

ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА

УДК 681.3; 628.515

С.С. Бучик, к.т.н.

А.О. Володько, курсант

В.В. Пресняков, к.військ.н., доц.

Житомирський військовий інститут радіоелектроніки ім. С.П. Корольова

АЛГОРИТМ ОРГАНОЛЕПТИЧНОГО ВИЗНАЧЕННЯ СМАКУ
ТА ЗАПАХУ ПРИРОДНОЇ ВОДИ МЕТОДОМ МНОЖИН РІВНЯ

Розглянуто алгоритм органолептичного визначення смаку та запаху природної води методом множин рівня, який дозволить вирішити проблему санітарного спостереження за станом водоїм та їх моніторингу, своєчасного здійснення заходів щодо очищення води для питних та господарчих цілей.

Вступ. Мабуть, найбільш вражаючою властивістю людського інтелекту є здатність приймати правильні рішення в умовах неповної і нечіткої інформації. Побудова моделей наближених роздумів людини і використання їх у комп'ютерних системах представляє сьогодні одну з найважливіших проблем науки.

У світі розвиток нечіткої логіки йде шляхом створення систем, що потрібні великому бізнесу і військовим. Нечітка логіка застосовується при аналізі нових ринків, біржовій грі, оцінці політичних рейтингів, виборі оптимальної цінової стратегії і т.п. З'явилися і комерційні системи масового застосування [1].

Основи нечіткої логіки були закладені наприкінці 60-х років у працях відомого американського математика Л.Заде. Соціальне замовлення на дослідження подібного роду було викликано зростаючим незадоволенням експертними системами. Хвалений "штучний інтелект", що легко справлявся із задачами керування складними технічними комплексами, був безпорадним при найпростіших висловленнях повсякденного життя, типу: "Якщо машиною перед тобою керує недосвідчений водій – тримайся від неї подалі". Для створення дійсно інтелектуальних систем, здатних адекватно взаємодіяти з людиною, необхідний був новий математичний апарат, що переводить нечіткі і неоднозначні життєві твердження в мову чітких і формальних математичних формул [4].

Першим серйозним кроком у цьому напрямку з'явилася теорія нечітких множин, розроблена Л.Заде. Його робота "Fuzzy Sets", що з'явилася в 1965 році в журналі "Information and Control", заклала основи моделювання інтелектуальної діяльності людини і з'явилася початковим поштовхом до розвитку нової математичної теорії. Він же дав і назву для нової області науки – "fuzzy logic" (*fuzzy* – нечіткий, розмитий, м'який).

Нехай E – універсальна множина, x – елемент E , а R – певна властивість. Звичайна (чітка) підмножина A універсальної множини E , елементи якої задовольняють властивості R , визначається як множина впорядкованої пари $A = \{mA(x)/x\}$, де $mA(x)$ – характеристична функція, що приймає значення 1, якщо x задовольняє властивості R , і 0 – в іншому випадку.

Нечітка підмножина відрізняється від звичайної тим, що для елементів x з E немає однозначної відповіді "ні" відносно властивості R . У зв'язку з цим нечітка підмножина A універсальної множини E визначається як множина впорядкованої пари $A = \{mA(x)/x\}$, де $mA(x)$ – характеристична функція приналежності (або просто функція приналежності), що приймає значення в деякій впорядкованій множині M (наприклад, $M = [0,1]$) [2].

Функція приналежності вказує ступінь (або рівень) приналежності елемента x до підмножини A . Множину M називають множиною належностей. Якщо $M = \{0,1\}$, тоді нечітка підмножина A може розглядатися як звичайна або чітка множина [1].

Нечітку логіку можливо застосувати також у сфері екології.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. В залежності від ступеня забрудненості водні об'єкти бувають допустимого, помірного, високого та надвисокого рівнів забрудненості.

Градація водних об'єктів здійснюється, виходячи з оціночних показників якості води, котрі будуть розглянуті пізніше.

В залежності від мети водокористування джерела водопостачання поділяються на 2 категорії:

1 категорія – джерела для питного і господарсько-побутового використання;

2 категорія – джерела для культурно-побутових потреб, а також ті, котрі знаходяться в населених пунктах.

Навкруги водозабору або іншого джерела водопостачання обладнуються зони

санітарної охорони, в котрих встановлюється особливий режим охорони вод від зараження хімічними речовинами і стічними водами [5].

Зони санітарної охорони діляться на дві–три підзони.

Перша підзона – зона сурового контролю (режиму) з огороженням і охороною (інколи).

Друга підзона – обмежена за видами діяльності, котрі викликають зараження (забороняється розміщувати склади ПММ, тваринницькі ферми, склади добрив та їх приміщення в зоні водорозділу має бути заборонено).

Третя підзона – попереджувальна. В ній також обмежується діяльність, котра сприяє забрудненню водойми.

Природні води, що вміщують до 0,1 % розбавлених речовин називаються прісними, від 0,1 до 5 % – мінералізованими, більше 5 % – розсолами.

Існує комплекс аналітичних показників, що використовуються для контролю забруднення води. Дані показники визначаються чинним ГОСТом «Правила выбора и оценки качества источников централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения», «Правилами охраны поверхностных вод от загрязнения сточными водами». Відповідно до вказаних документів при вивченні санітарного стану водойм у аналіз включають показники, які характеризують:

- зовнішній вид водойм;
- органолептичні властивості води;
- санітарний режим водойм;
- вміст шкідливих специфічних речовин;
- мікробне забруднення води.

Органолептичні показники – це показники визначення якості за допомогою органів відчуттів людини (зору, слуху, дотику, смаку). Ці показники визначають зовнішній вигляд, смак, запах, колір, структуру, консистенцію, ступінь подрібнення. В стандартах нормовані всі значення органолептичних показників.

Діючі стандарти передбачають органолептичну оцінку якості продукції порівнянням з еталонами і стандартними зразками [5].

Постановка задачі органолептичного визначення смаку та запаху природної води методом множин рівня. Смак буває солоним, гірким, солодким, кислим, а інше – то присмаки (гіркуватий присмак надає воді $MnSO_4$, солоний $NaCl$, кислий – мінеральні води при наявності H_2CO_3).

Запах розділяють на природний (болотний, гнилісний, деревний, земляний, пліснявий, рибний, трав'янистий тощо) та штучний (промисловий) – ароматичний, невизначений, спиртовий тощо.

Смак та запах визначаються органолептично за п'ятибальною шкалою.

"0" балів – запах і смак не відчувається;

"1" бал – дуже слабкий запах і смак;

"2" бали – слабкий;

"3" бали – помітний;

"4" бали – відчутний, примушує утриматись від вживання;

"5" балів – дуже сильний, не придатний до вживання (можлива парова дистилляція).

Отже, процес проведення органолептичної оцінки є суб'єктивним і залежить від думки експерта. У даному випадку важливо провести систематизацію та аналіз проведеного дослідження як для експерта, так і групи експертів, з метою підвищення точності проведеного оцінювання [5].

Реалізація задачі. Для реалізації даної задачі необхідно аналізувати можливості поєднання множини рівня та ступеня належності.

Нагадаємо, що нечітка підмножина даної скінченної множини X – це така підмножина, значення ступенів належності якої лежать в одиничному інтервалі. У додатках нечітких підмножин значну цікавість викликає проблема оцінки ступенів належності для використовуваних нечітких підмножин. Необхідно пам'ятати, що ступені належності – це суб'єктивні оцінки, результат праці людини, який визначає нечітку підмножину.

Нехай A – нечітка підмножина скінченної множини $X = \{x_1, x_2, x_3, \dots, x_n\}$. Представимо, що ступені належності елементів множини X нечіткій підмножині A відомі: позначимо їх $A(x_i) = a_i$. Елементи множини заіндексовані так, що $A(x_i) \geq A(x_j)$, якщо $i > j$. Цій нечіткій підмножині можна поставити у відповідність набір чітких підмножин множини X , названих множинами рівня нечіткої множини A . Множина α -рівня визначається наступним чином:

$$A_\alpha = \{x | A(x) \geq \alpha, x \in X\}.$$

Іншими словами, A_α – чітка підмножина множини X , яка містить всі елементи, ступінь належності яких не менше, ніж α . Відмітимо, що якщо $\alpha_1 > \alpha_2$, то $A_{\alpha_1} \subset A_{\alpha_2}$ та A_α є зростаюча функція від параметра α' , а також, якщо для деяких α_k не існує елементів, також що $A(x) \geq \alpha$, то $A_\alpha = \emptyset$ для

$\alpha > \alpha_k$ [2].

Перед тим, як викласти методику визначення ступенів належності, опишемо випадковий експеримент, у якому використовується термін множини рівня. Нехай задано нечітку підмножину A множини X . Розглянемо наступний випадковий спосіб вибору елемента x із X .

Випадковим чином обираємо значення $\alpha \in [0, 1]$, а потім також випадково – елемент з відповідного α -рівня множини. Розрахуємо ймовірність вибору конкретного елемента в умовах цього експерименту.

Для простоти викладення допустимо, що $0 \leq a_1 \leq a_2 \leq \dots \leq a_n, a_n = a_{\max} \leq 1$, де a_i – ступінь належності x_i множині X [1]. Таким чином множини рівнів будуть представлені як:

$$\begin{aligned} \text{при } 0 < \alpha \leq a_1 \quad A_\alpha &= \{x_1, x_2, x_3, x_4, \dots, x_n\} = A_1; \\ \text{при } a_1 < \alpha \leq a_2 \quad A_\alpha &= \{x_2, x_3, x_4, \dots, x_n\} = A_2; \\ \text{при } a_2 < \alpha \leq a_3 \quad A_\alpha &= \{x_3, x_4, \dots, x_n\} = A_3; \\ &\vdots \\ \text{при } a_{n-2} < \alpha \leq a_{n-1} \quad A_\alpha &= \{x_{n-1}, x_n\} = A_{n-1}; \\ \text{при } a_{n-1} < \alpha \leq a_n \quad A_\alpha &= \{x_n\} = A_n; \\ \text{при } a_n < \alpha \leq 1 \quad A_\alpha &= \emptyset. \end{aligned} \tag{1}$$

Оскільки в експерименті значення α обираються випадковим чином, то ймовірність того, що множина рівня A_i виявиться обраним, рівна $P(A_i) = a_i - a_{i-1}$. Крім цього, примітимо, що оскільки з обраної множини рівня елемент обирається випадково, то

$$P(x_i) = \sum_{j=1}^n P(x_i | A_j) P(A_j).$$

Використовуючи дані формули, можливо розрахувати ймовірність того, що буде обраний даний елемент множин X :

$$\begin{aligned} P(x_1) &= \frac{1}{n} a_1; \\ P(x_2) &= P(x_1) + \frac{1}{n-1} (a_2 - a_1); \\ P(x_3) &= P(x_2) + \frac{1}{n-2} (a_3 - a_2); \\ P(x_4) &= P(x_3) + \frac{1}{n-3} (a_4 - a_3); \\ &\vdots \\ P(x_{n-1}) &= P(x_{n-2}) + \frac{1}{2} (a_{n-1} - a_{n-2}); \\ P(x_n) &= P(x_{n-1}) + (a_n - a_{n-1}); \\ P(\text{обраних елементів немає}) &= 1 - a_n. \end{aligned} \tag{2}$$

Необхідно помітити, що якщо $i \geq j$, то вважають, що $a_i \geq a_j$, й, відповідно, $P_i \geq P_j$ [3].

Розв'язавши систему відносно $P(x_i)$, переконаємось, що сума їх ймовірностей дорівнює одиниці:

$$\begin{aligned} P(x_1) &= \frac{1}{n} a_1; \\ P(x_2) &= \frac{1}{n} a_1 + \frac{1}{n-1} (a_2 - a_1); \\ P(x_3) &= \frac{1}{n} a_1 + \frac{1}{n-1} (a_2 - a_1) + \frac{1}{n-2} (a_3 - a_2); \\ &\vdots \\ P(x_n) &= \frac{1}{n} a_1 + \frac{1}{n-1} (a_2 - a_1) + \frac{1}{n-2} (a_3 - a_2) + \dots + a_n - a_{n-1}; \\ \sum_{i=1}^n P(x_i) &= n \left(\frac{1}{n}\right) a_1 + (n-1) \left(\frac{1}{n-1}\right) (a_2 - a_1) + (n-2) \left(\frac{1}{n-2}\right) (a_3 - a_2) + \dots + (a_n - a_{n-1}); \\ \sum_{i=1}^n P(x_i) &= a_1 + (a_2 - a_1) + (a_3 - a_2) + \dots + (a_n - a_{n-1}) = a_n; \end{aligned} \tag{3}$$

$$\sum_{i=1}^n P(x_i) + P(\text{обраних елементів немає}) = a_n + (1 - a_n) = 1.$$

Реальна проблема, розв'язання якої нас цікавить, виникає у випадку, коли ступені належності нечіткої підмножини не задані, а існують лише в думках оцінюючого.

Виразимо ступінь належності a_i через ймовірність $P(x_i)$ вибору елемента. Із системи рівнянь (2) після алгебраїчних перетворень отримаємо:

$$\begin{aligned} a_1 &= nP(x_1); \\ a_2 &= (n-1)P(x_2) + P(x_1); \\ a_3 &= (n-2)P(x_3) + P(x_2) + P(x_1); \\ &\vdots \\ a_k &= (n-k+1)P(x_k) + \sum_{i=1}^{k-1} P(x_i); \\ &\vdots \\ a_{n-1} &= 2P(x_{n-1}) + \sum_{i=1}^{n-2} P(x_i); \\ a_n &= \sum_{i=1}^n P(x_i), \end{aligned} \quad (4)$$

де n – кількість елементів в X ;

a_i – ступінь належності x_i нечіткій множині A ;

$P(x_i)$ – ймовірність того, що в даному експерименті буде обраний елемент x_i [3].

Нагадаємо, що елементи були пронумеровані так, що з $i \geq j$ випливає $a_i \geq a_j$, а з цього – $P_i \geq P_j$. Оброблено зворотньо, якщо $P_i \geq P_j$, то $a_i \geq a_j$. Зазначимо також, що $a_n = 1$ тоді і тільки тоді, коли ймовірність отримання пустої множини рівна нулю [1].

З системи рівнянь (4) видно, що якщо відомі ймовірності, з якими в описаному тут експерименті обираються елементи множини X , то цю інформацію можна використовувати для визначення ступенів належності елементів до нечіткої підмножини A .

Тому, якщо отримати оцінки для ймовірностей, які входять до правої частини системи рівнянь (4), то їх можна використати для розрахунку значень ступенів належності до множини A .

Розробка алгоритму органолептичного визначення смаку та запаху природної води методом множин рівня.

З кожним x_i зв'яжемо величину T_i , яка початково дорівнюється нулю, яка буде дорівнюватися числу появ x_i в наступному алгоритмі.

1) Визначимо об'єм вибірки M (наприклад, $M = 25$, $M = 50$, $M = 100$), необхідний для вдалої роботи.

2) Розділити одиничний інтервал на M частин рівної довжини, якщо $M = 50$, то отримаємо $\{1; 0,98; 0,96; 0,94; \dots 0,02\}$. Позначимо цю множину через S .

3) Обрати випадковим чином без повтору елемент a з S .

4) Попросити людину, яка визначає нечітку підмножину, перерахувати всі елементи X , які, як вона гадає, належать множині, відповідно обраному значенню рівня a .

5) Якщо K – число елементів, включених в множину рівня, побудованого на кроці 4, то при кожному з'явленні елемента в цьому рівні додати $\frac{1}{K}$ до T_i .

6) Повторювати кроки 3–5 до того часу, поки не вичерпаємо всі a в S .

7) Розрахувати $P(x_i)$; $P_i = \frac{T_i}{M}$ [3].

8) Отримані оцінки ймовірностей впорядкувати за зростанням та підставити їх в (4), розрахувати ступені належності елементів X множині A .

Для наочності даного алгоритму застосуємо такий приклад.

Проби води були взяті з річки Кам'янка поблизу панчішної фабрики. Нехай $X = \{\text{«0» балів, «1» бал, «2» бали, «3» бали, «4» бали, «5» балів}\}$.

Припустимо, що об'єм вибірки $M = 25$ тоді:

$S = \{1, 0,96, 0,92, 0,88, 0,84, 0,80, 0,76, 0,72, 0,68, 0,64, 0,60, 0,56, 0,52, 0,48, 0,44, 0,40, 0,36, 0,32, 0,28, 0,24, 0,20, 0,16, 0,12, 0,08, 0,04\}$.

Нехай, обираючи значення рівня випадковим чином, від досліджуваного отримали наступні рівневі множини нечіткої підмножини A :

$$\begin{aligned}
 A_{0,92} &= \{ "3" \} \\
 A_{0,60} &= \{ "2", "3", "4" \} \\
 A_{0,36} &= \{ "0", "1", "2", "3", "4" \} \\
 A_{0,32} &= \{ "0", "1", "2", "3", "4" \} \\
 A_{0,72} &= \{ "2", "3" \} \\
 A_{0,44} &= \{ "1", "2", "3", "4" \} \\
 A_{0,88} &= \{ "2", "3" \} \\
 A_{0,08} &= \{ "0", "1", "2", "3", "4", "5" \} \\
 A_{0,84} &= \{ "2", "3" \} \\
 A_{0,04} &= \{ "0", "1", "2", "3", "4", "5" \} \\
 A_{0,68} &= \{ "2", "3", "4" \} \\
 A_{0,24} &= \{ "0", "1", "2", "3", "4" \} \\
 A_{0,76} &= \{ "2", "3" \} \\
 A_{0,52} &= \{ "2", "3", "4" \} \\
 A_{0,40} &= \{ "0", "1", "2", "3", "4" \} \\
 A_{0,12} &= \{ "0", "1", "2", "3", "4" \} \\
 A_{0,80} &= \{ "2", "3" \} \\
 A_{0,64} &= \{ "2", "3", "4" \} \\
 A_{0,56} &= \{ "2", "3", "4" \} \\
 A_{1,00} &= \{ "3" \} \\
 A_{0,28} &= \{ "0", "1", "2", "3", "4" \} \\
 A_{0,16} &= \{ "0", "1", "2", "3", "4" \} \\
 A_{0,20} &= \{ "0", "1", "2", "3", "4" \} \\
 A_{0,48} &= \{ "1", "2", "3", "4" \} \\
 A_{0,96} &= \{ "3" \}
 \end{aligned}$$

Застосувавши отримані відповіді, можна розрахувати T_i для кожного елемента:

$$\begin{aligned}
 T_{"0"} &= 2 \frac{1}{6} + 8 \frac{1}{5} = 1,933 \\
 T_{"1"} &= 2 \frac{1}{6} + 8 \frac{1}{5} + 2 \frac{1}{4} = 2,433 \\
 T_{"2"} &= 2 \frac{1}{6} + 8 \frac{1}{5} + 2 \frac{1}{4} + 5 \frac{1}{3} + 5 \frac{1}{2} = 6,599 \\
 T_{"3"} &= 2 \frac{1}{6} + 8 \frac{1}{5} + 2 \frac{1}{4} + 5 \frac{1}{3} + 5 \frac{1}{2} + 3 = 9,599 \\
 T_{"4"} &= 2 \frac{1}{6} + 8 \frac{1}{5} + 2 \frac{1}{4} + 5 \frac{1}{3} = 4,099 \\
 T_{"5"} &= 2 \frac{1}{6} = 0,333
 \end{aligned}$$

Розрахуємо оцінки значень ймовірностей $P_i = T_i / M$:

$$P("0") = 0,077$$

$$P("1") = 0,097$$

$$P("2") = 0,264$$

$$P("3") = 0,384$$

$$P("4") = 0,164$$

$$P("5") = 0,013$$

Розташуємо ймовірності у зростаючому порядку:

$$P("5") = 0,013$$

$$P("0") = 0,077$$

$$P("1") = 0,097$$

$$P("4") = 0,164$$

$$P("2") = 0,264$$

$$P("3") = 0,384$$

Підставимо отримані значення в (4), враховуючи, що загальна кількість елементів в X дорівнює 6, розрахуємо ступінь належності елементів множині:

$$a_{"5"} = 6P("5") = 0,078$$

$$a_{"0"} = 5P("0") + P("5") = 0,398$$

$$a_{"1"} = 4P("1") + P("0") + P("5") = 0,478$$

$$a_{"4"} = 3P("4") + P("1") + P("0") + P("5") = 0,679$$

$$a_{"2"} = 2P("2") + P("4") + P("1") + P("0") + P("5") = 0,879$$

$$a_{"3"} = P("3") + P("1") + P("4") + P("0") + P("2") + P("5") = 0,999$$

Необхідно відмітити, що в даному прикладі рівневі множини записувались на основі наступної системи ступенів належності.

$$a_{"5"} = 0,1 \quad a_{"0"} = 0,4 \quad a_{"1"} = 0,5 \quad a_{"4"} = 0,7 \quad a_{"2"} = 0,9 \quad a_{"3"} = 1$$

Висновок. Таким чином, розроблено алгоритм органолептичного визначення смаку та запаху природної води методом множин рівня, який дозволяє провести систематизацію та аналіз проведеного дослідження (органолептичного визначення смаку та запаху) як для експерта, так і групи експертів. Практичне використання запропонованого алгоритму значно підвищить точність проведення оцінювання смаку та запаху природної води й дозволить своєчасно виявляти джерела забруднення та вживати заходи щодо охорони водних об'єктів.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Нечёткие множества и теория возможностей. Последние достижения / Под ред. Р.Ягера. – М.: Радио и связь, 1986. – 312 с.
2. Нечёткие множества в моделях управления и искусственного интеллекта / Под ред. Д.А. Поспелова. – М.: Наука, 1986. – 312 с.
3. *Вентцель Е.С.* Теория вероятностей. – М.: Наука, 1969. – 576 с.
4. *Л. Заде.* Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений: Пер. с англ. / Под ред. Н.Н. Моисеева, С.А. Орловского. – М.: Мир, 1976. – 165 с.
5. *В.В. Пресняков, В.П. Гавриш, А.А. Кавун.* Екологія та безпека життєдіяльності. – Житомир: ЖВІРЕ, 2000. – 220 с.

БУЧИК Сергій Степанович – кандидат технічних наук, доцент кафедри Житомирського військового інституту радіоелектроніки ім. С.П. Корольова.

Наукові інтереси:

– інтелектуальні системи і системи відображення інформації.

ВОЛОДЬКО Анатолій Олександрович – курсант Житомирського військового інституту радіоелектроніки ім. С.П. Корольова.

Наукові інтереси:

– бази даних, інтелектуальні системи і системи відображення інформації.

ПРЕСНЯКОВ Василь Васильович – кандидат військових наук, доцент, старший викладач кафедри Житомирського військового інституту радіоелектроніки ім. С.П. Корольова.

Наукові інтереси:
– безпека життєдіяльності.

Подано 17.01.2007

Бучик С.С., Володько А.О., Пресняков В.В. Алгоритм органолептичного визначення смаку та запаху природної води методом множин рівня

Бучик С.С., Володько А.А., Пресняков В.В. Алгоритм органолептического определения вкуса и запаха естественной воды методом множеств уровня

Buchik S.S., Volod'ko A.A., Presnjakov V.V. Algorithm of organoleptyk determination of taste and smell of natural water by the method of great numbers of level

УДК 681.3/ ; 628.515

Алгоритм органолептичного визначення смаку та запаху природної води методом множин рівня С.С. Бучик, А.О. Володько, В.В. Пресняков

Розглянуто алгоритм органолептичного визначення смаку та запаху природної води методом множин рівня, який дозволить вирішити проблему санітарного спостереження за станом водойм та їх моніторингу, своєчасного здійснення заходів щодо очищення води для питних та господарчих цілей.

УДК 681.3; 628.515

Алгоритм органолептичного визначення смаку та запаху природної води методом множин рівня / С.С. Бучик, А.О. Володько, В.В. Пресняков

Рассмотрен алгоритм органолептического определения вкуса и запаха естественной воды методом множеств уровня, который позволит решить проблему санитарного наблюдения за состоянием водоемов и мониторинга своевременного осуществления мероприятий по очистке воды для питьевых и хозяйственных целей.

УДК 681.3; 628.515

Algorithm of organoleptyk determination of taste and smell of natural water by the method of great numbers of level / S.S. Buchik, A.A. Volod'ko, V.V. Presnjakov

The algorithm of organoleptyk determination of taste and smell of natural water is considered by the method of great numbers of level which will allow to decide the problem of sanitary supervision after the state of reservoirs and monitoring of timely realization of measures on water treatment for drinkable and economic aims.