



УДК 004.5

Резніченко Ю.С.,

*Кафедра інформаційних технологій
Запорізький інститут економіки та інформаційних технологій
Запоріжжя, Україна*

ПОСЛІДОВНОСТЬ ДІЙ ОПЕРАТОРА: НЕЧІТКИЙ АНАЛІЗ

Анотація — Роботу присвячено рішення актуальної науково-технічної проблеми удосконалення оцінювання помилковості дій оператора. Обґрунтовано нечітку природу помилковості результатів дій та послідовності дій оператора. Для визначення нечіткої міри помилковості послідовності дій модифіковано відстань Левенштейна. Розглянуто можливості формального аналізу даних когнітивного характеру. Обґрунтовано застосування нечіткого підходу до структурного аналізу часових рядів когнітивних факторів на основі кластеризації нечітких середніх і нечітких множин другого типу. Схема реалізації нечіткого підходу модифікована методом визначення кількості кластерів та методами визначення рівня нечіткості для алгоритму кластеризації нечіткого середнього. Визначено нечіткі ціни операцій вставлення, видалення, заміни дій. Визначено умови виконання та перевірено справедливість обмежень на застосування нечіткої відстані Левенштейна.

Ключові слова — *людино-машинний інтерфейс, нечіткі алгоритми, відстань Левенштейна*

I. ВСТУП

Автоматизована робота людини-оператора (далі оператора) є складною та відповідальною діяльністю [5, 6]. Незважаючи на збільшення кількості та якості програмного забезпечення для підготовки операторів різних спеціальностей, на існуючий досвід упровадження такого програмного забезпечення на різних підприємствах, статистика аварійності показує високий відсоток помилок операторів. Частка помилок операторів у загальній кількості причин аварій у таких галузях як авіація, морський транспорт, енергетика тощо, становить 63-80% [1, 5].

Проблему підвищення рівня професійної підготовки операторів складних систем можливо вирішити шляхом удосконалення як теоретичних, так і практичних підходів до оцінювання, зокрема помилковості дій операторів [4-6].

Сучасні моделі оцінювання помилковості дій операторів, які закладено до модулів програмного забезпечення, потребують удосконалення. Використання сучасних інформаційних технологій, освоєння нових технологічних процедур, стресовий характер роботи, першорядна необхідність розвивати знання, вміння та навички, які не регламентовано промисловими стандартами та посадовими інструкціями, та інші особливості автоматизованої роботи оператора зумовлюють необхідність формалізації не лише помилковості результатів дій оператора, але й помилковості послідовності дій оператора. Даний фактор має складну та неточну природу.

Існує безліч класифікацій помилок оператора, але найбільшу кількість з них спрощено поділяють на чотири групи [1, 5]: помилки, які викликані недостатнім

засвоєнням предметної галузі, помилки набору інформації, помилки зчитування показників складної системи, моторні помилки.

Також існують класифікації, які орієнтовано на рівень негативного ефекту помилок оператора [1], наприклад: помилки, які можливо виправити під час виконання дій; помилки, які можливо виправити після виконання дій; помилки, які проблематично виправити; помилки, які неможливо виправити.

Метою даної роботи є нечіткий аналіз помилковості послідовності дій оператора з урахуванням сучасних методів дослідження предметної області.

II. МОДЕЛІ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Традиційно помилковість результатів дій оператора оцінюється за допомогою показника кількості помилок. Помилковість послідовності дій оператора оцінюється за допомогою відхилень фактичної послідовності дій оператора від нормативної послідовності дій. Для визначення відхилень у даній роботі запропоновано модифікувати відстань Левенштейна.

Відстань Левенштейна та її узагальнення [2, 4] ефективно використовуються у комп'ютерній лінгвістиці та теорії інформації для виправлення помилок у слові (у пошукових системах, базах даних, при введенні тексту, при автоматичному розпізнаванні відсканованого тексту або мови), для порівняння текстових файлів утилітами типу diff, а також у біоінформатиці для порівняння генів, хромосом та білків.

Сучасні дослідження, які застосовують відстань Левенштейна, пов'язані з вирішенням наступних завдань: проектування реверсно-компліментарного коду ДНК, визначення подібних функцій для генетичних послідовностей, оцінка діалектних відмінностей, автоматичне маркування музичних диктантів, апроксимація збігів для регулярних виразів, розробка додатків виду Ultimate Baby Name Explorer, призначення імен продуктів та сервісів, нечіткий пошук збігів, фільтрація фрагментів електронних листів, виявлення дубльованого вмісту та плагіату, корекція правопису у запитах пошукових систем, групування та індексування спаму у пошукових системах тощо.

Традиційно відстань Левенштейна визначається як мінімальна кількість операцій вставки одного символу, видалення одного символу та заміни одного символу на інший, необхідних для перетворення одного рядка до іншого.

Застосування відстані Левенштейна у даній роботі дозволяє оцінити мінімальну кількість помилок, яких припустився оператор у результаті виконання зайвих дій, невиконання належних дій та порушення порядку дій.

Особливістю застосування відстані Левенштейна у даній роботі є використання нечіткості для оцінки помилковості окремих дій оператора.

III. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Наступні дії розглядаються як помилкові:

- дія, яку оператор виконав замість стандартного дії (replace-дія);
- дія, яку оператор виконав, але це не передбачено стандартною процедурою (insert-дія);
- дія, яку оператор не виконав, але це передбачено стандартною процедурою (delete-дія).

У даній роботі відстань Левенштейна визначається за допомогою нечітких оцінок [3] окремих дій оператора.

$$d(proc, proc^s) = D(M, N), \quad (1)$$

$$D(i, j) = \begin{cases} 0; i = 0, j = 0 \\ i; i > 0, j = 0 \\ j; i = 0, j > 0 \\ \min (D(i, j - 1) + Wd, D(i - 1, j) + Wi, D(i - 1, j - 1) + Wr * m(act_i, act_j^s)) \end{cases} \quad (2)$$

де $d(proc, proc^s)$ – відстань Левенштейна;

$proc$ – технологічна процедура, яку виконав оператор;

$proc^s$ – стандартна технологічна процедура;

M – кількість дій у технологічній процедурі, яку виконав оператор;

N – кількість дій у стандартній технологічній процедурі;

i – номер дії у технологічній процедурі, яку виконав оператор;

j – номер дії у стандартній технологічній процедурі;

$D(i, j)$ – відхилення технологічної процедури, яку виконав оператор, від стандартної технологічної процедури з урахуванням i перших дій технологічної процедури, яку виконав оператор, та j перших дій стандартної технологічної процедури;

Wd, Wi, Wr – ціни replace-дії, insert-дії, delete-дії;

act_i – дія номер i у технологічній процедурі, яку виконав оператор;

act_j^s – дія номер j у стандартній технологічній процедурі;

$m(act_i, act_j^s) = 0$, коли $act_i = act_j^s$;

$m(act_i, act_j^s) = 1$, коли $act_i \neq act_j^s$.

Традиційно ціни операцій можуть залежати від виду операції (вставлення, видалення, заміна) та/або від символів, які у ній беруть участь, відображаючи, наприклад, різну ймовірність мутацій у біології чи різну ймовірність різних помилок при введенні тексту.

Першочергово дія технологічної процедури характеризується своєю помилковістю у конкретній технологічній процедурі. У даній роботі введено лінгвістичну змінну [3] Act_{ij} , що описує дію номер i у технологічній процедурі номер j .

$$Act_{ij} = \{(l, \mu_{ij}(l)) \mid \forall l \in L, \forall \mu_{ij}(l) \in [0; 1]\}, \quad (3)$$

де l – базове значення лінгвістичної змінної Act_{ij} ;

$L = \{l_1, l_2, l_3\}$ – {«заборонена», «звичайна», «обов'язкова»} – базова множина лінгвістичної змінної Act_{ij} ;

$\mu_{ij}(l)$ – ступінь належності дії номер i у технологічній процедурі номер j значенню

l .

1. На ціну insert-дії впливають значення $l =$ «обов'язкова» та значення $l =$ «звичайна».
2. На ціну delete-дії впливають значення $l =$ «заборонена» та значення $l =$ «звичайна».
3. На ціну replace-дії впливають:
 - значення $l =$ «заборонена» \rightarrow значення $l =$ «обов'язкова»,
 - значення $l =$ «звичайна» \rightarrow значення $l =$ «обов'язкова»,
 - значення $l =$ «заборонена» \rightarrow значення $l =$ «звичайна»,
 - значення $l =$ «звичайна» \rightarrow значення $l =$ «звичайна».

Приклад реальної ситуації, коли визначається вид дії оператора, зображено на рис. 1.

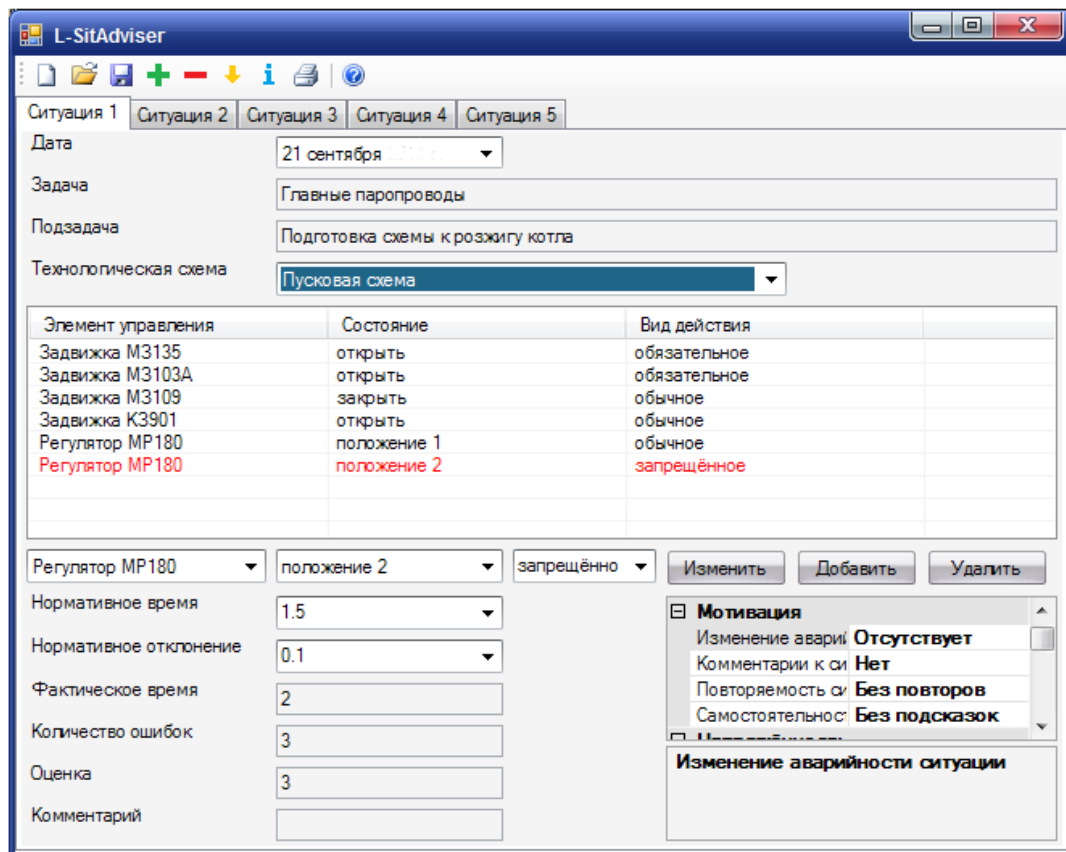


Рис. 1. Приклад визначення виду дії у технологічній процедурі, яку виконав оператор.

Розглянемо об'єднання усіх дій технологічної процедури, яку виконав оператор, та стандартної технологічної процедури.

Визначимо ступінь належності кожної дії кожному базовому значенню з базової множини L за допомогою експертних оцінок або на основі промислового стандарту [3, 4].

- Ціна insert-дії номер i у технологічній процедурі номер j – $Wi = \max(\mu_{ij}(l_2), \mu_{ij}(l_3))$.

- Ціна delete-дії номер i у технологічній процедурі номер j – $Wd = \max(\mu_{ij}(l_1), \mu_{ij}(l_2))$.

- Ціна replace-дії номер i у технологічній процедурі номер j – $Wr = \max(\mu_{ij}(l_1), \mu_{ij}(l_2)) + \max(\mu_{ij}(l_2), \mu_{ij}(l_3))$.

Визначимо умови виконання традиційних властивостей відстані Левенштейна [2] у предметній галузі помилкової діяльності оператора.

1. Усі властивості справедливі, якщо ціни дій дорівнюють 1.
2. Перша властивість справедлива, якщо $Wd, Wi, Wr = 1$.
3. Друга властивість справедлива, якщо $Wd, Wi, Wr \leq 1$.
4. Третя властивість справедлива, якщо $Wd, Wi, Wr > 0$.

Перевіримо справедливість наступних гіпотез, які виділені у якості обмежень на застосування відстані Левенштейна.

1. Операція заміни дій призводить до великої розбіжності технологічних процедур.

Перше обмеження є справедливим зауваженням, тому що виконання операції заміни вказує на найбільшу помилковість послідовності дій оператора.

2. Розбіжність між істотно різними технологічними процедурами, що складаються з незначної кількості дій, мала.
3. Розбіжність між істотно подібними технологічними процедурами, що складаються з великої кількості дій, велика.

Друге та третє обмеження призводять до необхідності обліку не мінімальної кількості помилок, а ступеню помилковості технологічної процедури, яку виконав оператор, щодо стандартної технологічної процедури. Тому в даній роботі урахована величина відстані Левенштейна, що поділена на зважене число дій у стандартній технологічній процедурі.

IV. ВИСНОВКИ

У даній роботі запропоновано нове рішення актуальної науково-технічної проблеми удосконалення оцінювання помилковості дій оператора за допомогою нечіткої відстані Левенштейна.

Спочатку були описані нечіткі складові помилковості дій оператора за допомогою лінгвістичних змінних {«нульова», «незначна», «значна»}. Реєстрованими даними для визначення помилковості дій оператора є фактична кількість помилок та фактична послідовність дій оператора. Експертними даними для визначення помилковості дій оператора є категорії помилок оператора, важливість помилки кожної категорії, нормативна послідовність дій та вид дії (заборонена, звичайна, обов'язкова).

В результаті:

1. обґрунтовано нечітку природу помилковості послідовності дій оператора;
2. для визначення нечіткої міри помилковості послідовності дій оператора модифіковано відстань Левенштейна;
3. визначено нечіткі ціни операцій вставлення, видалення, заміни дій оператор;
4. визначено умови виконання нечіткої відстані Левенштейна;
5. перевірено справедливість обмежень на застосування нечіткої відстані Левенштейна.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] В.Дозорцев. Компьютерные тренажёры для обучения операторов технологических процессов /В.М. Дозорцев. – М.: СИНТЕГ, 2009. – 372 с.
- [2] The Levenshtein-Algorithm [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.levenshtein.net>. – Дата звернення: 17.02.2022.
- [3] А. Пегат. Нечёткое моделирование и управление /А. Пегат; пер. с англ. М.: БИНОМ, Лаборатория знаний, 2009. – 798 с.: ил.
- [4] Нечеткие модели и нейронные сети в анализе и управлении экономическими объектами: моногр. / [Ю.Г. Лысенко, Е.Е. Бизянов, А.Г. Хмелев и др.]; под ред. чл.-кор НАН Украины, д-ра экон.наук, проф. Ю.Г. Лысенко – Донецк: Юго-Восток, 2012. – 388 с.
- [5] Рефлексивные процессы в экономике: концепции, модели, методы: моногр. / [Р.Н. Лепя, О.Е. Кузьмин, Н.Ю. Рекова и др.]; под ред. Р.Н. Лепя / НАН Украины, Ин-т экономики пром-сти. – Донецк, ИЭП НАН Украины, 2012. – 224 с.
- [6] Руденська В. В. Моделі інформаційної підтримки процесів інтеграції у металургійній галузі / В. В. Руденська, С. І. Левицький, Д. П. Михайлик // Часопис економічних реформ. – 2016. – № 4. – С. 34-40.

Отримано 07.11.2022 р.

ACTIONS SEQUENCE OF AN OPERATOR: FUZZY ANALYSIS

Yuliia Reznichenko,

*Department of Information Technologies
Zaporizhzhia Institute of Economics and Information Technologies
Zaporizhzhia, Ukraine*

Abstract — The work was devoted to solving the current scientific and technical problem of improving the assessment of the erroneous actions of an operator. The fuzzy nature of the erroneousness of the actions results and the actions sequence of an operator was substantiated. The possibilities of formal analysis of data of cognitive nature are considered. Application of fuzzy approach to the structural analysis of time series of cognitive factors based on clustering of fuzzy averages and fuzzy sets of the second type is justified. The scheme of realization of the fuzzy approach is modified by the method of determining the number of clusters and methods for determining the level of fuzzy for the algorithm of fuzzy mean clustering. To determine the fuzzy measure of the error actions sequence, the Levenstein distance was modified. Fuzzy prices of insert, delete and replace operations were defined. The conditions of application were determined and the validity of the restrictions on the application of the fuzzy Levenstein distance was verified.

Keywords— human-machine interface, fuzzy algorithms, Levenshtein distance.

Received 07.11.2022