

УДК 004.89:004.55

В. В. СКАЛОЗУБ^{1*}, В. М. ГОРЯЧКІН^{2*}, І. А. ТЕРЛЕЦЬКИЙ^{3*}^{1*}Каф. «Комп'ютерні інформаційні технології», Український державний університет науки і технологій, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 35, ел. пошта skalozub.vl.v@gmail.com, ORCID 0000-0002-1941-4751^{2*}Каф. «Комп'ютерні інформаційні технології», Український державний університет науки і технологій, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 35, ел. пошта vgora@ukr.net, ORCID 0000-0002-8952-952X^{3*}Каф. «Комп'ютерні інформаційні технології», Український державний університет науки і технологій, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 35, ел. пошта igor.terletskiy.96@gmail.com, ORCID 0000-0001-9187-3955**Інтелектуальна технологія оптимізації керування потоками замовлень сервісних систем із неточно визначеними і природномовними даними**

Мета. Завдання щодо класифікації даних та оптимізації керувань потоками замовлень у системах обслуговування мають значне поширення. Розробка інтелектуальної інформаційної технології (ІТ) оптимального керування потоками замовлень у сервісних системах (ОПЗС&С), з урахуванням неточно визначених та природномовних характеристик даних (НВД), що реалізована на основі модифікованої мережі Хеммінга (МХН), зараз є актуальною, має наукове і практичне значення. Основною метою роботи – розвиток і вдосконалення математичних моделей і процедур ОПЗС&С та формування ІТ на основі МХН за НВД. **Методика.** Запропоновано нові постановки завдань ОПЗС&С, які відзначаються НВД. Удосконалено математичні моделі та інтелектуальні процедури оптимізації потоків ОПЗС&С на основі МХН. Розроблено програмні засоби для ІТ на основі МХН та процедур процесів ОПЗС&С. Проведено числові дослідження коректності та ефективності рішень. **Результати.** Сформовано нові постановки завдань ОПЗС&С за НВД, які відрізняються можливостями врахування результатів вибору керувань на попередніх кроках. Виконано формування вдосконалених математичних моделей та продукційних інтелектуальних процедур ОПЗС&С на основі МХН, проведено аналіз сфери їх застосування. Розроблено та досліджено програмні засоби ІТ для процесів ОПЗС&С з НВД, проведено числовий експеримент для підтвердження достовірності та ефективності запропонованих моделей і методів процесів ОПЗС&С. **Наукова новизна.** У роботі вдосконалено математичні моделі, а також продукційні інтелектуальні процедури оптимізації потоків на основі результатів класифікації за МХН. Розроблено варіанти моделей функціонування процедур ОПЗС&С, де елементи потоків розглянуто або ізольовано від інших, або оптимальний для поточного елемента вибір керування впливає на обслуговування наступних елементів. **Практична значимість.** Розроблена на основі модифікованих мереж Хеммінга інтелектуальна інформаційна технологія дозволяє виконувати оптимізацію керувань потоками замовлень у сервісних системах з неточно визначеними та природномовними характеристиками даних.

Ключові слова: сервісні системи; потоки замовлень; оптимізація; продукційні процедури; умови невизначеності; природномовні дані; модифіковані мережі Хеммінга; інтелектуальна інформаційна технологія; програмне забезпечення

Вступ

Завдання з оптимізації потоків замовлень у сервісних (обслугових) системах (С&С) виникає у багатьох технологіях і виробництвах, є змістовним і досить поширеним [6, 7, 11, 15, 22]. Для формування та вдосконалення процедур оптимізації потоків замовлень (ОПЗС&С) враховують усе більший набір властивостей контрольованих потоків [3, 4, 20]. Складність технологічних, виробничих, відповідних інформаційних та інших процесів у С&С впливає на можливість отримати достовірні й точні дані щодо характеристик потоків замовлень на різних рівнях аналізу та керування процесами.

Часто процеси С&С мають значну кількість неоднорідних компонентів, характеристики яких потребують певної інтерпретації (наприклад, є «розмитими множинами»), відомі неточно, мають природномовну форму тощо [5, 7, 14, 17]. Наведені умови функціонування суттєво впливають на визначення моделей керування, їх параметри та результати оптимізації щодо роботи С&С.

У [3, 4, 13] із метою забезпечення вибору ефективних керувань процесами С&С запропоновано застосувати методи інтелектуальних систем, а саме модифіковані процедури моделі нейронних мереж Хеммінга, які призначені для

ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

класифікації замовлень С&С (встановлення класів характеристик замовлень з неточно визначеними даними за певними «шаблонами» [4, 13, 18, 20]). Виконано модифікацію процедур нейронної мережі Хеммінга (МХН) і проведено числові експериментальні дослідження можливостей використання як моделей первинних даних нечітких множин $\mu X (X \rightarrow [0; 1])$, а також експертних показників достовірності, коефіцієнтів упевненості $CF(A)$ з множини $[-1; +1]$ [10, 16]. При цьому до ознак «шаблонів дій» обслуговчого «приладу» можна відносити властивості як вхідних замовлень, так і компонентів С&С. Установлено [3, 4, 14, 18], що розробка та вдосконалення інтелектуальних процедур класифікації за неточно визначених та природномовних характеристик даних, а також формування інтелектуальної інформаційної технології (ІТ) оптимального керування потоками замовлень у сервісних системах (ОПЗС&С) становлять значний теоретичний і науковий інтерес [3, 7, 11, 22]. Проте дослідження та застосування подібних ОПЗС&С проведено не в достатній мірі.

В наших попередніх дослідженнях [3, 4] запропоновано та досліджено вдосконалені моделі даних і процедури мереж Хеммінга, призначені для завдань класифікації за багатопараметричних неповних і неточно визначених даних об'єктів замовлень у С&С, а також даних у природномовній формі. Проведені в них числові дослідження дозволили встановити певні переваги моделі коефіцієнтів упевненості $CF(A)$ відносно моделі первинних даних як нечітких множин $\mu X (X \rightarrow [0; 1])$. Як актуальні напрямки подальших досліджень було відзначено необхідність розробки моделей класифікації С&С, а саме визначення нових ознак первинних даних С&С, які потрібно забезпечити в моделях МХН. Також важливим є завдання застосування моделей МХН для вдосконалення процедур ОПЗС&С.

Змістовно завдання щодо розвитку інтелектуальних технологій з оптимізації потоків замовлень у С&С на основі процедур класифікації МХН [3, 4, 11], за неточно визначених характеристик даних, становить таке. Процес функціонування С&С складається з послідовності завдань обслуговування елементів (замовлень), що надходять до системи. При цьому певні па-

раметри елементів можуть бути природномовними характеристиками даних (НВД), неточними або відсутніми. Задачі функціонування С&С полягають у застосуванні до замовлень оптимальних «дій-заходів», які визначають із числа можливих під час урахування стану системи, а також характеристик елементів. Оптимальні властивості керування потоками замовлень визначають шляхом вибору на кожному етапі такої «дії-заходу», що найкращим чином відповідає характеристикам замовлень та станам С&С. Для вибору таких оптимальних дій використовують модель МХН у рамках ІТ.

Мета

Основна мета статті полягає в розвитку математичних моделей та інтелектуальних процедур оптимального керування потоками замовлень у сервісних системах (ОПЗС&С), які враховують неточно визначені та природномовні характеристики даних, а також у формуванні інтелектуальної інформаційної технології на основі модифікованої МХН. У цій роботі представлено результати розробки та дослідження програмних засобів ІТ, призначених для оптимізації процесів ОПЗС&С з НВД.

Методика

Моделі, методи й програмні засоби, призначені для реалізації завдань планування та керування на основі процедур класифікації і кластеризації за неточно визначених даних, а також оптимізації потоків замовлень систем обслуговування, мають значне поширення. Цим завданням та формуванню програмних засобів їх реалізації присвячено багато наукових досліджень. У наших попередніх роботах [3, 4, 18] виконано огляд літературних джерел, який показав значну кількість завдань сфери сервісного обслуговування потоків замовлень, що за своїми властивостями даних є «розмитими», слабо структурованими, неповністю визначеними, потребують експертної оцінки значень. Проведений огляд результатів досліджень та розробок засвідчив широкий спектр додатків для оптимізації сервісних систем, а також значні можливості застосування моделей і методів на основі нечітких та експертних моделей первинних даних спостережень складних систем. Усі

ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

такі моделі та методи принципово є інтелектуальними. Їх застосування завжди спирається на аналіз властивостей процесів обслуговування та конкретного завдання із керування.

Серед найбільш актуальних напрямів досліджень процесів класифікації та керування потоками у С&С відзначимо такі: розвиток загальних нечітких моделей прийняття рішень на основі класифікації [6, 22], нечітких моделей за неточно відомих даних [14, 15], а також реалізація нечітких моделей кластерного аналізу [20]. Застосування нейронної мережі Хеммінга для контролю якості та відновлення некоректних атрибутів метаданих досліджено в [7]. Використання відстані Хеммінга для оцінювання рівня економічної безпеки складних систем наведено в [1]. Установлення авторства шляхом застосування методів класифікації в дослідженнях природномовних текстів подано в [5, 7, 17]. У [10] інтелектуальну процедуру класифікації використовують для зменшення перебору варіантів під час розформування-формування залізничних составів на сортувальних станціях [4].

Для формування інтелектуальних процедур та інформаційної технології з оптимізації потоків у С&С на основі модифікованої мережі Хеммінга (модель МХН), тобто за рахунок реалізації завдань класифікації для вибору елементів керувань, необхідно вирішити сукупність таких завдань.

Перше – розширити коло та запропонувати нові змістовні постановки завдань ОПЗС&С, які відзначаються існуванням неповних і неточно визначених даних, а також даними в природномовній формі.

Друге – удосконалити математичні моделі, а також інтелектуальні процедури оптимізації потоків на основі результатів класифікації за МХН.

Третє – виконати комплекс розробок і досліджень, які забезпечують теоретичний та практичний базис функціонування ІТ для завдань ОПЗС&С, а саме:

- виконати аналіз сфери застосування моделей та інтелектуальних процедур для завдань ОПЗС&С;

- удосконалити математичні моделі процесів ОПЗС&С на основі інтелектуальних процедур МХН, з урахуванням різних показників, які

відображають неточність або природномовну структуру первинних даних;

- розробити програмні засоби для ІТ із класифікації компонентів послідовностей замовлень на основі модифікованих процедур МХН, а також для моделей процесів ОПЗС&С;

- провести числовий експеримент для підтвердження достовірності та ефективності запропонованих моделей і методів процесів ОПЗС&С;

- розробити рекомендації щодо застосування МХН для різноманітних завдань процесів ОПЗС&С за неточно визначених та природномовних характеристик даних.

Результати

Загальний підхід до інтелектуальних процедур ОПЗС&С такий. Для інтелектуальних систем характерною є реалізація деяких загальних завдань інтелектуального змісту (інтерпретація складних даних, узагальнення, прогнозування, зіставлення шаблонів на основі асоціацій та ін. [12]), які виникають під час функціонування технічної або технологічної системи. Для формування інтелектуального змісту процедур керування або оптимізації можна використовувати спеціалізовані інструментарії – моделі й методи нечіткого моделювання, нейронні мережі, генетичні алгоритми і т. под. [4, 7, 14, 18, 20]. Використання цих і подібних моделей призначене для класифікації можливих наборів вхідних даних відповідно до передбачених типів керувань, які виконують на основі результатів аналізу поточних даних. У нашому випадку використовують певні можливості застосування МХН як засобу класифікації та створення інтелектуальних елементів систем керування.

Будемо називати систему виконання замовлень системою продукційного обслуговування (ПСО, або РС&С), якщо в ній керування процесом обслуговування можна представити наведеним нижче чином. Відзначимо зміст і роль інтелектуальних процедур, заснованих на моделях асоціативної пам'яті (АП), які при цьому можна звести до такого. Функціонування певної керівної системи (КС), у тому числі оптимального керування в потоках замовлень, полягає в реалізації деяких «шаблонів дій» відповідно до отриманих оцінок параметрів «поточного стану» КС. Параметри «поточного стану»

ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

характеризують як властивості вхідних елементів, «замовлень», так і власне КС. Через особливості первинних даних, за якими визначають властивості параметрів «поточного стану» складних систем (відсутність даних, неповна або неточна визначеність, природномовні ознаки [5, 7, 17] тощо), необхідно визначити математичні (інформаційні та інші форми) моделі відображення процесів РС&С.

У цій роботі ми застосували продукційні моделі керування за шаблонами [3, 13, 14, 22]. Для забезпечення адекватності формальних структур керування в ПСО за неоднорідних, неповних та збурених даних необхідно передбачити етап моделювання первинних даних – <МД>. При цьому в стандартні ПСО за «шаблонами дій» вигляду

$$ПС = \{ \langle \text{поточний стан} \rangle \rightarrow \langle \text{дії} \rangle \} \quad (1)$$

додаються нові компоненти, що уточнюють загальну структуру (1). З урахуванням зазначених особливостей первинних даних С&С будемо представляти крок керування об'єктом як реалізацію послідовностей етапів типу:

$$а) \{ \langle \text{поточний стан} \rangle \rightarrow \langle \text{МД} \rangle \rightarrow$$

$$\langle \text{розпізнаний шаблон} \rangle \rightarrow \langle \text{дії} \rangle \}. \quad (2)$$

У разі необхідності виконувати також операції узагальнення, або ж прогнозування значень характеристик, процедуру для вибору керівних впливів і керування об'єктом визначають таким чином:

$$б) \{ \langle \text{стан} \rangle \rightarrow \langle \text{МД} \rangle \rightarrow \langle \text{шаблон} \rangle \rightarrow$$

$$\langle \text{прогноз} \rangle \rightarrow \langle \text{дії} V(k) \rangle \}. \quad (3)$$

Наведена структура та сутність завдань керування в ПСО (1) – (3) також полягає в тому, що вони показують процес оптимізації як функціонування певної системи типу «диспетчерського керування ресурсами». На кожному етапі функціонування необхідно на підставі даних про власні характеристики системи, а також про властивості поточного елемента (замовлення), встановити «дії», «прилад» або «виконавця» (описані сукупностями структур даних, шаблонів), що найбільше відповідає вхідному до С&С елементу. При цьому дані як про

властивості С&С, так і про вхідний об'єкт можуть бути неточно визначеними, як зазначено вище.

Можна застосувати різні види процедур функціонування ПСО, що різняться способами оцінки поточного стану, формалізмами моделювання первинних даних, методами створення та відбору шаблонів, процедурами прогнозування, а також змістом і способами реалізації керівних дій (3). У рамках (1) – (3) також можна реалізувати вдосконалене завдання оптимального керування, як розподіл елементів послідовності замовлень між виконавцями в сервісних системах такого вигляду:

$$в) \{ \langle \text{поточний стан} \rangle \rightarrow \langle \text{M1; M2} \rangle \rightarrow$$

$$\langle \text{розпізнаний шаблон} \rangle \rightarrow \langle \text{дії} V(k) \rangle \}. \quad (4)$$

У моделі (4) структури М1 відповідають первинним даним вхідних елементів, а М2 – визначають властивості безпосередньо КС. При цьому до М2 також можуть бути віднесені керування, результати оптимального вибору на попередніх кроках процесу РС&С тощо.

Відзначимо призначення етапу моделювання первинних даних <МД> у процедурах (2) – (4). У статті [3] виконано порівняння можливостей та ефективності використання моделей нечітких величин (НВ), а також коефіцієнтів упевненості $CF(A)$ для вдосконалення МХН. При цьому були запропоновані нові процедури перекодування нечітких показників $\mu_X: X \rightarrow [0; 1]$ до значень стандартної моделі Хеммінга (МХ), $\{-1, +1\}$. Зміст таких процедур полягає в тому, щоб перевести дані про завдання класифікації у формі НВ до стандартних представлень моделі Хеммінга. Для кодування позначимо як A^r змінні зразків (фундаментальна пам'ять), а величиною B^r – нечіткі параметри вхідного вектора, клас якого потрібно встановити. Значення коду НВ встановлює індикатор H_r виду:

$$H_r = \left\{ \begin{array}{l} 1, \text{ за } \mu_A(u_r) \leq \mu_B(u_r); \\ -1, \text{ за } \mu_A(u_r) > \mu_B(u_r), r = 1, 2, \dots, n \end{array} \right\}. \quad (5)$$

За умови ($\mu_A(u_r) = \mu_B(u_r)$) можливе кодування $H_r = 0$.

Відмінність кодування за (5) полягає у зміні представлення зразків $\{A^r\}$ відповідно до вхід-

ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

них даних B' . У разі застосування процедури кодування НВ (5) початкова нечітка модель завдання класифікації стає стандартною для мережі МХ. За рахунок (5) також можна безпосередньо використовувати мережі МХ, але все ж можуть бути однакові коди для різних НВ.

Відзначимо встановлену в [3, 10, 17] особливість щодо застосування саме коефіцієнтів $CF(A)$ для вдосконалення МХН. Формально немає різниці між моделями НВ та $CF(A)$. За відомих оцінок $\mu A(x)$ розраховують відповідне значення, наприклад, як $CF(X_A) = 2 * \mu A(x) - 1$. Замість лінійної моделі $CF(X_A) = f(\mu A(x))$ формально можна використовувати нелінійні, а також нечіткі моделі зв'язку. Зміст вибору показників $CF(A)$ полягає в тому, щоб безпосередньо використовувати мережі МХ для забезпечення достовірності й точності результату класифікації (але з невизначеними характеристиками об'єктів), а також у певних перевагах $CF(A)$ для представлення умов невизначеності [16].

Зупинимося на питанні формування нечіткої моделі щодо зв'язків $CF(XA)$ та $\mu A(x)$. Формування моделі зв'язків як нечіткого відношення $RFUZ(\mu A(x), CF(XA))$ викликано тим, що моделі для оцінювання $CF(XA)$ і $\mu A(x)$ мають різні процедури, передумови застосування, різні типи невизначеності тощо. Тому будемо вважати, що області можливих значень показників μX : $X \rightarrow [0; 1]$ та $CF(A)$: $[-1; +1]$ представляють дискретними нечіткими величинами $X_{FUZ}\{\mu k / val(\mu Xk)\}$, $k=1, 2, \dots, nf$; $CF_{FUZ}\{\mu j / val(\mu CFj)\}$, $j=1, 2, \dots, n_{CF}$. На основі $X_{FUZ}\{*\}$, $CF_{FUZ}\{*\}$ формується таблиця нечіткого відношення $R_{FUZ}(X_{FUZ}, CF_{FUZ})$ [22]. Із використанням $R_{FUZ}(X_{FUZ}, CF_{FUZ})$ відповідно до значення μX_p оцінку μCF_p розраховують із нечіткого рівняння:

$$CF^{\wedge} = X^{\wedge} R_{FUZ}(X_{FUZ}, CF_{FUZ}). \quad (6)$$

У (9) нечітка величина X^{\wedge} представляє поточне значення оцінюваної нечіткої величини (μX_p), CF^{\wedge} відповідний нечіткий результат для коефіцієнтів $CF(A)$, $R_{FUZ}(X_{FUZ}, CF_{FUZ})$ – нечітке відношення. Шляхом дефазифікації [10] CF^{\wedge} визначають дійсне значення показника $CF(A)$.

У цій роботі вибір оптимального керування реалізовано відповідно до структур (2), (4) за рахунок розробки уніфікованих інтелектуаль-

них процедур на основі модифікації нейронної мережі Хеммінга, шляхом застосування МХН [3, 5, 10].

На підставі формальних структур керування в ПСО (1) – (4) в дослідженні будемо вирішувати завдання дискретного оптимального керування сервісними процесами С&С такого змісту. Процес функціонування С&С представляє послідовність «обслуговування» елементів (замовлень, об'єктів), що надходять до системи

$$E(k) = (e_1(X), e_2(X), \dots, e_i(X),$$

$$e_{i+1}(X), \dots, e_k(X), \dots);$$

$$X = (x_1, x_2, \dots, x_j, \dots, x_n), \quad (7)$$

де деякі з характеристик параметрів X можуть бути неточними або навіть відсутніми; k – номер етапу (елемента) обслуговування С&С. Функціонування С&С полягає в застосуванні до поточних $e_i(X)$ певних «дій» (функцій перетворення, призначення виконавців тощо), визначених із числа елементів заданої дискретної множини дій $V(k) = \{v_q(k)\}_p$, $q = 1, 2, \dots, p$; $v_q(k)$ – дія категорії (класу) q на етапі k . Властивість оптимальності керування процесом (6) на кроці k визначають вибір такого елемента $v^*q(k)$ з множини дій $V(k)$, який «найбільше відповідає» характеристикам елементів (5), що реалізує інтелектуальна процедура класифікації за моделлю МХН [3, 10]. У загальному випадку застосування певного керування $v^*q(k)$ може призвести до зміни множини дій $V(k+1) = R(\{V(k), v^*q(k)\})$. При цьому в конкретних процесах С&С функції $R(*)$ корегування множини дій $V(k)$ визначають окремо.

У роботі розглянуто різні варіанти моделі функціонування процедур ОПЗС&С для обслуговування послідовностей замовлень виду (6). Вони відрізняються різними можливостями врахування результатів вибору керувань на попередніх кроках процесу. У першій формі моделей ОПЗС&С (М1ОП) кожний поточний елемент $e_i(X)$ розглядають окремо, ізольовано від інших у (6). При цьому вважають, що результати попереднього оптимального вибору (класу керувань) не впливають на характеристики КС і параметри моделі. У другій формі моделей ОПЗС&С (М2ОП) оптимальний вибір (класу керування) для поточного елемента $e_i(X)$

ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

впливає на можливості обслуговування наступних елементів (6), наприклад, за рахунок зміни характеристик та розподілу ресурсів КС, що реалізується шляхом зміни параметрів шаблонів тощо. Таким чином, в М2ОП необхідно вводити модулі контролю та модифікування ресурсів, відповідних шаблонів класифікації, за етапами процесу ОПЗС&С. Зрозуміло, що для різних завдань та систем обслуговування процесів у загальному випадку необхідні власні функції контролю та модифікування.

Будемо змістовно представляти завдання щодо визначення $v^*q(k)$ (оптимального керування на кроці k) з множини дій $V(k)=\{vq(k)\}_p$ як вибір класу Kq з множини можливих $\{Kj\}_p$ за даними $ek(X)$ (6). Для реалізації такого керування процесами С&С засобами МХН необхідно сформувати вектори ознак K_j , що визначають кожний клас дій, представлених далі в табл. 1. У системах оптимального обслуговування (6) вибір процедур керування з множини $\{Kj\}_p$ різним чином може враховувати властивості С&С під час виконання керувань. Виділимо два класи таких процедур керування за моделями (1) – (6). У першому класі програмного керування М1ОП параметри шаблонів не враховують попередніх дій (класів визначених команд) С&С на попередніх етапах k_1, k_2 та ін. У другому класі керування М2ОП в шаблонах $\{Kj\}_p$, крім вхідних параметрів, окремо виділяють певні властивості характеристик систем управління: $Kj(Sh(X), Sh(C))$. При цьому для вибору на кроці k (шляхом процедур класифікації МХН) класу керування $Kq(k)$ можна враховувати стани С&С на етапах k_1, k_2 тощо. Відмінність структур керування відображено в моделях (1) – (4).

Наведемо приклади реалізації завдань РС&С (6), у яких використано обидва класи та структури моделей керування. Першому класу програмного керування М1ОП відповідають завдання типу: визначення «ролі виконавця» для призначення на посаду (встановлення авторства тексту за характеристиками природно-мовних даних, оцінювання стану об'єкта для «диспетчерського керування» тощо, модель (2)). До другого класу керування М2ОП з шаблонами виду $Kj(Sh(X), Sh(C))$ (4) віднесемо завдання щодо вибору оптимальних операцій перестановок відчепів на кроках процесів розфо-

рмування-формування (РФ) складів составів [8]; обслуговування процесів (6) під час вибору місць та організації паркування автотранспорту або оптимізації процесів його технічного обслуговування; також потрібно враховувати попередні стани С&С.

Далі наведемо реалізацію зазначених процесів обслуговування на основі (2), (4). У [4], щоб зменшити перебір варіантів для вибору оптимальних керувань процесами розформування-формування составів, запропоновано застосувати інтелектуальні процедури класифікації на основі стандартної мережі Хеммінга (МХ), де шаблони та параметри вхідних об'єктів кодуються значеннями з множини $\{-1; +1\}$. Шляхом класифікації поточного стану процесу РФ МХ визначала «найкращу» операцію з числа можливих (ОПУ), яку необхідно виконати на цьому кроці. Основна проблема застосування моделі МХ полягала у формуванні шаблонів для класифікації структури процесу РФ. Для цього були встановлені спеціальні вимоги до кодування поточних станів процесу РФ. Перше – необхідність відображення порядку номерів призначень в атомарних (неподільних) групах (АГ), відчепів: (+1) у випадку зростання або постійних номерів кодів призначення; (-1) у разі їх зменшення, вектор B_1 . Друге – необхідність визначення зв'язків між сусідніми АГ. Для кодування було введене правило послідовності кодів між АГ – проти годинникової стрілки (вектор B_2). При цьому враховано номери останнього коду призначення в поточній АГ, а також першого коду призначення в наступній за правилом обходу групі. Наприклад, за правилами кодування процесів РФ для моделі послідовності АГ у составі (32/54/1/76) маємо таке представлення для МХ: $B_1 = (-1, -1, +1, -1)$; $B_2 = (+1, -1, +1, -1)$. На основі МХ для форматів векторів B_1 і B_2 було реалізовано інтелектуальні процедури упорядкування послідовностей за мовлень, тобто составів АГ, відчепів.

Наведені процедури кодування раз формування-формування составів демонструють нові вимоги до властивостей процесів обслуговування в С&С, а саме врахування порядку та зміни структури й параметрів системи керування, тобто застосування (4). Водночас вектори B_1 і B_2 відображають структурну складову поточного стану процесу РФ, до якого можуть

ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

бути віднесені стани також інших моделей АГ, схожих на (32/54/1/76) виглядів. У шаблонах моделей класифікації бажано представити міру впорядкованості атомарних груп у цілому, що збільшить набір характеристик та змістовність шаблонів поточного стану РФ. Для вдосконалення інтелектуальних процедур типу МХН процесів РФ будемо до шаблонів $B1$ і $B2$ додавати нечіткий показник відносної міри впорядкування АГ в складі – ВМУ зі значеннями $[0; 1]$. Для оцінки ступеня впорядкування за зростанням числових послідовностей, коли

$$\{(n_i < n_j, i < j), i = 1, 2, \dots, n\},$$

у [4] був використаний показник

$$mes(L) = M_L(L) = \sum_{k=1}^n V_k;$$

$$V_k = \sum_{i=1}^{k-1} p_i;$$

$$p_i = \{0; n_i < n_k | n_i - n_k |; else\}. \quad (8)$$

Змістовно (8) підраховує суму «зайвих» елементів ліворуч від кожного члена послідовності L .

Для застосування (8) як характеристики ефективності під час вибору поточних операцій РФ визначимо наступні передумови, сутність яких продемонструємо на прикладі такого складу (3/1/54/6/2), де АГ розділені символом «/», тобто $n_{AG}=5$. Зміст РФ полягає в тому, щоб за рахунок можливих операцій формування порядку $\{(O\Phi_k)\}$ (конкатенацій) отримати $n_{AG}=1$. Для забезпечення цього на етапах РФ буде відібрано лише такі операції $O\Phi_k$, за яких значення n_{AG} не збільшується. Далі до кожного отриманого можливого варіанта v_j структури складу розраховують показник (8) mes_j , величина якого нормується до діапазону $[0; 1]$ як

$$\mu_j = (mes_{MAX} - mes_j) / (mes_{MAX} - mes_{MIN}). \quad (9)$$

Переваги за (9) мають варіанти v_j з більшими оцінками μ_j , які доповнюють вектори $B1$ та $B2$. Послідовність етапів формування порядку для (3/1/54/6/2) на основі (8) – (9) така:

- 1) $V_1 = \{(1/54/6/23), (2/6/43/1/54), (23/1/54/6), (6/2/3/1/54), (54/6/23/1)\}; mes_3 = 4;$
- 2) $V_2 = \{(321/54/6), (4/65/1/32), (23/1/56/4), (6/45/123), (6/45/1/32)\}; mes_1 = 4;$
- 3) $V_3 = \{(6/45/123), (56/4/321), (1/56/4/32), (4321/56), (6/4321/5), \dots\}; mes_4 = 6;$
- 4) $V_4 = \{(654321)\}; mes_1 = 0.$

Послідовність операторів РФ ($O\Phi_k$), що виділені на етапах 1–4, використовує характеристики ситуацій (8) – (9) відповідно до (4), додатково до $B1$ і $B2$ для шаблонів моделі МХН. Практична значимість визначення такого типу послідовностей операцій полягає у зменшенні числа варіантів перебору, оскільки до кожного з них необхідно також подавати показники, наприклад, тягових розрахунків тощо.

За (4) представимо також реалізацію завдання оптимального керування розподілом елементів послідовності замовлень як призначення «місця паркування». У цій С&С виконують вибір паркінгу, що найбільше підходить для певного транспортного засобу. Шаплони, які визначають місця паркування $\{K1, K2, \dots\}$, мають характеристики і моделі $M1$ (відповідають первинним даним вхідних замовлень) і $M2$ – характеристики системи паркування. Також до набору параметрів $M1$ і $M2$ віднесено додаткові параметри, що визначають оцінки певних ознак наборів $M1, M2$ на попередніх етапах (кроки $k1, k2, \dots$), структура керування (4).

Паркінг і транспортні засоби мають такі нечіткі характеристики:

Модель $M1$ {1. Вимоги до ціни паркування 2. Близькість замовника до паркінгу. 3. Оцінка висоти ТЗ. 4. Оцінка ширини ТЗ. 5. Чи є ТЗ електрокаром. 6. Чи має водій обмежені можливості}.

Модель $M2$ {7. Ціна паркування 8. Наявність вільних місць. 9. Максимальна висота ТЗ. 10. Максимальна ширина. 11. Наявність зарядки для електрокарів. 12. Наявність доступу для людей з обмеженими можливостями. 13. Попе-

ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

редне замовлення. 14. Мінімальний термін послуги}.

До параметрів, які відповідають попереднім етапам функціонування C&C, віднесені M1 (2–a), M2 (8–a). Таким чином, оптимальне керування паркуванням реалізовано нечіткими шаблонами (місця паркування $\{K1, K2, \dots\}$) з 14 характеристиками. Місця паркування $\{K1, \dots\}$ визначають, наприклад, так: $K1$ – паркінг найближчий до замовника; $K2$ – знаходиться на середній відстані; $K3$ – знаходиться на середній дальності, має середню ціну; $K4$ – паркінг знаходиться далеко, але має низьку ціну; $K5$ – паркінг найближчий до замовника, є зарядка для електрокарів, враховує обмежені можливості водія. Для керування паркінгом модель МХН на основі ознак ТЗ та паркінгу M1, M2, заданих у форматі $(X1, \dots, X14)$, має встановити шаблон із множини $K1 - K5$, а також змінити величини показників шаблонів M1 (2–a), M2 (8–a) для обраного класу K з $\{K1, K2, \dots\}$. У табл. 1 представлена модель класифікації для завдання вибору паркінгу відповідно до зазначених вище характеристик процесу.

Таблиця 1

Шаблони для визначення $K1 - K5$

Table 1

Templates for determining $K1 - K5$

	$X1$	$X2$	$X3$	$X4$	$X5$
$K1$	0,9	0,8	0,8	0,8	0,5
$K2$	0,7	0,6	0,5	0,8	0,5
$K3$	0,6	0,6	0,5	0,8	0,5
$K4$	0,5	0,4	0,4	0,6	0,4
$K5$	0,9	0,7	1,0	0,8	1,0
	$X6$	$X7$	$X8$	$X9$	$X10$
$K1$	0,5	0,8	0,9	0,8	0,7
$K2$	0,4	0,7	0,8	0,6	0,7
$K3$	0,6	0,6	1,0	0,5	0,8
$K4$	0,5	0,5	0,7	0,5	0,7
$K5$	1,0	0,8	1,0	0,8	0,7

Продовження табл. 1

Continuation of Table 1

	$X11$	$X12$	$X13$	$X14$
$K1$	0,6	0,4	1,0	0,9
$K2$	0,6	0,5	0,7	0,7
$K3$	0,7	0,5	0,8	0,8
$K4$	0,5	0,6	0,6	0,6
$K5$	1,0	0,9	0,1	0,9

Вхідні варіанти замовлень та результати класифікації наведено в табл. 2.

Таблиця 2

Варіанти замовлень та результати класифікації

Table 2

Order options and classification results

	$X1$	$X2$	$X3$	$X4$	$X5$
$K1$	0,7	0,8	0,9	0,9	0,6
$K2$	0,3	0,6	0,5	0,5	0,5
$K3$	0,6	1,0	1,0	0,7	0,9
	$X6$	$X7$	$X8$	$X9$	$X10$
$K1$	0,3	0,7	0,5	0,7	0,8
$K2$	0,6	0,6	0,6	0,4	0,8
$K3$	1,0	0,7	0,9	0,9	0,8
	$X11$	$X12$	$X13$	$X14$	
$K1$	0,5	0,7	0,9	0,8	
$K2$	0,4	0,6	0,8	0,8	
$K3$	1,0	0,8	1,0	0,8	

Проведені дослідження шаблонів табл. 1 показали можливості моделі (7). Так, після реалізації замовлення $B1$ відбулися зміни шаблону $K1$, нові значення $X8$ та $X12$ в табл. 2 підкреслені. Зміни станів системи паркування призвели до того, що такий самий вектор замовлень $B1$ на наступному етапі був віднесений до класу $K2$. Подальші розрахунки показали, що шаблони табл. 2 мають «зайві», надлишкові характеристики. При цьому видалення змінних $X7, X9, X10$ із шаблонів не змінило результати класифікації. Цей приклад показує необхідність під час формування моделей інтелектуальної

ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

технології оптимізації потоків за моделями (2) – (4) досліджувати шаблони на відповідність вимогам щодо достовірності та структурної коректності, наприклад, вимогам методу граничних спрощень (МГС) [21]. Зазначені питання виходять за межі цієї статті.

Представимо реалізацію завдання щодо дослідження природномовних текстів як C&S розподілу елементів послідовності замовлень відповідно до моделі (2). У цій системі виконано класифікацію творів (певних показників їх властивостей) із метою подальшого встановлення авторства [17], відповідно до шаблонів табл. 3. Шаблони моделі класифікації мають такі характеристики: X_1 – математичне очікування; X_2 – середнє квадратичне відхилення; X_3 – рекурентності; X_4 – детермінізм; X_5 – середня довжина діагональних ліній; X_6 – дивергенції; X_7 – ентропія; X_8 – завмирання; X_9 – затримки; X_{10} – середня кількість слів, X_{11} – складів; X_{12} – літер у реченні; X_{13} – середня кількість складів; X_{14} – літер у словах.

Таблиця 3

Шаблони для класифікації творів із метою встановлення авторства

Table 3

Templates for classifying works for the purpose of establishing authorship

	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5
K_1	0,50	0,46	0,61	0,56	0,48
K_2	0,61	0,59	0,36	0,36	0,63
K_3	0,70	0,45	0,31	0,42	0,55
K_4	0,70	0,47	0,36	0,36	0,43
K_5	0,33	0,66	0,30	0,26	0,57
K_6	0,56	0,51	0,53	0,49	0,57
K_7	0,62	0,71	0,55	0,61	0,26
K_8	0,27	0,26	0,25	0,23	0,31
	X_6	X_7	X_8	X_9	X_{10}
K_1	0,27	0,32	0,11	0,34	0,46
K_2	0,36	0,37	0,39	0,45	0,35
K_3	0,38	0,42	0,32	0,77	0,14
K_4	0,33	0,39	0,36	0,54	0,30

Продовження табл. 3

Continuation of Table 3

	X_6	X_7	X_8	X_9	X_{10}
K_5	0,27	0,32	0,26	0,12	0,50
K_6	0,27	0,28	0,27	0,35	0,45
K_7	0,34	0,32	0,30	0,42	0,51
K_8	0,32	0,31	0,23	0,34	0,24
	X_{11}	X_{12}	X_{13}	X_{14}	
K_1	0,45	0,45	0,28	0,45	
K_2	0,39	0,39	0,57	0,59	
K_3	0,14	0,14	0,41	0,45	
K_4	0,32	0,32	0,54	0,59	
K_5	0,72	0,47	0,70	0,68	
K_6	0,43	0,43	0,50	0,58	
K_7	0,45	0,47	0,40	0,41	
K_8	0,40	0,40	0,74	0,71	

Авторами творів (із відповідними шаблонами ознак) були такі письменники: K_1 – Іван Багряний, K_2 – Олександр Довженко, K_3 – Сергій Жадан, K_4 – Михайло Коцюбинський, K_5 – Леся Українка, K_6 – Панас Мирний, K_7 – Іван Франко, K_8 – інші.

Для формування шаблонів досліджено по десять творів кожного автора, на підставі яких окремо визначено характеристики X_1 – X_{14} , а також твори ще 5 авторів (Т. Шевченко, М. Стельмах, О. Вишня, ін.), твори яких класифікували разом, щоб представити множину «інші» (не шаблони K_1 – K_7). Величини X_1 – X_{14} нормували до величин з інтервалу $[0; 1]$. Під час виконання процедур класифікації на мережу подавали також нормовані до $[0; 1]$ значення характеристик контрольованого твору. При цьому модифікована мережа Хеммінга (МХН) правильно визначала класи K_1 – K_7 . У разі подачі безпосередньо шаблону рішення визначалось за один–три цикли роботи алгоритму.

Для наочності представлення процесу класифікації зменшимо кількість варіантів результату, шаблонів. Наприклад, процеси класифікації шаблонів на основі МХН для авторів K_2 та K_3 є такими:

1.1) введення нормованого вектора:

ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

[0,61; 0,59; 0,36; 0,36; 0,63; 0,36; 0,37; 0,39; 0,45; 0,35; 0,39; 0,39; 0,57; 0,59];

1.2) формування матриці шаблонів:

[0,5; 0,46; 0,61; 0,56; 0,48; 0,27; 0,32; 0,11; 0,34; 0,46; 0,45; 0,45; 0,28; 0,45];

[0,61; 0,59; 0,36; 0,36; 0,63; 0,36; 0,37; 0,39; 0,45; 0,35; 0,39; 0,39; 0,57; 0,59];

1.3) визначення першого кроку пошуку за МХН: [1,324; 1,548];

1.4) загальна послідовність класифікації. Результати процесу класифікації за циклами (кількість

[0,55015; 0,8863] → [0,107; 0,61122] → [0; 0,55772]; X_{in} class is: 2 (Довженко).

Відзначимо, що можна використовувати кілька методик нормування показників X_1 – X_{14} , які визначають різні вимоги щодо унікальності класифікацій K_1 – K_7 . Перша методика, застосована в цій роботі, спирається на властивості унікальності сукупності ознак X_1 – X_{14} для класифікацій K_1 – K_7 . Для неї нормування оцінок творів до [0; 1] виконано окремо на основі даних кожного з авторів (досліджуваних класів моделі). Тож класи K_1 – K_7 формуються самостійно, відрізняються структурами наборів ознак. При цьому ми виключили можливість такої самої структури у будь-якого другого класу (автора твору), наприклад, на іншому рівні ознак. Інший підхід базується на загальному одночасному аналізі творів усіх авторів. Отримані при цьому величини X_1 – X_{14} необхідно нормувати до величин з інтервалу [0; 1]. Сформовані на основі зазначеного алгоритму окремого нормування вхідних даних шаблони, що утворюють базу знань моделі МХН, наведено в табл. 3. Їх використання для визначення авторства виявилось доцільним та ефективним.

Приклади нормування для автора.

Ненормовані значення вектора (публікації):

$V_s = \{0,0496; 0,0253; 0,0104; 0,0012; 0,0455; 2,3536; 0,7213; 0,0002; 2,3153; 16,4688; 37,4271; 87,9479; 2,7260; 5,3403\}$, нормовані за $\mu_j = (\text{mesMAX} - \text{mes}_j) / (\text{mesMAX} - \text{mesMIN})$ (12);

$V_n = \{0,6787; 0,6521; 0,4165; 0,3723; 0,3693; 0,6972; 1,0000; 0,0013; 1,0000; 0,9589; 1,0000; 1,0000; 1,0000; 0,7407\}$.

Виконуємо подібні розрахунки для інших публікацій автора. На основі отриманих даних формуємо середнє арифметичне значення для кожного коефіцієнта. Отримуємо шаблон ви-

гляду $V_{out} = \{0,5; 0,46; 0,61; 0,56; 0,48; 0,27; 0,32; 0,11; 0,34; 0,46; 0,45; 0,45; 0,28; 0,45\}$.

Для оцінювання подібності різних методів формування шаблонів класів K_1 – K_7 можна застосовувати різні статистики [9], у першу чергу надаючи перевагу статистиці каппа Коена [8]. Для статистики каппа в статті [2] показано її переваги під час оцінювання чи порівняння ефективності одного або кількох методів/моделей Natural Language Processing (NLP) НЛР. Дослідження методів процедур щодо визначення найбільш ефективних і точних шаблонів моделей інтелектуальної класифікації є предметом окремої публікації.

Як і для табл. 2, у цій роботі ми провели аналіз шаблонів табл. 3 щодо існування надлишкових характеристик, який показав можливості скоротити множину набору ознак X_1 – X_{14} відповідно до вимог методу граничних спрощень (МГС) [21]. Наведемо результати використання спрощених шаблонів для K_1 – K_7 , які мали суттєво меншу кількість параметрів-ознак. Так, для спрощеного варіанта аналізу під час визначення авторства твору лише для K_2 і K_3 у випадку шаблонів із 4 параметрів X_1 – X_4 отримано результати, які повністю відповідають сукупності з параметрів-ознак X_1 – X_{14} . Водночас під час набору параметрів X_{11} – X_{14} класифікація не відбулася.

Приклад з повними даними:

X_{in} :

[0,7323; 0,1906; 1,0; 1,0; 0,2308; 0,7597; 0,7837; 1,0; 0,8595; 0,0105; 0,011; 0,0109; 0,2586; 0,3728];

Matrix template:

[0,7; 0,45; 0,31; 0,42; 0,55; 0,38; 0,42; 0,32; 0,77; 0,14; 0,14; 0,14; 0,41; 0,45] (K_3);

[0,27; 0,26; 0,25; 0,23; 0,31; 0,32; 0,31; 0,23; 0,34; 0,24; 0,4; 0,4; 0,74; 0,71] (K_8);

First step: [1,8; 0,9] → [1,45; 0,29] → [1,35; 0]; X_{in} class is: 1.

Приклад 1 із неповними даними шаблонів (7 з 14):

X_{in} :

[0,7323, 0,1906, 1,0, 1,0, 0,2308, 0,7597, 0,7837; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 0];

Matrix template:

[0,7; 0,45; 0,31; 0,42; 0,55; 0,38; 0,42; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 0] (K_3);

[0,27; 0,26; 0,25; 0,23; 0,31; 0,32; 0,31; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 0];

ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

0; 0; 0; 0] ($K8$);

First step: [1,1; 0,5]. Final vector is [0,85; 0];
Xin class is: 1.

Приклад 2 з неповними шаблонами (2 з 14):

Xin: [0,7323; 0,1906; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 0];

Matrix template:

[0,7; 0,45; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 0];

[0,27; 0,26; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 0];

First step: [0,3; 0,1]. Final vector is [0,25; 0];
Xin class is: 1.

Таким чином, число параметрів табл. 3 може бути скороченим. Для формування ефективних шаблонів необхідно в загальному випадку враховувати вимоги МГС. Питання щодо застосування процедур МГС для моделей виду табл. 3 також потребує додаткових досліджень.

На рис. 1 наведено структуру програмного комплексу, призначеного для виконання інтелектуальних процедур класифікації та впорядкування недетермінованих послідовностей багатопараметричних об'єктів, а також для дослідження таких процедур.

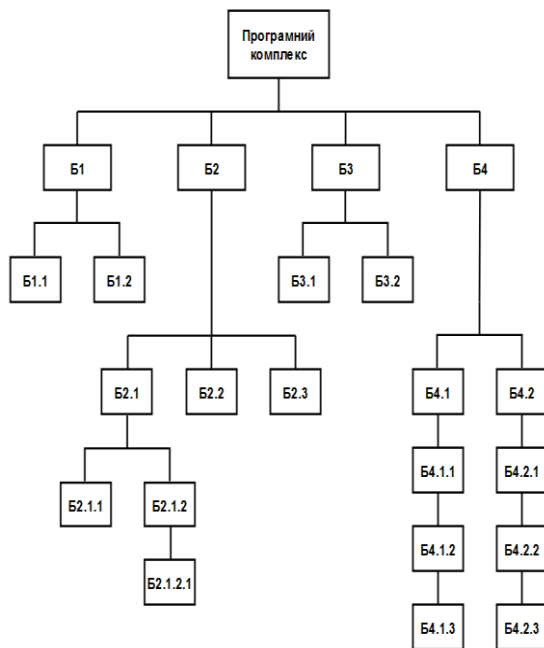


Рис. 1. Структура програмного комплексу з інтелектуальних процедур і програмних засобів оптимізації потоків замовлень сервісних систем

Fig. 1. Structure of the software complex for intelligent procedures and software tools for optimizing order flows of service systems

На рис. 3 наведена структура програмного комплексу з інтелектуальних процедур і програмних засобів оптимізації потоків замовлень сервісних систем (інтелектуальна технологія), де позначено таке. $B1$ – база даних із керування моделями оцінювання властивостей та впорядкування об'єктів процесів на основі класифікації; $B1.1$ – вибір послідовностей даних, які представляють моделі процесів, перегляд властивостей об'єктів; $B1.2$ – збереження / вилучення моделей у БД; $B2$ – формування моделей аналізу об'єктів; $B2.1$ – формування структури шаблонів (класів оцінювання даних) області аналізу (процесів); $B2.1.2$ – формування та збереження шаблонів детермінованих моделей класифікації в БД; $B2.1.2.1$ – формування та збереження шаблонів нечітких моделей класифікації в БД; $B2.2$ – перевірка повноти та коректності системи моделей класифікації; $B2.3$ – відображення шаблонів моделей класифікації цих процесів; $B3$ – оцінювання властивостей об'єктів досліджуваних процесів; $B3.1$ – процедури оцінювання показників щодо властивостей об'єктів; $B3.2$ – відображення властивостей об'єктів; $B4$ – процедури класифікації об'єктів процесів аналізу; $B4.1$ – моделі детермінованих шаблонів ($-1 / +1$), НМХ; $B4.1.1$ – налаштування, розрахунок класу об'єктів аналізу; $B4.1.2$ – оцінювання та інтерпретація результатів класифікації; $B4.1.3$ – відображення результатів щодо класу об'єктів аналізу; $B4.2$ – моделі нечітких шаблонів $[0; 1]$, FNMХ; $B4.2.1$ – налаштування, розрахунок класу за нечіткими даними об'єктів аналізу; $B4.2.2$ – оцінювання та інтерпретація результатів нечіткої класифікації; $B4.2.3$ – відображення результатів щодо класу нечітких об'єктів аналізу.

Програмний комплекс призначений для побудови математичної моделі процесів нечіткої класифікації – шаблонів баз знань для реалізації класифікації, розрахунків процесів класифікації на основі мережі Хеммінга. Комплекс забезпечує автоматизацію обробки завдань нечіткої класифікації щодо визначення класів вхідних елементів на основі їх неточно визначених ознак, прогнозування категорії «виконавця» для вхідних елементів.

Для розробки програми С&С використано мову програмування Python з боку серверної частини програми, клієнтська частина реалізо-

ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

вана за допомогою технології JavaScript / React.js / Redux. Взаємодію та проєктування класів описано UML-діаграмою (рис. 2).

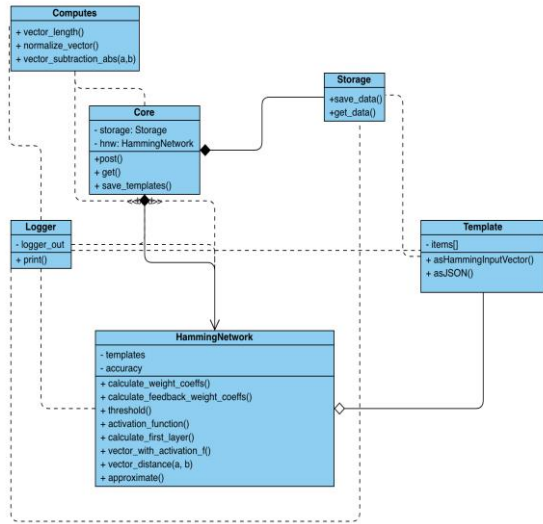


Рис. 2. Діаграма класів серверної (обчислювальної) частини програмного комплексу

Fig. 2. Diagram of classes of the server (computing) part of the software package

HammingNetwork – клас, що реалізує нейронну мережу Хеммінга, методи якого використовують для отримання апроксимації належності вхідного вектора до одного з шаблонів зі списку templates. Template – клас, що описує структуру кожного шаблону, за необхідності можна трансформувати дані як до типу зберігання, так і до типу, що використовує клас HammingNetwork. Logger – клас, що описує логування операцій, виконаних програмою. Computes – клас, у якому описані методи роботи з векторами: довжина, нормалізація вектора, операції над векторами. Storage – клас, що описує методи роботи з базою знань. Core – клас, що отримує на вхід дані, використовуючи REST-протокол щодо написання коду серверної програми, при цьому зв'язує клієнтські дані та обчислення [19].

На рис. 3, *a* показаний вигляд програмного інструменту (набір слайдерів), призначеного для введення параметрів з оцінювання властивостей класів-конкурентів, а на рис. 3, *b* – структури шаблонів для кожного з конкуруючих «виконавців».

a – a



b – b



Рис. 3. Форма інструментів інтерфейсу ІТ:

a – для введення початкових даних моделі;

b – структури шаблонів

Fig. 3. Form of the IT interface tools:

a – for entering the initial data of the model;

b – structure of templates



Рис. 4. Схема представлення результатів класифікації даних в ІТ

Fig. 4. Scheme of data classification results presentation in IT

На рис. 4 на прикладі завдання з оптимального керування процесом вибору місця паркування представлено результати класифікації НВД в рамках програмного забезпечення ІТ. Тут темним кольором показано клас-переможець (найбільша довжина), а для визна-

чення порівняльної ефективності аналізу також подано результати розрахунків для інших класів.

Наукова новизна та практична значимість

У роботі вирішено завдання щодо розробки інтелектуальної інформаційної технології (ІТ) оптимального керування потоками замовлень у сервісних системах (ОПЗС&С), з урахуванням неточно визначених та природномовних характеристик даних (НВД), що реалізована на основі модифікованої мережі Хеммінга (МХН). ІТ функціонує на основі класифікації даних та оптимізації керувань обслуговування потоків замовлень у сервісних системах.

Наукова новизна статті полягає в розвитку та вдосконаленні математичних моделей і продукційних інтелектуальних процедур ОПЗС&С, а також у формуванні ІТ на основі МХН у разі різних моделей невизначеності параметрів вихідних даних (НВД). Розроблено варіанти моделей функціонування процедур ОПЗС&С, у яких елементи потоків розглянуто або ізольовано від інших, або оптимальний для поточного елементу вибір керування впливає на обслуговування наступних елементів.

Запропоновано та досліджено різні форми побудови шаблонів (типів нормування даних) для моделей класифікації на основі МХН. Шляхом числових розрахунків встановлено надмірність кількості параметрів-ознак шаблонів для класифікації завдань авторства текстів. Завдання щодо формування ефективних шаблонів для моделей МХН потребують подальшого дослідження з урахуванням можливостей і вимог статистики каппа Коена та методу граничних спрощень.

Практичну значимість визначається формування ІТ, яка дозволяє виконувати оптимізацію керувань потоками замовлень у сервісних системах з неточно визначеними та природномовними характеристиками даних. Також практичну значимість мають нові постановки завдань ОПЗС&С за різних моделей невизначеності параметрів вихідних даних, а також результати числових експериментальних досліджень, що підтверджують достовірність та ефективність запропонованих моделей, а також інтелектуальної інформаційної технології в цілому.

Висновки

У статті на основі результатів дослідження ефективності моделей урахування характеристик невизначеності первинних даних у модифікованих нейронних моделях класифікації Хеммінга розроблено інтелектуальну інформаційну технологію (ІТ) з оптимізації потоків замовлень у сервісних (обслуговчих), системах (ОПЗС&С). Первинні потоки елементів ІТ відрізняються існуванням неповних і неточно визначених даних, а також даними в природномовній формі.

Запропоновано змістовні постановки завдань ОПЗС&С, що мають неповні та неточно визначені дані, а також дані в природномовній формі, щодо елементів обслуговування.

Для забезпечення адекватності формальних структур керування в ПСО у випадку неоднорідних, неповних та збурених даних удосконалено математичні моделі, а також продукційні інтелектуальні процедури оптимізації потоків на основі результатів класифікації за МХН. Розроблено два варіанти моделей функціонування процедур ОПЗС&С для обслуговування послідовностей замовлень. Вони відрізняються можливостями врахування результатів вибору керувань на попередніх кроках процесу. У першій М1ОП кожний поточний елемент розглянуто окремо, ізольовано від інших, тобто результати попереднього оптимального вибору не впливають на характеристики керівної системи. У другій формі моделей М2ОП оптимальний вибір для поточного елемента впливає на обслуговування наступних елементів.

Виконано комплекс розробок і досліджень, які забезпечують теоретичний та практичний базис функціонування МХН у завданнях ОПЗС&С у формі ІТ. При цьому:

- удосконалено математичні моделі та процедури ІТ для процесів ОПЗС&С на основі МХН, з урахуванням показників, які відображають неточність або природномовну структуру первинних даних;
- розроблено програмні засоби із класифікації на основі модифікованих процедур МХН, а також для моделей процесів ОПЗС&С;
- проведено числовий експеримент із підтвердження достовірності та ефективності запропонованих засобів ІТ;

ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

– розроблено рекомендації щодо застосування МХН для завдань ОПЗС&С за неточно визначених та природномовних характеристик даних.

Подальші дослідження необхідно спрямувати на подальшу розробку моделей класифікації С&С з неточно визначеними та природномовними даними, а також на їх застосування для вдосконалення та оптимізацію технологічних процесів С&С.

Необхідно розглянути питання щодо нових ознак первинних даних С&С для забезпечення в моделях МНХ. Це вплине на моделі вхідних даних, що представляють об'єкти під час класифікації. Наприклад, у завданнях вибору оптимальних процедур на етапах розформування-

формування залізничних составів необхідно враховувати послідовності зміни номерів станцій призначення у відчепках як новий фактор для оцінювання первинних даних.

Мають велике значення та представляють значний теоретичний і прикладний інтерес питання щодо визначення кількості та структури шаблонів (редукція моделей, різні попередні перетворення системи шаблонів тощо), а також порівняльних властивостей окремих шаблонів, для підвищення достовірності результатів та ефективності класифікації на основі МХН, дослідження можливостей і вимог статистики каппа Коена та методу граничних спрощень для систем С&С.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Васильев В. И. Индукция и редукция в проблемах экстраполяции. *Кибернетика и вычислительная техника*. 1998. Вып. 116. С. 65–81.
2. Великованенко Г. І. Оцінювання рівня економічної безпеки на підґрунті відстані Хеммінга. 2018. URL: <https://core.ac.uk/download/pdf/197269753.pdf>
3. Колесник А. С., Хайрова Н. Ф. Обґрунтування використання статистики каппа Коена в експериментальних дослідженнях NLP Text Mining. *Кибернетика та системний аналіз*. Т. 58, № 2. 2022. С. 143–153.
4. Скалозуб В. В., Горячкін В. М., Клименко І. В., Терлецький І. А., Терленко А. П. Дослідження процедур мережі хеммінга для управління сервісними системами при неточно визначених і природномовних даних. *Наука та прогрес транспорту*. 2022. № 3-4 (99-100). С. 33–47. DOI: <https://doi.org/10.15802/stp2022/276411>
5. Скалозуб В. В., Горячкін В. М., Терлецький І. А. Інтелектуальні процедури упорядкування послідовностей замовлень неоднорідними операторами формування. *Транспортні системи та технології перевезень*. 2021. Вип. 22. С. 67–79. DOI: <https://doi.org/10.15802/tstt2021/247885>
6. Шинкаренко В. І., Демидович І. М. Визначення ознак авторства природномовних текстів. *Штучний інтелект*. 2018. № 3. С. 27–35.
7. Berkovich M., Leimeister J. M., Hoffmann A., Helmut Krcmar H. A requirements data model for product service systems. *Requirements Engineering*. 2014. Vol. 19. P. 161–186. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00766-012-0164-1>
8. Cao Y., Ying M., Chen G. Retraction and generalized extension of computing with words. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*. Vol. 15. Iss. 6. P. 1238–1250. DOI: <https://doi.org/10.1109/tfuzz.2007.896301>
9. Cohen J. A coefficient of agreement for nominal scales. *Educational and Psychological Measurement*. 1960. Vol. XX, No. 1. P. 37–46. DOI: <https://doi.org/10.1177/001316446002000104>
10. Freitag R. M. Ко. Kappa statistic for judgment agreement in Sociolinguistics / Estatística Kappa para concordância de julgamento em Sociolinguística. *Revista de Estudos da Linguagem*. 2019. Vol. 27, No. 4. P. 1591–1612. DOI: <https://doi.org/10.17851/2237-2083.0.0.1591-1612>
11. Haykin S. *Neural networks: A Comprehensive Foundation*. Prentice hall : New Jersey, 1999. 1103 p.
12. Hopfield J. J. Pattern recognition computation using action potential timing for stimulus representation. *Nature*. 1995. Vol. 376. P. 33–36. DOI: <https://doi.org/10.1038/376033a0>
13. Kim Y., Doh K.-G. The Service Modeling Process Based on Use Case Refactoring. *Business Information Systems, 10th International Conference BIS 2007* (April 25-27, 2007). Poznan, Poland. P. 108–120. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-540-72035-5_9
14. Kloock-Schreiber D., Gembariski P. Ch., Lachmayer R. Modeling and configuration for Product-Service Systems: State of the art and future research. *International Configuration Workshop*. 2017. Vol. 19. P. 72–79.
15. Korb K. B., Nicholson A. E. *Bayesian Artificial Intelligence*. CRC Press, 2010. 491 p.

ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

16. Li Min Fu, Shortliffe E. H. The application of certainty factors to neural computing for rule discovery. *IEEE Transactions on Neural Networks*. 2000. Vol. 11. Iss. 3. P. 647–657. DOI: <https://doi.org/10.1109/72.846736>
17. Munandar Tb. Ai., Suherman, Sumiati. The Use of Certainty Factor with Multiple Rules for Diagnosing Internal Disease. *International Journal of Application or Innovation in Engineering & Management (IJAEM)*. 2012. Vol. 1. Iss. 1. P. 58–63.
18. Poels G. *The Resource-Service-System Model*. 2009. URL: https://www.researchgate.net/publication/228674056_The_Resource-Service-System_Model
19. Shynkarenko V. I., Demidovich I. M. Authorship Determination of Natural Language Texts by Several Classes of Indicators with Customizable Weights. *COLINS-2021: 5th International Conference on Computational Linguistics and Intelligent Systems* (April 22–23, 2021). Vol. I. Lviv, Ukraine. P. 832–844.
20. Skalozub V., Horiachkin V., Klymenko I. (2022). Models and intellectual technologies used for analysis and process management under uncertainty. *Access Journal - Access to Science, Business, Innovation in the Digital Economy*. Vol. 3. Iss. 2. P. 185–200. DOI: [https://doi.org/10.46656/access.2022.3.2\(8\)](https://doi.org/10.46656/access.2022.3.2(8))
21. Tilkov S, Vinoski S. Node.js: Using JavaScript to Build High-Performance Network Programs. *IEEE Internet Computing*. 2010. Vol. 14. Iss. 6. P. 80–83. DOI: <https://doi.org/10.1109/mic.2010.145>
22. Timm H. Fuzzy cluster analysis of classified data. *Proceedings Joint 9th IFSA World Congress and 20th NAFIPS International Conference (Cat. No. 01TH8569)*. 2001. Vol. 3. P. 1431–1436. DOI: <https://doi.org/10.1109/nafigs.2001.943759>

V. V. SKALOZUB^{1*}, V. M. HORIACHKIN^{2*}, I. A. TERLETSKYI^{3*}

^{1*}Dep. «Computer and Information Technology», Ukrainian State University of Science and Technologies, Lazaryan St., 2, Dnipro, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 35, e-mail skalozub.vl.v@gmail.com, ORCID 0000-0002-1941-4751

^{2*}Dep. «Computer and Information Technology», Ukrainian State University of Science and Technologies, Lazaryan St., 2, Dnipro, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 35, e-mail vgora@ukr.net, ORCID 0000-0002-8952-952X

^{3*}Dep. «Computer and Information Technology», Ukrainian State University of Science and Technologies, Lazaryan St., 2, Dnipro, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 35, e-mail igor.terletskiy.96@gmail.com, ORCID 0000-0001-9187-3955

Intelligent Technology for Optimizing the Management of Order Flows of Service Systems With Imprecisely Defined and Natural Language Data

Purpose. The tasks of data classification and optimization of order flow management in service systems are widespread. The development of an intelligent information technology (IIT) for optimal management of order flows in service systems (OMFS&S), taking into account imprecisely defined and natural language data characteristics (IDD), implemented on the basis of a modified Hamming network (MHN), is currently relevant, scientific and practical. The main purpose of the work is to develop and improve mathematical models and procedures of the OMFS&S and the formation of IIT based on the MHN with IDD. **Methodology.** New formulations of the tasks of the OMFS&S, which are characterized by the IDD, are proposed. Mathematical models and intellectual procedures for optimizing the flows of OMFS&S based on MHN have been improved. Software tools for IIT based on MHN and procedures of OMFS&S processes were developed. Numerical studies of the correctness and efficiency of solutions were carried out. **Findings.** New task formulations of the OMFS&S according to the IDD were formed, which differ in the ability to take into account the results of the choice of controls in the previous steps. Improved mathematical models and productive intellectual procedures of the OMFS&S based on MHN were developed, and the scope of their application was analyzed. IIT software tools for the processes of OMFS&S with IDD were developed and studied, and a numerical experiment was conducted to confirm the reliability and efficiency of the proposed models and methods of OMFS&S processes. **Originality.** The paper improves mathematical models and productive intelligent procedures for optimizing flows based on the results of classification by MHN. Variants of models for the functioning of OMFS&S procedures have been developed, where flow elements are considered either in isolation from others, or the optimal control choice for the current element affects the maintenance of subsequent elements. **Practical value.** The intelligent information technology developed on the basis of modified Hamming networks allows optimizing the management of order flows in service systems with imprecisely defined and natural language data characteristics.

Keywords: service systems; order flows; optimization; product procedures; uncertainty conditions; natural language data; modified Hamming networks; intelligent information technology; software

REFERENCES

1. Vasilev, V. I. (1998). Induktsiya i reduktsiya v problemakh ekstrapolyatsii. *Cybernetics and Computer Engineering*, 116, 65-81. (Russian)
2. Velykoivanenko, Gh. I. (2018). *Ocinjuvannja rivnja ekonomichnoji bezpeky na pidgrunti vidstani Khemmingha*. Retrieved from <https://core.ac.uk/download/pdf/197269753.pdf>
3. Kolesnyk, A. S., & Khairova, N. F. (2022). Justification for the use of Cohen's kappa statistic in experimental studies of NL Pand Text Mining. *Kibernetika Systemnyi Analiz*, 58(2), 143-153. (in Ukrainian)
4. Skalozub, V. V., Horiachkin, V. M., Klymenko, I. V., Terletskiy, I. A., & Terlenko, A. P. (2022). Investigation of Hamming Network Procedures for Controlling Service Systems with Imprecisely Defined and Natural Language Data. *Science and Transport Progress*, 3-4(99-100), 33-47. DOI: <https://doi.org/10.15802/stp2022/276411> (in Ukrainian)
5. Skalozub, V., Horiachkin, V., & Terletskii, I. (2021). Intellectual Procedures for Ordering Sequence Orders by Inhomogeneous Forming Operators. *Transport Systems and Transportation Technologies*, 22, 67-79. DOI: <https://doi.org/10.15802/tstt2021/247885> (in Ukrainian)
6. Shynkarenko, V. I., & Demidovich, I. M. (2021). Determination of the attributes of authorship of natural texts. *Artificial intelligence*, 3, 27-35. (in Ukrainian)
7. Berkovich, M., Leimeister, J. M., Hoffmann, A., & Krcmar, H. (2012). A requirements data model for product service systems. *Requirements Engineering*, 19(2), 161-186. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00766-012-0164-1> (in English)
8. Cao, Y., Ying, M., & Chen, G. (2007). Retraction and Generalized Extension of Computing With Words. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 15(6), 1238-1250. DOI: <https://doi.org/10.1109/tfuzz.2007.896301> (in English)
9. Cohen, J. (1960). A Coefficient of Agreement for Nominal Scales. *Educational and Psychological Measurement*, XX(1), 37-46. DOI: <https://doi.org/10.1177/001316446002000104> (in English)
10. Freitag, R. M. Ko. (2019). Kappa statistic for judgment agreement in Sociolinguistics / Estatística Kappa para concordância em Sociolinguística. *Revista de Estudos da Linguagem*, 27(4), 1591-1612. DOI: <https://doi.org/10.17851/2237-2083.0.0.1591-1612> (in English)
11. Haykin, S. (1999). *Neural networks: A Comprehensive Foundation*. Prentice hall: New Jersey. (in English)
12. Hopfield, J. J. (1995). Pattern recognition computation using action potential timing for stimulus representation. *Nature*, 376, 33-36. DOI: <https://doi.org/10.1038/376033a0> (in English)
13. Kim, Y., & Doh, K.-G. (2007, April). The Service Modeling Process Based on Use Case Refactoring. *Business Information Systems, 10th International Conference BIS 2007* (pp. 108–120). Poznan, Poland. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-540-72035-5_9 (in English)
14. Kloock-Schreiber, D., Gembariski, P. Ch., & Lachmayer, R. (2017). Modeling and configuration for Product-Service Systems: State of the art and future research. *International Configuration Workshop*, 19, 72-79. (in English)
15. Korb, K. B., & Nicholson, A. E. (2010). *Bayesian Artificial Intelligence*. CRC Press. (in English)
16. Li Min Fu, & Shortliffe, E. H. (2000). The application of certainty factors to neural computing for rule discovery. *IEEE Transactions on Neural Networks*, 11(3), 647-657. DOI: <https://doi.org/10.1109/72.846736> (in English)
17. Munandar, Tb. Ai., & Suherman, Sumiati. (2012). The Use of Certainty Factor with Multiple Rules for Diagnosing Internal Disease. *International Journal of Application or Innovation in Engineering & Management (IJAIEM)*, 1(1), 58-63. (in English)
18. Poels, G. (2009). The Resource-Service-System Model. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/228674056_The_Resource-Service-System_Model (in English)
19. Shynkarenko, V. I., & Demidovich, I. M. (2021, April). Authorship Determination of Natural Language Texts by Several Classes of Indicators with Customizable Weights. In *COLINS-2021: 5th International Conference on Computational Linguistics and Intelligent Systems* (Vol. I., pp. 832-844). Lviv, Ukraine. (in English)
20. Skalozub, V., Horiachkin, V., & Klymenko, I. (2022). Models and intellectual technologies used for analysis and process management under uncertainty. *Access Journal - Access to Science, Business, Innovation in the Digital Economy*, 3(2), 185-200. DOI: [https://doi.org/10.46656/access.2022.3.2\(8\)](https://doi.org/10.46656/access.2022.3.2(8)) (in English)
21. Tilkov, S., & Vinoski, S. (2010). Node.js: Using JavaScript to Build High-Performance Network Programs. *IEEE Internet Computing*, 14(6), 80-83. DOI: <https://doi.org/10.1109/mic.2010.145> (in English)

ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

22. Timm, H. (2001). Fuzzy cluster analysis of classified data. In *Proceedings Joint 9th IFSA World Congress and 20th NAFIPS International Conference (Cat. No. 01TH8569)* (Vol. 3, pp. 1431-1436).
DOI: <https://doi.org/10.1109/nafips.2001.943759> (in English)

Надійшла до редколегії: 07.02.2023

Прийнята до друку: 16.06.2023