать такие субъективные характеристики избирателей как нигилизм и чрезмерный оптимизм, а также выявлять избирателей, не имеющих четких предпочтений на множестве кандидатов

Ключевые слова: нечеткая задача голосования, эвристика, коллективный порядок, субъективные характеристики избирателей

1. Вступ

Голосування – один із способів врахування колективної думки. Демократичний характер нашого суспільства передбачає прийняття особливо важливих рішень із застосуванням механізму голосування. Відомо багато класичних методів отримання колективної оцінки та їх модифікацій, які мають свої особливості та застосовуються в різних початкових умовах. В теорії прийняття рішень описано ряд парадоксів та недосконалість тих чи інших методів голосування.

В свою чергу, суб'єктивний характер вхідних даних у задачі голосування передбачає можливість застосування апарату теорії нечітких множин до визначення колективної думки та «об'єктивізації» суб'єктивних оцінок виборців.

2. Аналіз літературних даних та постановка проблеми

Задача голосування належить до задач теорії прийняття рішень і досліджується вченими вже на протязі багатьох століть. В роботах [1, 2] проведено аналіз задачі голосування та основних методів її розв'язання. Фундаментальними в теорії голосування є аксіоми голосування, теорема Янга про властивості правил голосування з підрахунком очок, теорема Ерроу про неможливість «колективного вибору» тощо [1, 2]. Серед основних методів голосування можна виділити метод відносної більшості, правило Кондорсе, Борда, Компленда, Сімпсона [1]. Згадані методи базуються на різних підходах аналізу індивідуальних переваг виборців і, в загальному, передбачають можливість отримання різних результатів при розв'язуванні однієї і тої ж задачі.

Аналіз методів голосування та їх застосування для різних практичних задач показали, що часто виникають випадки, коли при використанні того чи іншого методу переможцем в задачі голосування стає кандидат, який посідає останнє місце в індивідуальних перевагах більшості виборців, або випадки, в яких на результати голосування мають вирішальний вплив переваги виборців, які голосують «проти всіх». Таким чином, виникає необхідність розробки методів розв'язання задачі голосування, які б дозволили враховувати не тільки індивідуальні переваги виборців, а й такі їх суб'єктивні характеристики як негативізм чи надмірний оптимізм.

В роботах [3, 4] проведено аналіз задач прийняття рішень, серед яких і задача голосування, сформульовано вимоги яким мають відповідати розроблювані методи їх розв'язання.

Суб'єктивний характер вхідних даних у задачі голосування можливо врахувати застосувавши теорію нечітких множин. В роботі [5] проведено аналіз моделей та методів прийняття рішень при нечітких вхідних даних. Методи побудови функцій належності нечітких множин та основи теорії нечітких множин наведені в роботах [6–9].

3. Мета та задачі дослідження

Мета дослідження полягає у підвищення ефективності процесу прийняття рішень, пов'язаних з розв'язанням задачі голосування шляхом розробки евристичних правил голосування з урахуванням нечітких оцінок виборців.

Для досягнення зазначеної мети було поставлено такі задачі:

– провести аналіз існуючих методів голосування та встановити можливість врахування деяких суб'єктивних характеристик виборців при їх застосуванні;

– побудувати математичну модель нечіткої задачі голосування;

– розробити евристичні правила для розв'язання нечіткої задачі голосування, застосування яких дозволило б врахувати такі суб'єктивні характеристики виборців як нігілізм, надмірний оптимізм та інші;

– здійснити експериментальну верифікацію розроблених методів розв'язання нечіткої задачі голосування.

4. Постановка задачі голосування та деякі методи її розв'язування

Розглянемо загальну задачу голосування [1, 2]. Нехай дано множину кандидатів $C = \{C_1, C_2, \ldots, C_M\}$ та множину виборців $V = \{V_1, V_2, \ldots V_N\}$. Кожен виборець задає індивідуальну перевагу на множині кандидатів у вигляді строгого ранжування, тобто задає лінійний порядок. Систему всіх індивідуальних переваг називають профілем голосування. Необхідно визначити найкращого в деякому смислі кандидата або ж колективний порядок.

В такій постановці задача голосування може бути розв'язана відповідно до одного з наступних правил [1, 2]:

Правило відносної більшості. Відповідно до правила відносної більшості перемагає той кандидат, який набрав найбільшу кількість голосів, тобто який посів перше місце в індивідуальних перевагах найбільшої кількості виборців. Як відомо, хоча і формально застосування такого підходу дозволяє врахувати волю більшості, проте в деяких випадках воно приводить до обрання кандидата, який при парному порівнянні програє буд-якому іншому кандидату з множини C.

Правило відносної більшості з вибуванням забезпечує виграш кандидату, який набрав абсолютну більшість голосів, тобто кандидату, який є на першому місці в індивідуальних перевагах абсолютної більшості виборців. У випадку, коли з початкових умов переможця встановити неможливо, відповідно до даного правила проводиться другий тур, в якому виборцям пропонується здійснити вибір з двох «кращих» кандидатів, які набрали найбільшу кількість голосів в початковій задачі.

Правило Борда. У цьому випадку переможця визначають шляхом підрахунку очок таким чином: за останнє місце в індивідуальній перевазі виборця кандидату нараховують 0 очок, за передостаннє – 1, і так далі. Відповідно, за перше місце кандидат отримує $M-1$ бал. Переможцем визнається той кандидат, який в сумі отримав найбільшу кількість балів.

Правило Кондорсе. За Кондорсе переможцем є той кандидат, що перемагає всіх інших у парних порівняннях. Можливі випадки, коли переможця таким чином встановити неможливо.

Існує ще багато інших методів голосування [1–3]. Деякі з них враховують тільки те, кого виборець вважає найкращим кандидатом, інші беруть до уваги індивідуальну перевагу виборця на всій множині кандидатів. Проте, в деяких задачах голосування важливим є не тільки врахування індивідуального ранжування виборця, а й таких факторів як ставлення виборця до голосування загалом, здатність виборця виявити кращого на його думку кандидата тощо. Суб'єктивність таких факторів можна успішно використати шляхом введення нечітких оцінок кандидатів та їх врахування [10].

5. Нечітка задача голосування

Нехай дано множину кандидатів $C=\{C_1,C_2,\ldots,C_M\}$ та множину виборців $V=\{V_1,V_2,\ldots V_N\}$. Кожен виборець на множині кандидатів будує власну нечітку множину «Переможець» такого виду [5–9]:

$$B_i=\left\{\left(C_j,\mu_i\left(C_j\right)\right)\mid C_j\in C,\mu_i\left(C_j\right)\in[0;1]\right\},$$

де $\mu_i\left(C_j\right)$ – ступінь належності кандидата C_j до множини «Переможець» на думку виборця V_i ($i=\overline{1,N}$, $j=\overline{1,M}$).

Необхідно, визначити «колективного» переможця.

Позначимо $\mu_{ij}=\mu_i\left(C_j\right)$, тоді результати голосування можна представити матрицею $M=\left(\mu_{ij}\right)$.

Відповідно до характеру отриманих нечітких оцінок та особливостей задачі голосування на попередньому етапі обробки вхідних даних можливим є застосування таких евристик.

Евристика 1 (відсіювання «поганих» кандидатів). Дуже часто, при аналізі реальних задач голосування, можна відмітити випадки, коли серед кандидатів є такі, перемога яких є неприпустимою для великої кількості виборців. Проте, їх присутність в початковій задачі значно впливає на кінцевий результат голосування.

Введемо функцію:

$$W_i\left(C_j\right)=\begin{cases}0,\text{якщо } \mu_{ij}>\underline{\mu},\\ 1,\text{ в протилежному випадку,}\end{cases}$$

де $\underline{\mu}$ – попередньо заданий нижній поріг функції належності.

Тоді, здійснюємо послідовне відсіювання кандидатів за таким правилом:

$$C:=C\setminus\left\{C_j\right\},\ \forall j=\overline{1,N}:\ \sum_{i=1}^{N}W_i\left(C_j\right)\geq K,$$

де K – деяка фіксована кількість виборців.

Таким чином, з початкової множини кандидатів будуть відсіяні ті, значення функції належності для яких менше, ніж заданий поріг $\underline{\mu}$ принаймні для K виборців.

У випадку, якщо з початкової множини будуть відсіяні всі кандидати, то початкова задача є виродженою і потребує або зміни множини кандидатів, або збільшення інформації про них для виборців.

Евристика 2 (відсіювання виборців-»нігілістів»). В будь-якому колективі чи суспільстві загалом при проведенні процедури виборів часто зустрічаються виборці, які або не цікавляться проблемою, яку потрібно вирішити голосуванням, або загалом негативно відносяться до всіх кандидатів. Задаючи свою індивідуальну перевагу вони здійснюють вибір «кращого з гірших». Часто виникають випадки, коли думки таких виборців є вирішальними. Для того, щоб цього уникнути здійснюємо такий відсів виборців:

$$V:=V\setminus\left\{V_i\right\},\ \forall i=\overline{1,N}:\ \forall j=\overline{1,M}\ \ \mu_{ij}\leq\underline{\mu},$$

де $\underline{\mu}$ – заданий нижній поріг функції належності.

Евристика 3 (відсіювання виборців-«оптимістів»). Протилежним до попередньо описаного випадку є випадок існування виборців, які однаково позитивно оцінюють всіх кандидатів. Це може свідчити як і про те, що множина кандидатів добре сформована і всі вони є рівнозначними, так і про те, що виборець не може самостійно здійснити вибір кращого кандидата. В такому випадку, можливим є відсів виборців за наступним правилом:

$$V:=V\setminus\left\{V_i\right\},\ \forall i=\overline{1,N}:\ \forall j=\overline{1,M}\ \ \mu_{ij}\geq\overline{\mu},$$

де $\overline{\mu}$ – заданий верхній поріг функції належності.

Евристика 4 (відсіювання виборців, які не мають чітко виражених переваг). Дана евристика є узагальненням двох попередніх і має використовуватися дуже обережно для того, щоб не втратити важливі дані. Проте, часто виникають випадки, коли у виборець не може виділити кандидата чи групу кандидатів за перевагою і присвоює їм всім близькі між собою значення функції належності. Тоді, можливо здійснити відсіювання такого виборця за правилом:

$$V:=V\setminus\left\{V_i\right\},\ \forall i=\overline{1,N}:\ \max_{j=\overline{1,M}}\mu_{ij}-\min_{j=\overline{1,M}}\mu_{ij}<\varepsilon,$$

де $\varepsilon>0$ – задане значення розмаху нечітких оцінок.

Евристика 5 (узагальнення оцінок виборців, які не мають чітко виражених переваг). У випадку, коли застосування Евристики 4 є неможливим, через недоцільність відсіювання виборців, для виборців, які подали «близькі» оцінки кандидатів пропонується узагальнити такі оцінки:

$$\forall i=\overline{1,N}:\ \max_{j=\overline{1,M}}\mu_{ij}-\min_{j=\overline{1,M}}\mu_{ij}<\varepsilon,\ \mu_{ij}:=\frac{\sum_{j=1}^{M}\mu_{ij}}{M},\ j=\overline{1,M}.$$

Внаслідок застосування однієї чи декількох описаних вище евристик може виникнути випадок, в якому множина кандидатів чи множина виборців стануть порожніми або одноелементними. Тоді доцільним є повернення до початкової задачі або уточнення вхідних даних у виборців.

6. Методи визначення результатів голосування

Нехай після попередньої обробки вхідних даних нечіткої задачі голосування ми маємо нечіткі оцінки кандидатів у матриці $M=\left(\mu_{ij}\right)_{i=\overline{1,N},j=\overline{1,M}}$. Тоді, для визначення переможця або ж встановлення колективного порядку можливим є застосування одного з таких правил:

Правило 1. Переможець обирається аналогічно до правила відносної більшості. Для цього, спочатку здійснюємо перетворення значень функції належності

$$\mu_{ij} := \frac{\mu_{ij}}{\max\limits_{j=\overline{1,M}} \mu_{ij}},$$

та для кожного кандидата обчислюємо його результуючу оцінку:

$$c_j = \sum_{\substack{i=\overline{1,N},\\ \mu_{ij}=1}} \mu_{ij}, \ (\ j=\overline{1,M}\ ).$$

Кандидат, оцінка c_j якого є найбільшою і є переможцем.

Аналогічно до правила відносної більшості з вибуванням, можливим є проведення другого туру у випадку, якщо $\forall j \in \{1,2,...,M\} \ \ c_j \le M/2$.

Правило 2. Здійснюємо підрахунок балів, аналогічно до правила Борда у чіткому випадку:

$$c_j = \sum_{i=1}^{N} \mu_{ij}, \ (\ j=\overline{1,M}\ ).$$

Кандидат, сумарний бал якого є найбільшим серед інших і стає переможцем.

Правило 3. У випадку, коли потрібно врахувати як симпатії так і антипатії виборців можливим є такий підрахунок балів для кандидатів. Обчислимо допоміжні оцінки таким чином:

$$\alpha_{ij} = \begin{cases} 1, \text{ якщо } \mu_{ij} \ge \overline{\Delta}, \\ 0, \text{ в протилежному випадку;} \end{cases}$$

$$\beta_{ij} = \begin{cases} 1, \text{ якщо } \mu_{ij} \le \underline{\Delta}, \\ 0, \text{ в протилежному випадку;} \end{cases}$$

де $\overline{\Delta}$ та $\underline{\Delta}$ ($\overline{\Delta} \ge \underline{\Delta}$) – відповідно задані граничні значення нечітких оцінок.

Тоді, результуюча оцінка для кожного виборця буде обчислюватися так:

$$c_j = \sum_{i=1}^{N} \alpha_{ij} - \sum_{i=1}^{N} \beta_{ij}, \ (\ j=\overline{1,M}\ ).$$

Правило 4. У більш загальному випадку, врахування переваг виборців може бути здійснене таким чином:

$$c_j = \sum_{\substack{i=\overline{1,N},\\ \mu_{ij}\ge\overline{\Delta}}} \mu_{ij} - \sum_{\substack{i=\overline{1,N},\\ \mu_{ij}\le\underline{\Delta}}} \left(\underline{\Delta} - \mu_{ij}\right), \ (\ j=\overline{1,M}\ ),$$

де $\overline{\Delta}$ та $\underline{\Delta}$ такі ж, як і в попередньому випадку.

Таким чином, алгоритм визначення колективного порядку в нечіткій задачі голосування може бути представлений як послідовність таких кроків:

1. Формування множини кандидатів та множини виборців.

2. Побудова кандидатами власних нечітких множин «Переможець»

3. Вибір та застосування однієї чи декількох Евристик для врахування суб'єктивності оцінок виборців.

4. Вибір та послідовне застосування одного з Правил для визначення колективного порядку в задачі голосування.

7. Приклади застосування евристик

1. Нехай дано множину виборців $V = \{V_i\}$, $i = \overline{1,10}$ та множину кандидатів $C = \{C_j\}$, $j = \overline{1,3}$. Результати голосування, тобто значення функцій належності побудованих виборцями нечітких множин подані в табл. 1:

Таблиця 1

Результати голосування

V	C_1	C_2	C_3
V_1	0.80	0.70	0.60
V_2	0.10	0.20	0.15
V_3	0.10	0.60	0.90
V_4	0.30	0.10	0.80
V_5	0.05	0.10	0.04
V_6	0.30	0.50	0.40
V_7	0.90	0.70	0.10
V_8	0.10	0.20	0.10
V_9	0.50	0.90	0.80
V_{10}	0.40	0.80	0.90

Необхідно визначити переможця.

В чіткому варіанті профіль голосування показаний в табл. 2.

Таблиця 2

Профіль голосування (приклад 1)

4	2	2	1	1
C_2	C_1	C_3	C_3	C_2
C_3	C_2	C_2	C_1	C_1
C_1	C_3	C_1	C_2	C_3

За правилом відносної більшості підрахуємо кількість виборців, які надали перевагу кожному кандидату: $n_{C_1} = 2$, $n_{C_2} = 5$, $n_{C_3} = 3$. Таким чином, переможцем є кандидат C_2. Аналогічний результат можна отримати застосувавши і правило відносної більшості з вибуванням.

Результати підрахунку очок за правилом Борда є такими: кандидат C_1 отримує 6 балів, C_2 – 14, C_3 – 10. Таким чином, переможцем також є кандидат C_2.

Розглянемо результати голосування, наведені в табл. 1. Застосуємо Евристику 2, поклавши $\underline{\mu} = 0.3$. Тоді, результати голосування виборців V_2 з нечіткою множиною $B_2 = \{(C_1,0.10),(C_2,0.20),(C_3,0.15)\}$, V_5 з нечіткою множиною $B_5 = \{(C_1,0.05),(C_2,0.10),(C_3,0.04)\}$ та V_8 з нечіткою множиною $B_2 = \{(C_1,0.10),(C_2,0.20),(C_3,0.15)\}$ будуть відсіяні, а матриця M стане такою:

$$M = \begin{pmatrix} 0.80 & 0.70 & 0.60 \\ 0.10 & 0.60 & 0.90 \\ 0.30 & 0.10 & 0.80 \\ 0.30 & 0.50 & 0.40 \\ 0.90 & 0.70 & 0.10 \\ 0.50 & 0.90 & 0.80 \\ 0.40 & 0.80 & 0.90 \end{pmatrix}.$$

Визначимо результати голосування за запропонованими правилами.

Правило 1: $c_1 = 2$, $c_2 = 2$, $c_3 = 3$. Отже, переможцем є кандидат C_3.

Правило 2: $c_1 = 3.3$, $c_2 = 4.3$, $c_3 = 4.5$. Таким чином, переможцем також є кандидат C_3.

2. Нехай дано множину виборців $V = \{V_i\}$, $i = \overline{1,11}$ та множину кандидатів $C = \{C_j\}$, $j = \overline{1,4}$. Результати голосування представлені в матриці

$$M = \begin{pmatrix} 0.9 & 0.8 & 0.7 & 0.1 \\ 0.8 & 0.4 & 0.3 & 0.1 \\ 0.6 & 0.5 & 0.4 & 0.2 \\ 0.8 & 0.7 & 0.6 & 0.5 \\ 0.7 & 0.6 & 0.2 & 0.1 \\ 0.2 & 0.7 & 0.5 & 0.4 \\ 0.1 & 0.9 & 0.8 & 0.5 \\ 0.1 & 0.6 & 0.4 & 0.3 \\ 0.2 & 0.5 & 0.8 & 0.7 \\ 0.1 & 0.3 & 0.9 & 0.8 \\ 0.2 & 0.4 & 0.5 & 0.6 \end{pmatrix}.$$

В чіткому випадку профіль голосування показаний в табл. 3:

Таблиця 3

Профіль голосування (приклад 2)

5	3	2	1
C_1	C_2	C_3	C_4
C_2	C_3	C_4	C_2
C_3	C_4	C_2	C_3
C_4	C_1	C_1	C_1

За правилом відносної більшості переможцем є кандидат C_1, за якого віддали голоси 5-и виборців. Але, як видно з профілю цей кандидат в індивідуальних ранжуваннях є «найгіршим» для 6-и виборців.

Застосуємо в цьому випадку Евристику 1 при $\mu = 0.3$ та $K = 6$. В результаті цього, кандидат C_1 буде відсіяний. Тоді, відповідно до Правила 1, яке є аналогом правила відносної більшості, переможцем голосування буде кандидат C_2.

8. Висновки

В роботі досліджено задачу голосування. Проведено аналіз таких методів голосування як метод відносної більшості, Кондорсе та Борда і показано, що вони базуються на аналізі індивідуальних переваг виборців та не враховують таких суб'єктивних факторів як здатність виборця виявити кращого для нього кандидата, оптимізм чи негативізм виборця тощо.

Побудована математична модель нечіткої задачі голосування, в якій індивідуальні переваги виборців задаються не тільки у формі строгого ранжування кандидатів, а й у виді нечіткої множини виборця на множині кандидатів, функція належності якої характеризує близькість кандидата до перемоги.

Запропоновано евристики для попереднього аналізу вхідних даних в нечіткій задачі голосування, використання яких дозволяє відсіювати кандидатів, які є найгіршими для великої кількості виборців, а також виключити з розгляду ранжування тих виборців, для яких характерний крайній нігілізм та надмірний оптимізм.

Розроблено правила визначення колективного порядку в нечіткій задачі голосування, аналогічні до відомих правил в чіткому випадку, які враховують задані виборцями нечіткі оцінки, їх симпатії та антипатії на множині кандидатів. Евристики та правила можуть бути застосовані у випадку, коли є можливість отримання необхідних початкових даних, тобто нечітких оцінок виборців на множині кандидатів.

В практичній частині проведено експериментальну верифікацію отриманих результатів та продемонстровано деякі випадки, в яких доцільним є застосування розроблених евристик та правил.

Література

1. Мулен, Э. Кооперативное принятие решений: Аксиомы и модели [Текст] / Э. Мулен. – М.: Мир, 1991. – 464 с.
2. Волошин, О. Ф. Теорія прийняття рішень: навч. посібн. [Текст] / О. Ф. Волошин, С. О. Мащенко. – К.: Видавничо-поліграфічний центр «Київський університет», 2010. – 366 с.
3. Ларичев, О. И. Объективные модели и субъективные решения [Текст] / О. И. Ларичев – М.: Наука, 1987. – 143 с.
4. Тоценко, В. Г. Методы и системы поддержки принятия решений. Алгоритмический аспект [Текст] / В. Г. Тоценко. – К.: Наук. думка, 2002. – 382 с.
5. Орловский, С. А. Проблемы принятия решений при нечеткой исходной информации [Текст] / С. А. Орловский. – М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1981. – 208 с.
6. Штовба, С. Д. Введение в теорию нечетких множеств и нечеткую логику [Електронний ресурс] / С. Д. Штовба. – Режим доступу: http://matlab.exponenta.ru/fuzzylogic/book1/index.php/
7. Saaty, T. L. Measuring the fuzziness of sets [Text] / T. L. Saaty // Journal of Cybernetics. - 1974. - Vol. 4, Issue 4. – P. 53-61. doi: 10.1080/01969727408546075

8. Yager, R. Essentials of Fuzzy Model and Control [Text] / R. Yager, D. Filev. – USA: John Wiley & Sons, 1984. – 387 p.
9. Zadeh, L. A. From Circuit Theory to System Theory [Text] / L. A. Zadeh // Proceedings of the IRE. – 1962. – Vol. 50, Issue 5. – P. 856–865. doi: 10.1109/jrproc.1962.288302
10. Маляр, М. Схема паралельно-послідовного відсіву варіантів для задачі вибору [Текст] / М. Маляр, О. Швалагін // Східно-Європейський журнал передових технологій. – 2011. – Т. 1, № 4(49). – С. 39–42. – Режим доступу : http://journals.uran.ua/eejet/article/view/1911/1806

УДК 681.5.015:007
DOI: 10.15587/1729-4061.2015.36934

ПОБУДОВА КЛАСИФІКАЦІЙНОЇ НЕЧІТКОЇ БАЗИ ЗНАНЬ НА ОСНОВІ ТРЕНДОВИХ ПРАВИЛ І ОБЕРНЕНОГО ВИВЕДЕННЯ

Г. Б. Ракитянська
Кандидат технічних наук, доцент
Кафедра програмного забезпечення
Вінницький національний технічний університет
Хмельницьке шосе, 95, м. Вінниця, Україна, 21021
E-mail: h_rakit@ukr.net

Запропоновано метод побудови класифікаційних нечітких баз знань, в яких носієм експертної інформації є трендові правила «причини – наслідки». Показано, що класифікаційні нечіткі правила, які з'єднують міри значимостей причин і наслідків за допомогою нечітких квантифікаторів, представляють множину розв'язків системи нечітких логічних рівнянь для заданих класів виходу

Ключові слова: нечіткі відношення, обернене логічне виведення, розв'язання систем нечітких логічних рівнянь

Предложен метод построения классификационных нечетких баз знаний, в которых носителем экспертной информации являются трендовые правила «причины – следствия». Показано, что классификационные нечеткие правила, которые связывают меры значимостей причин и следствий с помощью нечетких квантификаторов, представляют множество решений системы нечетких логических уравнений для заданных классов выхода

Ключевые слова: нечеткие отношения, обратный логический вывод, решение систем нечетких логических уравнений

1. Вступ

Побудова класифікаційних нечітких правил ЯКЩО-ТО полягає у визначенні значень входів, які відповідають заданому класу виходу [1, 2]. На практиці експерту для заданої частини ТО необхідно підібрати частину ЯКЩО. Ця задача відноситься до класу обернених [3] і полягає у відновленні значень вхідних змінних, які найкращим чином пояснюють спостереження [4].

Зручним інструментом формалізації експертної інформації при моделюванні причинно-наслідкових зв'язків є композиційне правило виведення Заде [5], яке зв'язує вхідні і вихідні змінні об'єкта (причини і наслідки) за допомогою матриці нечітких відношень. Задача відновлення входів (причин) формулюється у вигляді оберненого нечіткого логічного виведення і потребує розв'язання системи нечітких логічних рівнянь. Аналітичні [6, 7] і чисельні [8–10] методи розв'язання нечітких логічних рівнянь з *max-min* композицією досліджуються протягом багатьох років. Не дивлячись на те, що теоретичні основи нечітких логічних рівнянь є добре розвинутими, такі рівняння потребують більш ефективного використання їх потенціалу для моделювання систем.

2. Аналіз літературних даних і постановка проблеми

Традиційно задача побудови нечіткої бази знань вирішується у два етапи. На першому етапі генеруються абдуктивні гіпотези [11, 12]. На другому етапі здійснюється селекція правил, в основі якої лежить поняття подібності [13]. Метою селекції є пониження складності системи шляхом видалення неефективних і надлишкових правил і підвищення точності виведення шляхом вибору альтернативних правил. На сьогодні немає єдиного методичного стандарту для налаштування структури правил. Сучасні генетичні системи здійснюють селекцію за допомогою мір оцінювання, які визначають ступінь значущості правил-кандидатів у покритті навчальної вибірки та виникненні помилок класифікації. Міри подібності та зв'язаності [14, 15] або вагові коефіцієнти [16, 17] використовуються для генерування правил-кандидатів, злиття або відбору альтернативних правил. Багатоцільові генетичні алгоритми використовують ці критерії для побудови функції відповідності з метою автоматичного проектування точних і компактних баз правил.

В цій статті пропонується підхід до генерування правил на основі формалізації причинно-наслідкових зв'язків у термінах рівнянь нечітких відношень [6, 7].