

<https://doi.org/10.15407/csc.2024.02.010>
УДК 519.816+339.9:339.128

Н.К. ТИМОФІЄВА, доктор техн. наук, старший науковий співробітник, зав. відділом, Міжнародний науково-навчальний центр інформаційних технологій і систем НАН та МОН України, 03187, м. Київ, просп. Академіка Глушкова, 40, Київ, Україна, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0312-1153>, tymNad@gmail.com

Н.Є. ПАВЛЕНКО, науковий співробітник, Міжнародний науково-навчальний центр інформаційних технологій і систем НАН та МОН України, 03187, м. Київ, просп. Академіка Глушкова, 40, Київ, Україна, ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-5660-8669>, Pavnata@gmail.com

С.А. ШЕВЧЕНКО, молодший науковий співробітник, Міжнародний науково-навчальний центр інформаційних технологій і систем НАН та МОН України, 03187, м. Київ, просп. Академіка Глушкова, 40, Київ, Україна, ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-2096-3648>, shvesta@ukr.net

СПОСОБИ КЛАСИФІКАЦІЇ ЦИФРОВИХ ПЛАТФОРМ

Розглядаються способи класифікації цифрових платформ та наведено ознаки, за якими здійснюється така класифікація. Математичну модель цієї задачі змодельовано в рамках теорії комбінаторної оптимізації. Показано, що вона належить до широкого класу задач розбиття, в яких аргументом цільової функції є розбиття n -елементної множини на підмножини.

Ключові слова: цифрові платформи, класифікація, розбиття n -елементної множини на підмножини, задачі розбиття, комбінаторна оптимізація.

Вступ

Інтерес до дослідження цифрових платформ (ЦП) зумовлено їхньою поширеністю та залежністю цього феномену від можливостей використання інформаційних технологій. Дедалі ширше розповсюдження та великий потенціал ЦП пов'язано не лише із застосуванням нового обладнання та програмного забезпечення, а й інтеграцією цифрових технологій у бізнес-про-

цеси. Необхідність глибшого розуміння відмінностей та подібностей різних ЦП спонукає дослідників звернутися до фундаментального механізму організації знань — класифікації. З практичного погляду класифікація допомагає порівнювати різні ЦП та дає змогу користувачам обирати ту з них, яка забезпечує отримання бажаних результатів.

Задача класифікації ЦП полягає у виявленні специфічних та спільних характеристик для

Cite: Тимофієва Н.К., Павленко Н.Є., Шевченко С.А. Способи класифікації цифрових платформ. *Control Systems and Computers*, 2024, 2, 10—20. <https://doi.org/10.15407/csc.2024.02.010>

© Видавець ВД «Академперіодика» НАН України, 2024. Стаття опублікована на умовах відкритого доступу за ліцензією CC BY-NC-ND (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>)

побудови кластерів із використанням різних підходів. При моделюванні та розв'язанні задачі класифікації використовують статичні методи та методи машинного навчання. Найпоширенішими серед них є метод найближчого сусіда та метод опорних векторів. Для побудови математичної моделі використано теорію комбінаторної оптимізації.

Аналіз останніх досліджень і публікацій за темою

Для моделювання та розв'язання задачі класифікації розроблено багато способів [1—3]. Класифікатори умовно поділяють на статичні методи та методи машинного навчання. До статичних методів належать: байєсівська наївна класифікація, логістична регресія, дискримінантний аналіз. До методів машинного навчання належать: класифікація за допомогою дерев рішень, штучних нейронних мереж, алгоритмів покриття; метод опорних векторів, метод найближчого сусіда.

Розглянемо деякі з цих методів. Метод найближчих сусідів працює за допомогою пошуку найкоротшої дистанції між об'єктом, що тестується, і найближчими до нього об'єктами, які необхідно класифікувати. Об'єкт, що досліджується, належить до того класу, до якого належить найближчий об'єкт із набору. Робота методу опорних векторів полягає у нанесенні лінії між різними кластерами точок, які потрібно згрупувати у класи. З одного боку лінії будуть точки, що належать одному класу, з іншого боку — до іншого класу. Класифікатор намагається збільшити відстань між лініями, що наносяться, і точками на різних сторонах, щоб збільшити свою «впевненість» щодо визначення класу. Коли всі точки побудовано, сторона, на яку вони падають, це клас, якому ці точки належать.

Попри те, що класифікацією займаються не одне десятиліття, її точну математичну постановку ще не розроблено. Як правило, формальну постановку деяких задач цього класу здійснюють у термінах математичної статистики або з використанням термінології теорії бінарних відношень. При їхньому розв'язанні ви-

никає ситуація невизначеності, яка пов'язана з неповною вхідною та поточною інформацією. Ситуація невизначеності в цих задачах пов'язана з особливостями структури вхідної інформації, структурою аргументу цільової функції, яка в літературі не висвітлюється.

Складність цих задач полягає в тому, що результат їхнього розв'язання не завжди залежить лише від вхідної інформації. До того ж у задачах з нечіткими вхідними даними, крім кількості операцій, затрачених на знаходження глобального розв'язку, необхідно враховувати й міри подібності, які тут відіграють основну роль і від правильного вибору яких значною мірою залежить сам результат, а одержаний за змодельованою цільовою функцією глобальний розв'язок у них не завжди збігається з метою дослідження. Тобто, виникає ситуація невизначеності, пов'язана з моделюванням цільової функції та неповною вхідною і поточною інформацією.

Для визначення факторів, від яких залежить оптимальний розв'язок, сформуємо задачу класифікації в термінах теорії комбінаторної оптимізації

Підхід, що пропонується

Для побудови математичної моделі задачі класифікації використано теорію комбінаторної оптимізації, що дає змогу дослідити деякі властивості цієї задачі. Аргумент цільової функції в ній є розбиття n -елементної множини на підмножини. Ця комбінаторна конфігурація може бути з повтореннями, і без повторень, скінченна, і нескінченна. При знаходженні оптимального значення виникає ситуація невизначеності, пов'язана із структурою аргументу цільової функції — комбінаторною конфігурацією.

Математична постановка задачі комбінаторної оптимізації

Задачі комбінаторної оптимізації, як правило, задаються на одній або кількох множинах, наприклад $A = \{a_1, \dots, a_n\}$ та $B = \{b_1, \dots, b_n\}$, елементи яких мають будь-яку природу [4]. Назвемо ці множини *базовими*. Найвні два типи задач. У *першому* типі кожному з цих множин подамо у

вигляді графа, вершинами якого є її елементи, а кожному ребру поставлено у відповідність число $c_{lt} \in R$, яке називають вагою ребра (R — множина дійсних чисел); $l \in \{1, \dots, n\}$, $t \in \{1, \dots, \tilde{n}\}$, n — кількість елементів множини A , \tilde{n} — кількість елементів множини B . Покладемо, що $n = \tilde{n}$. Між елементами цих множин існують зв'язки, числове значення яких назвемо вагами. Величини c_{lt} назвемо *вхідними* даними і задамо їх матрицями. У *другому* типі задач між елементами заданої множини зв'язків немає, а вагами є числа $v_j \in R$, $j \in \{1, \dots, n\}$, яким у відповідність поставлено деякі властивості цих елементів, числові значення яких задаються скінченними послідовностями, що також є вхідними даними. Ці величини визначають значення цільової функції.

Для обох типів задач із елементів однієї або кількох базових множин, наприклад $a_l \in A$, $l \in \{1, \dots, n\}$, утворюється комбінаторна множина W — сукупність комбінаторних конфігурацій певного типу (перестановки, вибірки різних типів, розбиття тощо). На елементах w комбінаторної множини W вводиться цільова функція $F(w)$. Необхідно знайти елемент w^* множини W , для якого $F(w)$ набуває екстремального значення при виконанні певних обмежень.

Під комбінаторною конфігурацією розуміємо будь-яку сукупність елементів, яка утворюється з усіх або з деяких елементів заданої базової множини $A = \{a_1, \dots, a_n\}$ [4]. Позначимо її впорядкованою множиною $w^k = (w_1^k, \dots, w_\eta^k)$, де $\eta \in \{1, \dots, n\}$ — кількість елементів у w^k (в подальшому η позначатимемо і як η^k), $W = \{w^k\}_1^q$ — множина комбінаторних конфігурацій, k — порядковий номер w^k в упорядкованій множині W , $k \in \{1, \dots, q\}$, q — кількість w^k у W . Комбінаторну конфігурацію позначатимемо як з верхнім індексом w^k , так і без індексу w .

Рекурентним комбінаторним оператором назвемо сукупність правил, за якими з елементів базової множини A утворюється комбінаторна конфігурація w^k . Різноманітні типи комбінаторних конфігурацій утворюються за допомогою трьох рекурентних комбінаторних операторів: вибирання, транспозиція та арифметичний [4].

Означення 1. Дві нетотожні комбінаторні конфігурації $w^k = (w_1^k, \dots, w_{\eta^k}^k)$ та $w^i = (w_1^i, \dots, w_{\eta^i}^i)$ назвемо *ізоморфними*, якщо $\eta^k = \eta^i$, $k \neq i$, $i \in \{1, \dots, q\}$.

Означення 2. Підмножину $W_{\eta^k} \subset W$ назвемо підмножиною ізоморфних комбінаторних конфігурацій, якщо її елементи — ізоморфні комбінаторні конфігурації.

Множина W упорядковується підмножинами ізоморфних комбінаторних конфігурацій.

Якщо комбінаторні конфігурації множини W утворено кількома рекурентними комбінаторними операторами, то вони можуть бути як ізоморфними, так і неізоморфними, а W упорядковується підмножинами $W_\eta \subset W$.

Оскільки операція транспозиції у перестановці змінює лише порядок слідування елементів у $w^k \in W$, то множина перестановок W є множиною ізоморфних комбінаторних конфігурацій.

Математична модель задачі класифікації, як задачі комбінаторної оптимізації

За способом обчислення цільової функції виокремимо задачі комбінаторної оптимізації, у яких для певного варіанту розв'язання значення цільової функції обчислюється одночасно. Такі задачі назвемо статичними. Задачі, в яких у процесі їхнього розв'язання генерується поточна інформація, за якою оцінюється результат, а пошук оптимального розв'язку здійснюється поетапно з обчисленням часткових сум цільової функції, назвемо динамічними.

Розглянемо клас задач розбиття, в яких аргументом цільової функції є розбиття n -елементної базової множини A на η підмножин [5]. Назвемо множину підмножин $\rho = (\rho_1, \dots, \rho_\eta)$ такою, що $\rho_1 \cup \dots \cup \rho_\eta = A$, $\rho_p \cap \rho_l = \emptyset$, $p \neq l$, $\rho_p \neq \emptyset$, $p, l \in \{1, \dots, \eta\}$. Непуста підмножина $\rho_p = \{a_1, \dots, a_{\xi_p}\}$, $a_s \in A$, $s \in \{1, \dots, n\}$ може мати від 1 до n елементів ($\xi_p \in \{1, \dots, n\}$). Кількість підмножин ρ_p у розбитті ρ може бути від 1 до n ($\eta \in \{1, \dots, n\}$). Їхню множину позначимо W .

Розбиття ρ у множині W утворюється двома рекурентними комбінаторними операторами: або арифметичним або транспозицією.

Справді, утворення ρ у множині W можна здійснювати так, що елемент $a_s \in \rho$ з однієї підмножини забирається, а до другої додається. Якщо підмножина не містить жодного елемента, то вона забирається. За необхідності утворюється нова підмножина. Іншими словами, кількість підмножин ρ_j множини ρ і кількість у кожній із них елементів визначається певним розбиттям числа. Розбиття числа n утворюється арифметичним рекурентним комбінаторним оператором. З цього випливає, що утворення розбиттів у W здійснюється оговореним оператором.

Нескладно помітити, що при генеруванні множини W у деяких ρ елементи, які перебувають у різних підмножинах, змінюють порядок їхнього слідування, тобто для утворення розбиттів необхідно, крім арифметичного рекурентного комбінаторного оператора використовувати і транспозицію.

Два розбиття ρ^k і ρ^i назвемо ізоморфними, якщо кількість їхніх підмножин є однаковою, і для будь-якої підмножини $\rho_p^k \subset \rho^k$ можна знайти у множині ρ^i підмножину ρ_p^i , яка не відрізняється від ρ_p^k кількістю елементів, а відрізняється самими елементами; $k, i \in \{1, \dots, q\}$ — порядкові номери ρ^k і ρ^i у множині W , q — їхня кількість у W .

Підмножину $W_\eta \subset W$ назвемо підмножиною ізоморфних розбиттів, якщо її елементи — ізоморфні розбиття.

Для моделювання цільової функції в задачі кластеризації необхідно а) урахувати множини ознак заданих елементів; б) для визначення подібності елементів запровадити міру подібності; в) визначити спосіб оцінки кластера.

При розробленні алгоритмів розв'язання задачі кластеризації необхідно враховувати, що змодельована цільова функція для заданого впорядкування розбиттів змінюється як кусково-монотонна функція незалежно від вхідних даних, тобто в цій задачі за способом моделювання цільової функції та за структурою аргументу виникає ситуація невизначеності. Щоб одержати коректний результат варто оцінку розв'язання задачі для різних підмножин ізоморфних розбиттів здійснювати за додатковими критеріями.

В задачі класифікації виокремимо такі підзадачі:

а) задано скінченну базову множини A . Класи можуть бути як задано так і не задано. Необхідно розподілити елементи базової множини по класах так, щоб останні не перетиналися. Ця задача зводиться до задачі кластеризації;

б) задано скінченну базову множини A . Класи можуть бути як задано так і не задано. Елементи множини A розподіляються так, що один і той же елемент може належати різним класам. В цьому разі аргументом цільової функції є розбиття n -елементної множини A на η підмножин з повтореннями;

в) задано нескінченну базову множини, частина елементів якої відома, а частина визначається в процесі розв'язання задачі, тобто інформація надходить в процесі розв'язання задачі та змінюється в часі. Аргументом цільової функції в ній є часткове розбиття нескінченної множини A на η підмножин з повтореннями. У цьому разі вводиться часткова цільова функція та часткове розбиття.

Оскільки для перших двох задач розбиття утворюється з елементів скінченної множини, яке характерне для задачі кластеризації, розглянемо аргумент цільової функції для третьої задачі. Введемо базову нескінченну множини \tilde{A} , в якій елементи \tilde{a}_s для $s = 1, n$ задано, а для $s > n$ визначаються в процесі розв'язання задачі. З відомих елементів $\tilde{a}_r \in \tilde{A}$, $r = 1, \tilde{q}$, утворюємо часткове розбиття множини \tilde{A} на η підмножин $\tilde{\rho} = (\tilde{\rho}_1, \dots, \tilde{\rho}_\eta)$, $\tilde{q} > n$ — кількість відомих елементів. Тоді множина підмножин $\tilde{\rho} = (\tilde{\rho}_1, \dots, \tilde{\rho}_\eta)$ має такі характеристики: $\tilde{\rho}_1 \cup \dots \cup \tilde{\rho}_\eta = \tilde{A}$, $\tilde{\rho}_p \cap \tilde{\rho}_l = \emptyset$ або $\tilde{\rho}_p \cap \tilde{\rho}_l \neq \emptyset$, $p \neq l$, $\tilde{\rho}_p \neq \emptyset$, $p, l \in \{1, \dots, \eta\}$. Непуста підмножина $\tilde{\rho}_p = \{\tilde{a}_1, \dots, \tilde{a}_{\xi_p}\}$ може мати від 1 до q' елементів ($\xi_p \in \{1, \dots, q'\}$), $\eta \in \{1, \dots, \tilde{q}\}$, $q' > \tilde{q}$, $\tilde{a}_r = \tilde{a}_s$ або $\tilde{a}_r \neq \tilde{a}_s$, $\tilde{a}_r, \tilde{a}_s \in \rho_{p_2}$, $r, s \in \{1, \dots, \xi_p\}$, їхню множини позначимо W .

Як правило, в літературі при моделюванні задачі класифікації аргументом цільової функції вважають вхідні дані. Але в цій задачі оцінка результату здійснюється за частковими цільовими функціями, аргументами яких є часткове розбиття нескінченної множини на під-

множини з повтореннями $\tilde{\rho}^k$, тобто $\tilde{F}(\tilde{\rho}^{k*}) = \underset{\tilde{\rho}^k \in \tilde{W}}{\text{extr}} \tilde{F}(\tilde{\rho}^k)$.

У класифікації характеристика кластерів є відомою, об'єкти, щодо яких необхідно визначити, до якого вони класу належать, аналізуються не одночасно, а групами чи окремими елементами. Оскільки результат визначається не одночасно, а за частковою цільовою функцією, то задача класифікації належить до динамічних задач комбінаторної оптимізації.

Далі здійснимо класифікацію цифрових платформ методом найближчого сусіда з використанням наперед заданих критеріїв.

Складові елементи довільної ЦП

Інженерний погляд на ЦП зазначає, що платформи є технологічними архітектурами, які сприяють інноваціям [6], а під економічним кутом зору вони є двигуном ринкового обміну та взаємодії [7]. Відповідно до цих поглядів дослідники приділяють найбільшу увагу архітектурі ЦП, еволюційності їхнього дизайну та функціоналу, комерціалізації інновацій і стратегіям управління екосистемою. Фундаментальна організація ЦП має модульну архітектуру, яка включає ядро і набір периферійних компонентів (модулів). Ядро є відносно стабільним технічним артефактом та будівельною базою, на основі якої розробляються додаткові компоненти ЦП. Правила взаємодії та обміну інформацією між модулями та ядром встановлюють за допомогою інтерфейсів, розроблених на основі стабільних і попередньо визначених стандартів. Унікальне поєднання компонентів визначає функціональність ЦП і налаштовує її на розвиток та досягнення успіху в інформаційному суспільстві. Архітектурна конфігурація ЦП має бути достатньо гнучкою, щоб вбудовувати нові функціональні можливості та розширювати початковий обсяг продуктів, технологій, каналів та послуг до незапланованого об'єму. Комбінація обраних наборів компонентів дає змогу створювати нові послуги та оптимізувати пропозиції ЦП. Непередбачувані зміни у зовнішньому середовищі вимагають адаптації дизайну ЦП за умови збереження су-

місності модифікованих та нових компонентів із ядром, а також сумісності компонентів між собою. Ключовими елементами забезпечення еволюції дизайну ЦП є граничні ресурси, до яких належать: API-інтерфейси, комплекти розробки програмного забезпечення (SDK), метадані, а також спеціальні правила, що регулюють відкритість ресурсів, наприклад, ліцензії [8]. Функціонування ЦП спирається на платформну бізнес-модель, яка визначає механізми створення, доставки та захоплення цінності. Основними характеристиками бізнес-моделі є ціннісна пропозиція, цільовий клієнт, модель доходу та ланцюг створення цінності. Ціннісна пропозиція описує продукти/послуги, які надає ЦП і які орієнтовані на обмін ресурсами між її користувачами, або на дизайн, тобто розробку та поширення додаткового функціоналу. Модель доходу визначає джерело генерації доходу, вартість користування, витрати та фінансові ризики ЦП. Ланцюг створення цінності визначає ресурси та компетенції для надання ціннісної пропозиції ЦП. Більшість ЦП використовують бізнес-модель бізнес-споживач або B2C, а промислові ЦП працюють виключно за моделлю бізнес-бізнес B2B [9]. Еволюція бізнес-моделі тісно пов'язана з дизайном ЦП та може вимагати зміни і периферійних компонентів, і модулів ядра. Експлуатація ЦП супроводжується створенням та розвитком екосистеми. Формування екосистеми є дуже важливим для становлення та розвитку ЦП, без екосистеми ЦП приречена на загибель [10]. Екосистема являє собою спільноту організацій і окремих осіб, які взаємодіють і створюють цінність та мають певні ролі: власника платформи, який вкладає ресурси для її побудови та розвитку; доповнювачів, які розширюють її функціональність; користувачів, які цю функціональність використовують; оркестратора, який керує платформою. Для організації екосистеми бізнес-модель платформи має бути спрямована на стимулювання масової присутності учасників на платформі, забезпечення їх максимальної взаємодії та заохочення користуватися її послугами. Удосконалення та комбінування компонентів ЦП сприяють збільшенню кількості учасників

та зростанню спільно створеної ними цінності. Екосистема ЦП може бути приватною, тобто замкнутою та внутрішньо орієнтованою, або відкритою, тобто дозволяти залучення сторонніх учасників. Розвиток екосистеми відбувається під впливом розробленої стратегії, яка враховує узгоджені інтереси учасників. При централізованому управлінні ЦП стратегія розробляється власником/оркестратором або кількома керуючими компаніями, а при децентралізованому — спільнотою учасників екосистеми. Для досягнення успіху стратегія керування не використовує довільної комбінації можливих характеристик ЦП, а зосереджується на обранні конкретних з-поміж них для досягнення поставленої мети. Для забезпечення взаємодії та обміну ресурсами між учасниками екосистеми застосовується цифрова інфраструктура. Доступ до цифрової інфраструктури реалізується трьома способами: прямим, непрямим і відкритим. Прямий доступ є найдорожчим, але гарантується домовленостями між власниками ЦП та інфраструктури. Непрямий доступ є дешевшим і використовує партнерство з посередниками, сторонніми постачальниками послуг — провайдерами. Відкритий доступ передбачає безперешкодний доступ до цифрової інфраструктури.

Основними складовими елементами для досягнення успіху ЦП є:

- 1) архітектура, тобто ядро та набір периферійних компонентів;
- 2) бізнес-модель для створення й отримання цінності;
- 3) екосистема для створення та користування продуктами і послугами;
- 4) інфраструктура для забезпечення взаємодії та обміну ресурсами.

Використовуючи характеристики перерахованих складових елементів, наведемо способи класифікації ЦП. Численні публікації надають широкий перелік класифікацій, які розрізняють ЦП на основі однієї характеристики або сукупності спільних характеристик.

Класифікація ЦП за однією характеристикою.

У Таблиці наведено поширені в літературі [11—14] класифікації ЦП за однією характе-

ристикою. За такою класифікацією деякі з ЦП належать одночасно до різних типів.

Класифікація ЦП за сукупністю характеристик.

Крім того, розроблено класифікації [15—17], які базуються не на окремих ознаках, а на сукупності їх. Платформи, які мають типові комбінації характеристик, утворюють певний архетип. Наприклад, в роботі [15] екземпляри ЦП, які мають подібні архітектурні конфігурації, характеристики інфраструктури, екосистеми та послуг, віднесено до одного архетипу. Оскільки визначення архетипів спирається на аналіз певного фіксованого числа платформ, існує вірогідність, що дослідження більшого числа платформ оновить або збільшить кількість архетипів. На основі сукупності характеристик у цій роботі запропоновано три архетипи платформ, а саме: оркестровки, об'єднання та інновацій. Платформи оркестровки характеризуються високим рівнем відкритості ядра для інтеграції зі сторонніми розробниками, мають відкриту екосистему для залучення нових розробників, використовують і прямий, і непрямий доступ до цифрової інфраструктури, орієнтовані на розробку та поширення серед широкої аудиторії додаткових програмних компонентів. Платформи об'єднання характеризуються низьким ступенем відкритості ядра для захисту архітектурних параметрів від сторонніх учасників, мають закриту екосистему з ексклюзивним переліком приватних акторів, використовують і прямий, і непрямий доступ до цифрової інфраструктури та, прагнучи мінімізувати відтік ресурсів із приватної мережі, орієнтуються на обмін ресурсами між учасниками закритої екосистеми. Платформи інновацій характеризуються високим ступенем відкритості ядра, можуть мати і відкриту, і закриту екосистему, використовують відкриту цифрову інфраструктуру без обмежень доступу, орієнтовані на обмін ресурсами між учасниками екосистеми.

У роботі [16] розроблено класифікацію, яка базується на подібності сукупності характеристик бізнес-моделі ЦП. Запропоновано чотири архетипи платформ, а саме: бізнес-інно-

вацій, споживчих інновацій, ділового обміну та споживчого обміну. Платформи бізнес-інновацій ключовою діяльністю вважають організацію співпраці бізнес-клієнтів, дохід створюють за рахунок підписки на створення програмних компонентів, вдосконалення яких дозволяє залучати нових учасників з тієї ж галузі. Платформи споживчих інновацій сприяють співпраці між групами кінцевих споживачів, взаємодія яких дає змогу залучати на платформу

нових постачальників послуг з інших галузей і отримувати від них найбільший дохід, впроваджуючи інновації. Платформи ділового обміну виступають як ринок та сприяють вузько-спеціалізованому обміну в бізнес-середовищі, отримують дохід завдяки комісії й демонструють диференційований ступінь доступу до платформ та обмежений інтерес суб'єктів з інших галузей. Платформи споживчого обміну надають послуги передачі даних, з'єднуючи спожив

Таблиця. Класифікація ЦП за однією характеристикою

Джерело	Характеристика	Значення характеристики	Тип ЦП	Приклади ЦП
[11]	функціональне призначення	технологічна основа для розробки додаткових продуктів та послуг	інноваційна	<i>iOS, Android</i>
		забезпечення обміну інформацією, товарами або послугами	транзакційна	<i>Amazon, eBay, Uber, Zipcar, Airbnb</i>
		поєднання можливостей інноваційних та транзакційних платформ	інтеграційна	<i>Apple, Google</i>
		холдингові компанії, які керують портфелем компаній-платформ	інвестиційна	<i>Priceline Group, Kickstarter</i>
[12]	сфера діяльності	розробка програмних та програмно-апаратних засобів прикладного застосування	інструментальна	<i>Android OS, iOS, Amazon Web Services, Microsoft Azure</i>
		автоматизація діяльності користувачів у різних секторах економіки завдяки наданню IT-сервісів	інфраструктурна	<i>ESRI ArcGIS, Telegram</i>
		реалізація бізнес-моделі обміну товарами/послугами між учасниками економічної діяльності різних галузей	прикладна	<i>Uber, Apple AppStore, Facebook, Alibaba</i>
[12]	модель монетизації	послуги безкоштовні, монетизація за рахунок реклами	безкоштовна	<i>Facebook</i>
		базові послуги є безкоштовними, розширені є платними	умовно безкоштовна	<i>Spotify</i>
		послуги є платними, може стягуватися комісія за користування, плата за доступ до інформації	платна	<i>eBay, Uber, Science Direct</i>
[12]	регіон поширення та використання	світовий рівень	глобальна	<i>Facebook, PayPal, Instagram</i>
		національний рівень	національна	<i>Qivi, Дія</i>
		регіональний рівень	регіональна	<i>ROZETKA</i>
[13]	режим керування	розвиток ЦП силами користувачів	відкрита	<i>OS Linux, Wikipedia</i>
		розвиток за кошт керуючої компанії	закрита	<i>eBay, Google Android</i>
[14]	право власності	доступна всім користувачам	публічна	<i>Дія: Цифрова освіта</i>
		доступ обмеженого кола користувачів	приватна	<i>Boeing Suppliers portal</i>

вачів з іншими кінцевими споживачами, дохід здебільшого отримують у вигляді комісії від продажів та є відкритими для залучення користувачів з різних галузей.

У роботі [17] пропонується класифікація промислових платформ інтернету речей (*IoT*), яка базується на архітектурних особливостях та використовує характеристики інфраструктури, мережі, програмного забезпечення проміжного та прикладного рівнів. Інфраструктура платформ *IoT* представлена розумними речами, які підключені до платформи, і технічними ресурсами, на яких платформа працює. Платформа *IoT* може розміщуватися локально, у хмарі, або гібридно, використовуючи змішаний підхід. На мережевому рівні платформи *IoT* застосовують і дротові, і бездротові способи передачі даних, а також різні протоколи для забезпечення спільної структури даних для обміну інформацією. На рівні проміжного програмного забезпечення платформи *IoT* можуть обробляти структуровані (*structured*) і неструктуровані (*unstructured*) дані та використовувати описову (*descriptive*), в реальному часі (*real-time*), прогнозну (*predictive*) і приписну (*prescriptive*) аналітику, спираючись на базові аналітичні технології, наприклад, статистичне моделювання, або на розширені методи, наприклад, машинне навчання та нейронні мережі. На рівні прикладного програмного забезпечення платформи *IoT* можуть мати закритий або відкритий вихідний код, пропонувати стандартизовані або спеціалізовані *API*, надавати можливість розгортання програм безпосередньо на платформі, у контейнерному середовищі або поза платформою, використовувати або не використовувати магазини додатків. За допомогою кластерного аналізу визначено чотири архетипи платформ *IoT*: універсали, пуристи, аналітики та з'єднувачі. Платформи-універсали орієнтовано на широкий спектр можливих сценаріїв застосування, вони підтримують будь-яке апаратне обладнання, пропонують різні варіанти мережевого транспортування даних і протоколи передачі даних, мають сильні ана-

літичні можливості та можливості зовнішньої системної інтеграції через відкриті компоненти та різні способи розгортання програм. Платформи-пуристи орієнтовано на вузьке використання, вони обмежують підключення різновидів обладнання, пропонують лише вибрані варіанти передачі даних і протоколи передачі, використовують базову технологію аналітики, не підтримують ринок програм. Платформи-аналітики орієнтовано на прийняття рішень за допомогою передових аналітичних технологій, вони пропонують власні периферійні пристрої для збору даних, використовують різні варіанти транспортування даних та переважно галузеві протоколи для підтримки наявних стандартів, мають потужні можливості аналітики, підкріплені передовими технологіями та комплексною інтеграцією з іншими системами, характеризуються здебільшого закритим вихідним кодом, не підтримують ринок програм. Платформи-з'єднувачі спеціалізуються на інтеграції гетерогенних пристроїв для отримання та збору даних, доповнюють транспортування та логічні протоколи передачі даних зовнішньою системною інтеграцією та можливостями туманної обробки, пропонують лише обмежені аналітичні можливості на основі базової технології, надають лише стандартизовані *API* для підтримки ринку програм.

Висновки

Задача класифікації належить до широкого класу задач розбиття. У ній характеристика кластерів є відомою, об'єкти, щодо яких необхідно визначити, до якого вони класу належать, аналізуються не одночасно, а групами чи окремими елементами. Оскільки результат визначається не одночасно, а за частковою цільовою функцією, то задача класифікації належить до динамічних задач комбінаторної оптимізації.

Класифікація цифрових платформ здійснюється евристичними методами, зокрема, методом найближчого сусіда. Як критерії використовують і одну характеристику, і сукупності спільних характеристик, що властиві певним ЦП.

ЛІТЕРАТУРА

1. Классификация и кластер/Под редакцией Дж.Вэн Райзина / Пер. с англ. М.: Мир, 1980. 389 с.
2. Факторный, дискриминантный и кластерный анализ / Дж.-О. Ким, Ч.У. Мьюллер, У.Р. Клекка, М.С. Олдендерфер, Р.К. Блэшфилд; Под ред. И.С. Енюкова / Пер. с англ. М.: Финансы и статистика, 1989. 215 с.
3. Жамбу М. Иерархический кластер-анализ и соответствия. М: Финансы и статистика / Пер. с англ. 1988. 342 с.
4. Тимофієва Н.К. Теоретико-числові методи розв'язання задач комбінаторної оптимізації. Автореф. дис... докт. техн. наук. Ін-т кібернетики ім. В.М. Глушкова НАН України. Київ. 2007. 32 с.
5. Тимофієва Н.К. Про аргумент цільової функції в задачах кластеризації та класифікації. Cluster Computing, Second International Conference, Collection of scientific papers, HPC-UA June 3—5, 2013. Lviv, Ukraine С. 221—224. Режим доступу: [http://hpc-ua.org/cc-13/ISBN 978-966-02-6442-3](http://hpc-ua.org/cc-13/ISBN%20978-966-02-6442-3).
6. Gawer, A. Bridging differing perspectives on technological platforms: Toward an integrative framework. *Research policy*. 2014. 43 (7). 1239—1249.
7. Паркер Дж., Альстин М., Чаудари С. Революция платформ. Как сетевые рынки меняют экономику и как заставит их работать на вас: монография. Москва: Манн, Иванов и Фербер, 2017. 304 с.
8. Karhu K., Gustafsson R., Lyytinen K. Exploiting and Defending Open Digital Platforms with BoundaryResources: Android's Five Platform Forks. *Information Systems Research*. 2018. № 29 (2), pp. 479—497. <https://doi.org/10.1287/isre.2018.0786>.
9. Arnold L., Johnk J., Vogt F., Urbach N. A taxonomy of IoT platforms' architectural features. *Internationale Konferenz Wirtschaftsinformatik 2021, March 2021, Essen, Germany*, pp. 404—421.
10. Kenney M., Zisman J. The Rise of the Platform Economy. *Issues in Science and Technology*. March 2016. №3Ю С. 61—69.
11. Купревич Т.С. Цифрові платформи в світовій економіці: сучасні тенденції і напрямки розвитку. *Економічний вісник університету*. 2018. № 37/1. С. 311—318.
12. Січкаренко К.О. Цифрові платформи: підходи до класифікації та визначення ролі в економічному розвитку. *Причорноморські економічні студії*. 2018. № 35. С. 28—32.
13. Семенов А. Ю. Концептуальні засади розвитку цифрових платформ в умовах формування цифрової економіки. *Наукові записки Національного університету «Острозька академія»*. Серія «Економіка». 2019. № 14(42). С. 21—26. DOI: 10.25264/2311-5149-2019-14(42)-21-26.
14. Кохан В. П. Цифрова платформа як інструмент цифрової економіки. DOI 10.37772/2518-1718-2021-1(33)-4.
15. Blaschke M., Haki K., Aier S., Winter R. Taxonomy of Digital Platforms: A Platform Architecture Perspective. *14 th International Conference on Wirtschaftsinformatik, February 24—27, 2019, Siegen, Germany*, P. 572—586.
16. Staub N., Haki K., Ai S., Winterer R. Taxonomy of Digital Platforms: A Business Model Perspective. *54th Hawaii International Conference on System Sciences, 2021*.
17. Arnold L., Johnk J., Vogt F., Urbach N. A Taxonomy of Industrial IoT Platforms 'Architectural Features. *Internationale Konferenz Wirtschaftsinformatik 2021, March 2021, Essen, Germany*.

Надійшла 15.02.2024

REFERENCES

1. *Klassifikatsiya i klaster* (1980). Pod redaktsij Dj.Ven Ra'zina / Per. s angl. M.: Mir, 389 p.
2. *Faktornyj, diskriminantnyj i klasternyj analiz* (1989). Dj.-O. Kim, Th.U. Mjuller, U.R. Klekka, M.S. Oldenderfer, R.K. Bleshfikdj; Pod red. I. S. Enuкова / Per. s angl. M.: Finansy i statistika, 215 p.
3. Jambu, M. (1988). *Ierarxitheski'j klaster-analiz i sootvestvija*. M: Finansy i statistika / Per. s angl., 342 p.
4. Tymofijeva, N.K. *Teoretyko-chyslovi metody rozviazannia zadach kombinatornoi optyimizatsii: avtoref. dys...* dokt. tekhn. nauk: 01.05.02. Kyiv: *IK im. V.M. Gluchkova NAN Ukrainy*, 2007. 32 p.
5. Tymofijeva, N.K. (2013). "Pro argument thilovoji funkthiji v zadathax klasterizatsii ta klasifikathii". *Cluster Computing, Second International Conference, Collection of scientific papers, HPC-UA*. June 3¼5, 2013. Lviv, Ukraine, pp. 221—224.
6. Gawer, A. (2014) "Bridging differing perspectives on technological platforms: Toward an integrative framework". *Research policy*, 43 (7), pp. 1239—1249. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.respol.2014.03.006>.
7. Parker, G., Van Alstyne, M., Choudary, S. (2016). *Platform Revolution: How Networked Markets Are Transforming the Economy and How to Make Them Work for You*, W.W. Norton & Company, 352 p.

8. Karhu, K., Gustafsson, R., Lyytinen, K. (2018). “Exploiting and Defending Open Digital Platforms with BoundaryResources: Android’s Five Platform Forks”. *Information Systems Research*, no 29 (2), pp. 479—497. <https://doi.org/10.1287/isre.2018.0786>.
9. Arnold, L., Johnk, J., Vogt, F., Urbach, N. (2021). “A taxonomy of IoT platforms’ architectural features”. *Internationale Konferenz Wirtschaftsinformatik 2021*, Essen, Germany, pp. 404—421.
10. Kenney, M., Zisman, J. (2016). “The Rise of the Platform Economy. *Issues in Science and Technology*, 32 (3), pp. 61—69.
11. Kuprevich, T. (2018). “Digital platforms in the world economy: current trends and directions of development. *University Economic Bulletin*, no 37/1, pp. 311—318.
12. Sichkarenko, K. (2018). “Digital platforms: classification approacing and the role of economic development defining”. *Black Sea Economic Studies*, no 35, pp. 28¼32.
13. Semenog, A. (2019). “Conceptual principles of development of digital platforms in the conditions of the formation of a digital economy”. *Scientific notes of the National University «Ostroh Academy»*. «Economy» series, No. 14 (42), pp. 21—26. DOI: 10.25264/2311-5149-2019-14(42)-21-26.
14. Kokhan, V. (2021). “Digital platform as a digital economy tool”. *Law and innovations*, 1 (33), C. 29¼34. DOI: [https://doi.org/10.37772/2518-1718-2021-1\(33\)-4](https://doi.org/10.37772/2518-1718-2021-1(33)-4) (In Ukrainian).
15. Blaschke, M., Haki, K., Aier, S., Winter, R. (2019). “Taxonomy of Digital Platforms: A Platform Architecture Perspective”. *14th International Conference on Wirtschaftsinformatik*, February 24—27, Siegen, Germany, pp. 572—586.
16. Staub N., Haki K., Ai S., Winterer R. Taxonomy of Digital Platforms: A Business Model Perspective. 54th Hawaii International Conference on System Sciences, 2021.
17. Arnold, L., Johnk, J., Vogt, F., Urbach, N. (2021). “A Taxonomy of Industrial IoT Platforms’ Architectural Features”. *Internationale Konferenz Wirtschaftsinformatik 2021*, March, Essen, Germany.

Received 15.02.2024

N.K. Tymofijeva, Doctor (Eng.), Senior Research Associate, Head of the Department, International Research and Training Center for Information Technologies and Systems of the NAS and MES of Ukraine, Glushkov ave., 40, Kyiv, 03187, Ukraine, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0312-1153>, tymNad@gmail.com

N.E. Pavlenko, Research Associate, International Research and Training Center for Information Technologies and Systems of the NAS and MES of Ukraine, Glushkov ave., 40, Kyiv, 03187, Ukraine, ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-5660-8669>, Pavnata@gmail.com

S.A. Shevchenko, Junior Research Associate, International Research and Training Center for Information Technologies and Systems of the NAS and MES of Ukraine, Glushkov ave., 40, Kyiv, 03187, Ukraine, ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-2096-3648>, shvesta@ukr.net

WAYS OF CLASSIFYNG DIGITAL PLATFORMS

Introduction. Interest in the study of digital platforms (DP) is due to their prevalence and the dependence of this phenomenon on the possibilities of using information technologies. The growing distribution and great potential of the DP is connected not only with the use of new hardware and software, but also with the integration of digital technologies into business processes. The need for a deeper understanding of the differences and similarities of various CPUs prompts researchers to turn to the fundamental mechanism of knowledge organization — classification. From a practical point of view, the classification helps to compare different CPUs and allows users to choose the one that provides the desired results.

Formulation of the problem. The problem of CPUs classification is to identify specific and common characteristics for building clusters using different approaches. When modeling and solving the classification problem, static methods and machine learning methods are used. The most widespread of them are the method of nearest

neighbors and the method of support vectors. The theory of combinatorial optimization was used to build the mathematical model.

The proposed approach. To build a mathematical model of the classification problem, the theory of combinatorial optimization was used, which allows to investigate some properties of this problem. The argument of the objective function in it is the division of the n -element set into subsets. This combinatorial configuration can be either with or without repetitions, either finite or infinite. When finding the optimal result, a situation of uncertainty arises, which is related to the structure of the argument of the objective function which is a combinatorial configuration.

Conclusion. The classification problem belongs to a broad class of partitioning problems. In it, the characteristics of the clusters are known, the objects that need to be determined, to which class they belong, are analyzed not simultaneously, but by groups or individual elements. Since the result is determined not simultaneously, but by a partial objective function, the classification problem belongs to the dynamic problems of combinatorial optimization. The classification of digital platforms is carried out by heuristic methods, in particular the nearest neighbor method. Both one and a set of common characteristics characteristic of certain CPUs are used as criteria.

Keywords: *digital platforms, classification, partitioning of the n -element set into subsets, partitioning problems, combinatorial optimization.*