

УДК 656.211.3:656.211.5

В. В. СКАЛОЗУБ^{1*}, В. М. ГОРЯЧКІН^{2*}, М. В. СКАЛОЗУБ^{3*}, І. А. ТЕРЛЕЦЬКИЙ^{4*}

^{1*} Каф. «Комп'ютерні інформаційні технології», Український державний університет науки і технологій, вул. Лазаряна, 2, 49010, Дніпро, Україна, тел. +38 (056) 373-15-52, ел. пошта skalozub.vl.v@gmail.com, Scopus Author ID: 15731663600, ORCID 0000-0002-1941-4751

^{2*} Каф. «Комп'ютерні інформаційні технології», Український державний університет науки і технологій, вул. Лазаряна, 2, 49010, Дніпро, Україна, тел. +38 (056) 373-15-35, ел. пошта vgora@ukr.net, ORCID 0000-0002-8952-952X

^{3*} Компанія Zettle by PayPal, Stockholm, Sweden. тел. +380 95 502 6979, ел. пошта skalozubm@gmail.com

^{4*} Каф. «Комп'ютерні інформаційні технології», Український державний університет науки і технологій, вул. Лазаряна, 2, 49010, Дніпро, Україна, тел. +38 (056) 373-15-35, ел. пошта igor.terletskiy.96@gmail.com ORCID 0000-0001-8324-4673

ДОСЛІДЖЕННЯ АЛГОРИТМІВ ОПТИМАЛЬНОГО ФОРМУВАННЯ ТРАНСПОРТНО-ЛОГІСТИЧНИХ ПРОЦЕСІВ РЕАЛЬНОГО ЧАСУ ГЕТЕРОГЕННИМИ ОПЕРАТОРАМИ

В статті представлено результати досліджень моделей і алгоритмів формування широкого кола транспортно-логістичних процесів реального часу, при виконанні яких утворюються упорядковані структури масових замовлень. При цьому використовуються оператори, які мають різну складність, «вагу». Вирішуються питання щодо створення формальних моделей наборів вхідних даних, на основі яких ведеться ефективна реалізація технологічних і логістичних процесів. Призначення моделей – удосконалення процедур процесів оптимального упорядкування та класифікації послідовностей елементів аналізу, замовлень. Нами запропоновані нові спеціалізовані моделі (графові моделей, бінарні дерева) для вхідних (первинних) множин елементів, а також алгоритми їх оброблення, які забезпечують підвищення ефективності складових процесу упорядкування. Крім того графові моделі і алгоритми дозволяють вирішувати завдання класифікації для даних різних типів, а також являються придатними для упорядкування мульти-послідовностей замовлень. Шляхом порівняльного аналізу встановлена висока обчислювальна ефективність запропонованих нових алгоритмів упорядкування та класифікації даних. В статті приведено змістовні приклади та відзначено особливості завдань упорядкування та класифікації мульти-послідовностей замовлень к масштабі реального часу. А саме, це завдання розформування-формування залізничних составів і завдання «масової доставки замовлень товарів за адресою». Для демонстрації моделей та алгоритмів надані приклади реалізації завдань формування та перетворення бінарних графових моделей потоків даних реального часу. Утворені моделі також були застосовані для завдань ефективного сортування, класифікації при інтервальної невизначеності даних. В роботі нами досліджено можливості утворення структур нечіткого упорядкування та класифікації числових даних що надходять у режимі реального часу.

Ключові слова: транспортно-логістичні процеси реального часу, мульти-послідовності замовлень, оптимальне упорядкування та класифікація, моделі і алгоритми формування структур даних, розформування-формування, масова доставки товарів за адресою.

Вступ

Організація, оптимальне планування та управління для багатьох транспортно-логістичних, інформаційних, технологічних та ряду інших процесів ґрунтується на моделях упорядкування, а також узагальнення (класифікації) послідовностей елементів (замовлень) певного виду та призначення. Завдання та моделі і методи щодо визначення та утворення таких оптимальних послідовностей залежать (відрізняються) від множин можливих операторів формування, числа виконавців та зон обслуговування (ЗО) тощо [1, 2, 9]. Матеріально-технічні процедури, призначені для створення заданих упорядкувань

елементів моделей планування та управління, суттєво відрізняються від широко відомих завдань сортування сфери програмування та комп'ютерних технологій [7, 9]. Для нашого дослідження суттєвими являються урахування факторів неперервного (*real time*) надходження елементів потоку вхідних даних до системи планування, а також неоднорідності (гетерогенності), складності або «ваги» окремих операторів формування послідовностей елементів [2, 6]. Важливими прикладами зазначених процесів є розформування-формування залізничних составів (РФ переробка потоків вантажів у транспортних

вузлах, формування потоків замовлень у матеріальних сховищах ін. Специфіка завдань упорядкування *real time* потоків з урахуванням «ваги» операцій, незалежно від конкретного практичного застосування, їх змістовність полягає в урахуванні процесу надходження замовлень, залежності складності процесів від структури операторів формування (ОФ), кількості «виконавців» та числа зон обслуговування (ЗО), в яких можливо виконувати певні операції формування [9]. Моделі та комп'ютерні алгоритми завдань оптимального планування та управління на основі упорядкування послідовностей елементів мають враховувати (бажано універсальним чином) зазначену особливість завдань упорядкування з урахуванням факторів *real time* та «ваги» операцій.

Розробка теоретичних підходів, моделей та алгоритмів, призначених для реалізації широкого кола завдань оптимального планування та управління на основі упорядкування та класифікації *real time* послідовностей замовлень з урахуванням «ваги» операторів формування на тепер є важливим та актуальним науково-прикладним завданням.

Аналіз останніх досліджень і постановка проблеми

Питання щодо організації різноманітних процесів оптимального планування та управління на основі реалізації завдань упорядкування та класифікації недетермінованих послідовностей елементів досліджуються у багатьох наукових джерелах [1]. Проблеми розвитку транспортно-логістичних технологій сфери залізничного транспорту (формування-розформування (РФ) багатогрупових составів поїздів) представлені в публікаціях [1, 9]. В них і досліджені різноманітні методи та засоби реалізації завдань РФ. В статтях [2, 3, 11] відзначено нові проблеми моделювання завдань упорядкування при формальному урахуванні множин та «ваги» операторів формування. Застосування завдань і моделей упорядкування елементів для управління ланцюгами постачання та сортування замовлень дистрибуційного логістичного центру приведено в [8], В [10], за допомогою моделей групового сортування виконується вибір функцій класифікації даних. В [3, 4, 5] приведені та досліджені моделі та комп'ютерні алгоритми сортування, а також наведені методики оцінки їх порівняльної ефективності.

В статтях [2, 9] була запропонована узагальнена модель упорядкування мульти-послідовно-

стей замовлень з урахуванням складності операторів формування (УМПСО), яка дозволяє представити широке коло завдань оптимального обслуговування потоків замовлень у вигляді спеціалізованих «сервісних систем». Модель УМПСО визначає нову змістовну та формальну постановку завдань планування на основі процедур упорядкування, побудувати метрики для оцінювання станів процесів формування. Для реалізації моделей УМПСО в [2] були сформовані багатопарові конструктивні структури моделювання, які дозволили розвинути формальні засоби конструктивного моделювання складних систем та процесів [7, 8, 9].

Для реалізації моделей упорядкування послідовностей УМПСО в роботах [2, 7] були застосовані інтелектуальні технології. Відзначається зростання публікації присвячених застосуванню інтелектуальних систем (ІС) та їх елементів для вирішення транспортно-логістичних завдань. В роботі [12] моделі ІС у вигляді генетичних алгоритмів використані для розрахунків планів формування поїздів. Приклади вирішення завдань інтелектуального аналізу даних і застосування методів інтелектуальних транспортних систем наведені в [13, 14]. Застосування моделей і методів нейронних мереж та широкий спектр методів штучного інтелекту для реалізації інтелектуальних засобів технологій транспорту приведений в [15]. Стосовно моделювання процесів УМПСО у [7, 9] вирішується завдання щодо підвищення ефективності оптимального планування за рахунок спеціалізованих інтелектуальних процедур пошуку рішень на основі діагностування засобами мережі Хеммінга [15]. Відзначимо зростання моделей та алгоритмів ІС для формування та удосконалення процесів оптимального планування та управління на транспорті і логістичних системах.

Мета і завдання дослідження

Мета представленої роботи полягає у розробці теоретичних підходів, моделей та алгоритмів, призначених для завдань оптимального планування (ОП) та управління на основі упорядкування та класифікації *real time* послідовностей замовлень з урахуванням «ваги» операторів формування. В статті вирішуються питання щодо формування моделей і удосконалення процедур процесів упорядкування (подібно сортуванню) *real time* послідовностей елементів неоднорідними операторами. Завдання ОП реалізується шляхом утворення спеціалізованих моделей (графових моделей, бінарні дерева) вхідних (пе-

рвинних) множин елементів і алгоритмів їх оброблення, призначених для підвищення ефективності складових процесу упорядкування та класифікації. Запропоновані моделі і алгоритми крім того дозволяють вирішувати завдання класифікації та інтерпретації для даних різних типів. Запропоновані засоби моделювання та аналізу також являються придатними для *real time* упорядкування та класифікації мульти-последовательностей замовлень.

Матеріали та методи дослідження

Для удосконалення процесів та алгоритмів ОП на основі *real time* упорядкування послідовностей елементів неоднорідними операторами нами утворюються нові спеціалізовані моделі, які представляють потоки вхідних даних, а також функції що визначають певні перетворення структури моделей. В основу процедур моделювання *real time* вхідних послідовностей покладено загальну структуру алгоритму сортування на бінарних деревах [4, 5]. Відмінність та результативність запропонованих у цій статті моделей *real time* процесів полягає в утворенні в рамках загальної структури графових моделей (бінарні дерева вхідних множин елементів) нових функцій аналізу та алгоритмів перетворення структур даних моделей, що дозволяють реалізувати завдання класифікації, інтерпретації та планування [8, 12, 13]. Такі моделі далі забезпечують можливості розрахунку безпосередньо номерів позицій кожного елемента у цільовій впорядкованій послідовності. При цьому також будується процедура, яка дозволяє ефективно утворити послідовність елементів з визначеним оптимальним порядком. Запропоновані модель та алгоритми формування та перетворення бінарного дерева потоку *real time* замовлень може бути використана як для окремих вхідних неупорядкованих послідовностей (або множин) елементів, так і для узагальнених завдань, в яких із «р» вхідних неупорядкованих послідовностей формується «q» вихідних упорядкованих послідовностей елементів. Тобто при цьому змістовно вирішується більш широке завдання оптимального упорядкування мульти-последовательностей з урахуванням «ваги» операторів формування [2, 9]. Суттєвою новою властивістю запропонованих у статті алгоритмів аналізу бінарних графових моделей (АБГМ) первинних множин елементів являється можливість на їх основі формально виконувати процедури узагальнення вузлів, що дозволяє в подальшому вирішувати завдання детермінованої та нечіткої класифікації. Тобто за допомогою АБГМ можливо

виконувати аналіз, упорядкування і класифікацію *real time* наборів даних різних типів – детермінованих, інтервальних, нечітких ін.

При формуванні графової моделі для процесів АБГМ щодо представлення *real time* вхідних даних що упорядковуються, можна вважати основним завданням наступне – для кожного вхідного елемента необхідно розрахувати (встановити) номер позиції його розташування в цільовому варіанті. Таке проміжне завдання не очевидне. Наприклад, у поширених алгоритмах сортування [3, 4, 11] позиція елементів визначаються процесом формування, а не розраховуються за первинними даними. В алгоритмі сортування на бінарних деревах [4] рекурентна модель даних, призначених для сортування, використовується для відображення кількісних відношень між елементами послідовності. Для операції упорядкування «сортування» пропонується застосовувати деяку послідовність обходу утвореного бінарного дерева. При тому також визначені оцінки складності такого алгоритму.

В різних завданнях ОП визначення позиції елемента (замовлень) має різну важливість та складність. У класичних завданнях РФ составів номер позиції визначається на основі коду пункту призначення, відомий апіорі [1]. В завданнях *real time* масової доставки товарів за адресою визначення номеру позиції розташування потребує попереднього аналізу всього масову даних, а також урахування особливостей процесів виконання певних логістичних процедур доставки. Відзначимо важливе значення процедур упорядкування послідовностей (наборів) для формування спеціалізованих алгоритмів класифікації даних, що запропоновану у нашій роботі. Процедури «сортування» безпосередньо зв'язані з завданнями класифікації. Сформулюємо завдання класифікації таким чином, щоб в кожному окремому класі були елементи, які відрізняються на встановлену величину, в певному діапазоні Δ . Тоді при $\Delta=0$ завдання класифікації перетворюється в завдання «сортування» - різні величини в різних класах. При $\Delta > 0$ в діапазоні будуть потрапляти кілька елементів, утворюються «класи», які можна перелічити. Змінюючи величину $\Delta > 0$, можливо отримати різні структури класифікації. Що представлено далі в статті.

Призначення АБГМ – відобразити зв'язки між усіма елементами вхідних даних з точки зору їх потенційного упорядкування та перетворень для класифікації даних *real time*. Для наочності приведемо графічну модель упорядкування послідовності величин (табл.1, рис.1).

Таблиця 1

**Результати процедури упорядкування вектору
за моделлю АБГМ**

N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Vect	60	10	50	29	5	1	90	200	40	2
Pos	6	10	5	2	4	9	3	1	7	8
Val	1	2	5	10	202	40	505	60	90	200

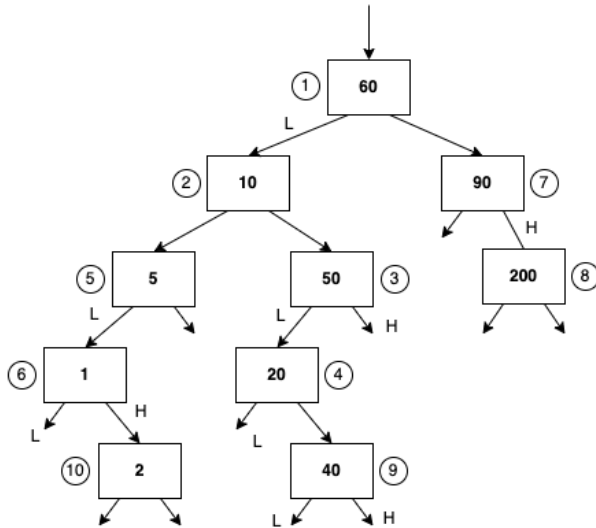


Рис 1. Схема бінарної графової моделі (БГМ)
послідовності Vect

В табл. 1 рядки містять наступне: - перший рядок N нумерує початкові елементи вектору Vect, що надходять до системи аналізу послідовно, значення яких показані у 2 рядку; - рядки Pos (номер елементу вектору N) і Val (значення відповідного елементу) представляють результати виконання процедури упорядкування. Саме для розрахунку рядку Pos формується бінарна графова модель вектору Vect, рис.1, структура якої подібна до алгоритму [4]. Кожний вузол АБГМ має дві вихідні гілки – ліву L (менше, Less) та праву H (вище, higher). Шляхом формування БГМ за рахунок збереження посилань на відповідні елементи вектору Vect формується модель вхідних даних. При цьому спочатку виконання алгоритму формування дерева моделі Vect має один вузол ($T = Vect(1)$), а також «порожні» показники гілок для наступних вузлів – $L(nil)$, $H(nil)$. При побудові АБГМ *On-line* послідовно за номерами N виконується аналіз величин $Vect(k)$, $k=2, 3, \dots, N$. Якщо для поточного вузла $Vect(T)$, виконується умова $Vect(k) < Vect(T)$, тоді подальший аналіз величини елементу вектору $Vect(k)$ виконується у лівій гілці моделі (позначка L). У випадку $Vect(k) > Vect(T)$, аналіз елементу $Vect(k)$ виконується у правій гілці моделі (позначка H). При тому коли відповідні гілки (L або H) ще не були утворені, тоді виконується формування нового вузла моделі

БГМ. Для цього позначкам (L або H) призначаються нові вузли зі структурою ($Vect(k)$, $L(nil)$, $H(nil)$). У випадку рівності значень елементів із вектору з вузловим значенням $Vect(k) = Vect(T)$, $Vect(T)$ створюється (далі поповнюється) список елементів вектору Vect, які мають однакові значення $Vect(k)$. При цьому нових вузлів у моделі БГМ не утворюється.

На рис. 1 представлена БГМ для вектору табл. 1, в ній стрілки без вузлів з позначками (L або H) указують на те, що відповідних умовам порівняння елементів у векторі Vect не було. Також в Vect табл. 1 відсутні рівні між собою елементи. Розглянемо коротко кроки формування моделі рис.1. Перший вузол (корінь БГМ) представляє $Vect(1)=60$. Наступний елемент $Vect(2)=10$ передається до лівої (L) гілки моделі. Елемент $Vect(3)=50$ менше $Vect(1)=60$, але більше $Vect(2)=10$, то ж передається до правої (H) гілки вузла $Vect(2)$ і далі. На основі структур та даних АБГМ (Vect) рис. 1 просто визначити позиції Pos кожного елементу початкового вектору після упорядкування («сортування») по зростанню значень.

Номери (позиція елементу при сортуванні) в упорядкованому векторі визначаються при виконанні окремої процедури обходу дерева АБГМ, тут методом «спочатку в глибину». При цьому номери вузлів із значеннями $Vect(k)$ розраховуються та передаються послідовно до рядку $Pos(i)$, коли процес обходу «виходить або повертається» з лівої гілки моделі АБГМ. Разом з передачею номеру елементу вузла до рядку Pos табл.1 виконується нарощування індексу позиції у векторі Pos, $i \leftarrow i+1$. Наприклад, першим вузлом, до якого повертається процес пошуку з гілки L при обході дерева БГМ, буде вузол з величиною ($Vect(k)=1$), якому відповідає індекс $N=6$. Наступним буде вузол з ($Vect(k)=2$), з індексом $N=10$, далі вузол з ($Vect(k)=5$), з індексом $N=3$ і далі відповідно процедурі пошуку «в глибину». Результат такого обходу моделі АБГМ наведено в табл.1.

Важливою особливістю структури такого алгоритму упорядкування являється можливість формування порядку (сортування) без додаткового «простору», наприклад без додаткової пам'яті, прямо на своєму попередньому місті. Змістовно формування порядку відбувається за один прохід таким чином, див. табл. 1 рядок Val. А саме, з позиції 6 на перше місце, на звільнену позицію 6 з позиції 9, на позицію 9 з позиції 7, на позицію 7 з позиції 3 і далі. Запропонована модель відображення набору даних як дерева

БГМ забезпечує ефективне упорядкування, а також дає можливості виконувати аналіз та перетворення даних, проводити класифікацію. Рациональність моделей БГМ для досліджуваних завдань упорядкування «з вагою» визначається тим, що додаткову структуру БГМ можна вважати невитратною відповідно тих переваг ефективності, яка при цьому забезпечується. Більшість класичних алгоритмів упорядкування, сортування, не передбачають створення моделей даних, які обробляються. Разом з тим існують підходи до ефективної реалізації завдань сортування, в яких вибудовуються додаткові структури процесів упорядкування. Прикладом таких алгоритмів являється пірамідальний алгоритм (ПА) [3, 11]. Порівняльний аналіз ефективності процесів упорядкування на основі ПА та моделі АБГМ дав підстави віддати перевагу моделі АБГМ. Можливості АБГМ не вичерпуються завданнями сортування, і представлені у наступних розділах статті.

Розглянемо можливості застосування моделі АБГМ для інших завдань аналізу послідовності даних, а саме для *real time* класифікації. Для цього сформуємо процедури перетворення моделей конкретних даних, сформованих на основі наведеного вище алгоритму. Сутність процедур перетворення становлять формальні операції узагальнення вузлів графових моделей. При цих операціях два послідовно розташованих в АБГП вузли замінюються одним, який еквівалентно до попередньої структури відображає взаємні відношення між елементами даних. Відзначається два види операцій узагальнення вузлів, в залежності від того в лівій (L, f_L) чи в правій (H, f_H) гілках вузла вищого рівня знаходиться підвузол, з яким виконується поєднання зв'язків. Для наочності представлення змісту операцій на рис. 2 відображені групи вузлів фрагменту моделі АБГМ для даних близьких до табл. 1. Відмінність цих даних у тому, що певні значення повторюються. Наприклад, величина «10» повторюється двічі, 10(2), а величина «90» тричі 90(3) тощо. Крім того, додатково до табл. 1 на рис.2 уведено нові вузли з величинами «80» та «70». Лініями окреслені множини вузлів моделі, які узагальнюються при виконання операції (L, f_L) для вузлів із значеннями «10(2)» та «5(4)», а також для операції (H, f_H) при узагальненні вузлів із величинами «10(2)» та «50(2)». При узагальненні вузлів із значеннями «10(2)» та «5(4)» до уваги будуть також прийматися вузли моделі з величинами «7», «3», «8(2)», значення яких знаходяться в діапазоні [5 – 10]. Так само при узагальненні вузлів із величинами «10(2)» та

«50(2)» до уваги будуть прийматися вузли з величинами «20», «40(2)», що потрапили в діапазон [10–50].

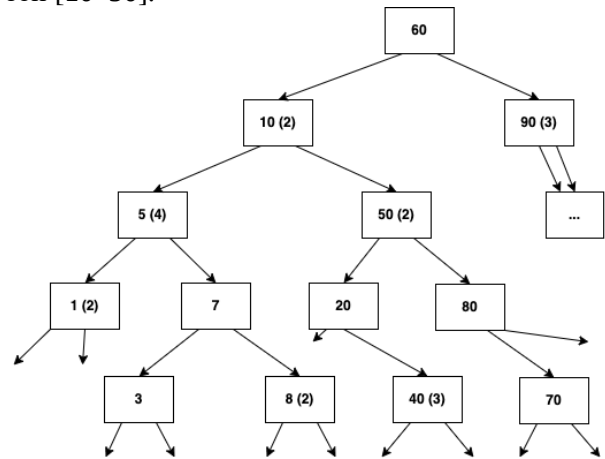


Рис. 2 Схеми бінарної графової моделі (БГМ) з дублюванням значень елементів

Структура результатів виконання операторів узагальнення, призначених для проведення класифікації даних табл. 2 з різними інтервалами однорідності (діапазонами рівнозначності даних, тобто узагальнення даних у встановленому інтервалі), приведена на рис. 4 (а, $\Delta=3$) і рис. 4 (б, $\Delta=4$). Тут параметр « Δ » визначає діапазон рівнозначності (величини «приблизно однакові»). Для узагальнення оператором f_L вузлів « u_1 » та « u_2 » необхідно знайти середнє значення для вузлів « u_1 », « u_2 », « u_4 » та « u_{12} », отримано $w_1=6.5$; таким же чином при узагальненні оператором f_L вузлів « u_3 » та « u_9 » отримано $w_2=10.5$, для вузлів « u_7 », « u_9 » отримано $w_3=19$. Подібним чином (рис. 4 (б, $\Delta=4$)) шляхом узагальнення величин відповідних вузлів отримано $z_1=7.83$, $z_2=18$.

Результати виконання операторів лівого f_L та правого f_H узагальнення вузлів моделі в процедурах класифікації приведено на рис. 3 та рис. 4. При цьому в якості початкових даних використовувався вектор U_N табл. 2. Рис. 3 представляє модель АБГМ для табл.2, в якій відзначено повторні значення елементів u_5 u_{11} , крім того показано і відзначено області моделі даних, вузли в яких узагальнюються оператором f_L для вузлів « u_1 » та « u_2 », а також оператором f_L для вузлів « u_3 » та « u_9 ».

То ж процедури узагальнення вузлів АБГМ дозволяють формувати класифікаційні представлення наборів даних, що використовуються для формування. При цьому всім елементам початкових векторів, що належать одному узагальненому вузлу, приписується один і той же клас щодо упорядкування. Тобто вони мають однаковий номер класу упорядкування і можуть розміщуватися в довільному порядку між собою.

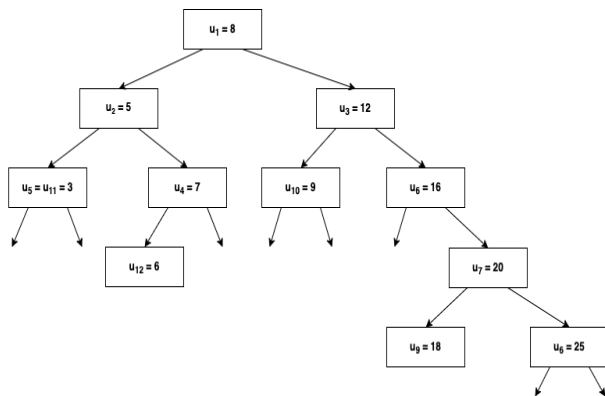


Рис.3. Схема бінарної графової моделі упорядкування елементів вектору (табл. 2)

Таблиця 2

Результати процедури упорядкування та класифікації вектору за моделлю АБГМ

U_N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Vect	8	5	12	7	3	16	20	25	18	9	3	6
Pos	5	2	7	4	1	8	10	11	9	6	1	7
Val	3	3	5	6	7	8	9	12	16	18	20	25

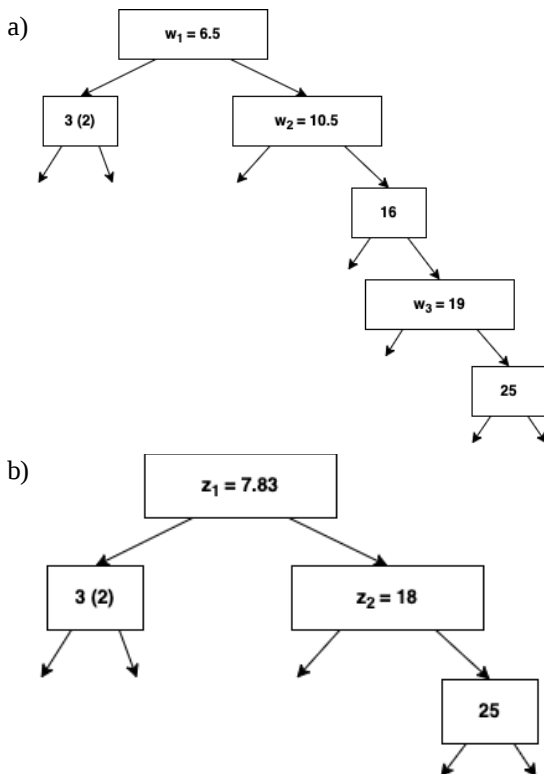


Рис. 4. Схеми бінарних графових моделей класифікації послідовностей елементів за умовою Δ

Номери класів узагальнених моделей рис. 3, рис. 4 розраховуються таким же чином, як для рис. 1, рис. 2, на основі алгоритму пошуку по дереву методом «в глибину». Тоді для моделі АБГМ рис. 4(а, $\Delta=3$) елементи « u_5 », « u_{11} » мають порядковий номер класу «1», елементи « u_1 »,

« u_2 », « u_4 », « u_{12} » відносяться до класу упорядкування «2», елементи « u_3 », « u_{10} » відносяться до класу «3», елемент « u_6 » - до класу «4», елементи « u_7 », « u_9 » відносяться до класу «5», а елемент вектору « u_8 » до класу упорядкування «6». Відповідним чином визначаються класи упорядкування для моделі рис. 4 (b, $\Delta=4$). А саме, елементи « u_5 », « u_{11} » мають порядковий номер класу «1», елементи « u_1 », « u_2 », « u_4 », « u_3 », « u_{10} », « u_{12} » відносяться до класу упорядкування «2», елементи « u_6 », « u_7 », « u_9 » відносяться до класу «3», елемент « u_8 » - до класу «4». Приклад рис. 4 показує очевидну залежність результатів класифікації від умов отримання даних та можливостей щодо їх розрізнення. Для нас суттєво, що модель АБГМ забезпечила реалізацію завдання інтервального упорядкування (із областю рівнозначності Δ).

Для виконання завдань *real time* класифікації послідовностей та планування процесів необхідно крім операцій узагальнення (f_L та f_H), мати групу операцій видалення вузлів. Визначимо операцію видалення лівого out_L , та правого підвузлів out_H . При їх виконанні із моделі АБГМ видаляють ліва або права гілки, замість яких встановлюються показники гілок для наступних вузлів – $L(nil)$ або $H(nil)$. Рекурентна структура бінарної графової моделі для інших вузлів при цьому не змінюється. Прикладом виконання операції видалення являється $out_H(Z_2)$, рис. 4-b, де для правої гілки вузла Z_1 встановлюється $H(nil)$.

Сформулюємо у стислому вигляді процедуру класифікації даних на основі моделі АБГМ та наведених операцій перетворення, тобто узагальнення вузлів. Наголосимо що введення нами операцій узагальнення f_L та f_H викликано саме наступною реалізацією процедури класифікації, коли нові дані надходять поступово, а значення центрів класів попередньо не відомі. При таких процесах поступового визначення центрів класів величини елементів даних, що утворюють нову ліву (L , f_L) чи праву (H , f_H) гілки вузла, можуть суттєво змінювати структуру моделі АБГМ, у порівнянні з початковими даними. Такі можливі перетворення структури і параметрів моделей АБГМ демонструє рис. 4. На ньому для прикладу відображені класи даних, що утворені при різних умовах упорядкування та класифікації відомих послідовностей елементів. Алгоритми класифікації відрізняються між собою умовами включення елементів до певного класу (тут параметр Δ). Спочатку процедури класифікації як і для АБГМ, модель має один вузол ($T=$

Vect(1)) і «порожні» показники наступних вузлів – $L(nil)$, $H(nil)$. Черговий елемент, який надходить для аналізу, перевіряється у існуючих уже вузлах за правилами формування АБГМ. При цьому значення Vect(k) перевіряються на умову належності до множини даних, які зв'язані з контрольним вузлом моделі класифікації. У разі виконання умови належності, елемент Vect(k) приєднується до списку елементів цього вузла, а також перераховуються параметри вузла, визначається його новий «центр». Далі на основі параметру Δ виконується перевірка умови узагальнення вузлів операторами (L, f_L) чи (H, f_H). У разі виконання умов узагальнення визначаються вузли, які поєднуються між собою, утворюючи новий клас. На підставі аналізу елементу Vect(k) може також виконуватися перетворення моделі АБГМ шляхом включення нового вузла. Після цього перетворення керування алгоритму передається до модулю отримання і аналізу наступного елементу. В результаті процедури класифікації утворюються АБГМ подібні до рис.4. Розподіл елементів вихідних даних по вузлах зберігається у характеристиках опису вузлів.

Отримані результати рис. 4 можуть мати також іншу змістовну інтерпретацію – в термінах утворення нечітких класів. Для цього достатньо даним кожного утвореного класу упорядкування (вузлу) призначити відповідну нечітку модель, наприклад, замінити деяким нечітким числом, встановивши певну функцію приналежності. Тоді в моделях рис. 4 вузли будуть мати нечітке визначення, яке буде давати можливість кожному новому значенню, що надходить до аналізу на основі АБГМ, визначати ступінь приналежності до певних вузлів. Наприклад, вузол моделі рис. 4 – b ($z_1=7.83$) узагальнює величини 6 елементів, значення (5, 6, 7, 8, 9, 12). Цю сукупність величин можна представити у формі однієї наступної дискретної нечіткої величини (НВ), де μ_k – величини ступеня належності до нечіткої величини НВ(8'').

μ_k	1/6	5/8	9/10	1	9/10	1/6
Val	5	6	7	8	9	12

За рахунок таких величин можливо вирішувати завдання нечіткої класифікації, інтерпретації даних, то ж проводити діагностування та реалізувати функції нечіткого управління [2, 8].

Відзначимо ще одну особливість моделей АБГМ важливу для розглянутих у статті завдань упорядкування мульти-послідовностей. Представлення початкових даних аналізу у наведених структурах (рис. 1 – рис. 4) дозволяє єдиним

чином сформувати АБГМ, які розташовані у різних вхідних джерелах. За рахунок визначення необхідних операторів порівняння для вузлів (що дозволяє виконувати ранжування даних та утворювати гілки АБГМ) можливо розділяти дані до різних вихідних упорядкованих послідовностей. За рахунок таких процедур моделювання реалізуються завдання оптимального упорядкування УМПСО виду [9].

$$(S \rightarrow Q): \{S_p \rightarrow Q_q\}; p, q = 1, 2, \dots, d \quad (1)$$

де: p – число вхідних *in-set*, q – число вихідних *out-seq* потоків завдань упорядкування МП (p, q), а d – граничне значення. Послідовності S_p і Q_q містять неподільні складові, елементи, $e_i(p)$, $e_j(q)$ (замовлення, операції ін.). Ці елементи відрізняють за номерами i_p (вхідні неупорядковані) та i_q (вихідні упорядковані), що також мають відомі або визначені на основі моделей БГМ індекси призначення відповідних замовлень *pos-ind* n_q для i_q . Між елементами *out-seq* потоків $e_k(q)$ та $e_m(q)$ необхідно виконувати умову порядку за індексами *pos-ind* n_q : $n_r(q) \leq n_m(q)$, if $r < m$ при ($r < m$), де через r и m позначені номери елементів *out-seq* Q_q .

Відзначимо особливості завдань УМПСО для «доставки замовлень товарів за адресою» (ДЗА) у порівнянні з РФ залізничних составів. Змістовно відмінності виникають через необхідність додаткового визначення «індексів призначення» замовлень *pos-ind*, номеру позиції розташування замовлення. В цих завданнях визначення номеру потребує попереднього аналізу всього масиву даних. Визначення «індексів призначення» ураховує встановлені в певному завданні процеси виконання певних логістичних процедур доставки. Наприклад, ураховує існування маршрутів руху, на які необхідно призначити відповідні замовлення. В цих завданнях також можливе утворення кількох вихідних послідовностей *out-seq* (q) > 1. Також, на відміну від завдань РФ составів, в завданнях масової «доставки замовлень товарів за адресою» можливі варіанти доставки декількома маршрутами, або визначення нового оптимального маршруту. Такі особливості завдань визначення «індексів призначення» замовлень *pos-ind* залежать від загального числа замовлень товарів та структури масиву даних. То ж для цього класу завдань упорядкування замовлень при оптимальному плануванні перевезень

застосування алгоритмів АБГМ має ще більше значення. Таким же чином, як і урахування складності («ваги») можливих операцій формування упорядкованих послідовностей замовлень. При тому в завданнях ДЗА також відрізняються від РФ множини операторів і зон формування, які забезпечують реалізацію упорядкування замовлень, а також раціональну (без додаткових операцій) обробку при вивантаженні (доставках). В завданнях ДЗА раціональною формальною структурою, яка забезпечує технологічно необхідну послідовність розташування замовлень, являється «стек» [3, 11]. Наприклад, процеси завантаження-вивантаження товарів у автотранспорт при доставках масових замовлень за маршрутом.

Зупинимся на інтерпретації моделі рис. 4 з точки зору реалізації завдань ДЗА. На рисунку 4 представлені дві класифікації послідовності *real time* масової доставки товарів. Можна вважати що утворені класи (вузли моделей рис. 4-а і рис. 4-б) мають не лише наведені у прикладі, а й додаткові елементи замовлень, а також реалізуються одним транспортним засобом. То ж для процесів транспортування рис. 4-а необхідно мати 6, а для 4-б лише 4 такі одиниці. Структура моделі АБГМ дозволяє для кожного вузла провести упорядкування вузлів (сортування), при забезпеченні необхідного визначеного технологією порядку слідування замовлень для кожного окремого засобу. Після «відправлення» замовлень вузла за маршрутом, він вилучається із моделі і процес управління завданнями ДЗА продовжується.

Висновки

Завдання з оптимального планування багатьох інформаційних і транспортно-логістичних та інших процесів використовують моделі, основані на утворенні *real time* упорядкованих структур масових замовлень. В статті представлено результати досліджень моделей і алгоритмів формування упорядкованих мульти-послідовностей, або утворення класифікаційних структур наборів даних. Областю застосування пропозованих засобів являються *real time* процеси, при виконанні яких використовуються гетерогенні оператори формування, що мають різну складність, «вагу». В результаті досліджень нами створені спеціалізовані формальні графові моделі, призначені для структурування наборів вхідних даних. На основі цих моделей і алгоритмів їх аналізу забезпечується ефективна реалізація технологічних і логістичних процесів шляхом удосконалення процедур оптимального

упорядкування (також і сортування) та класифікації послідовностей замовлень. Сформовані спеціалізовані графові моделі (бінарні дерева) для вхідних множин елементів, а також алгоритми їх оброблення, забезпечують підвищення ефективності процесу упорядкування, а також дозволяють вирішувати завдання класифікації даних різних типів. Встановлена висока обчислювальна ефективність зазначених алгоритмів формування та інтерпретації даних, а також їх придатність для *real time* упорядкування та класифікації даних мульти-послідовностей замовлень.

В статті приведені приклади формування графових моделей векторів даних, їх застосування для завдань ефективного сортування, класифікації при інтервальної невизначеності. Також показані можливості утворення структур нечіткого упорядкування числових даних. Приведено змістовні приклади та відзначено особливості завдань упорядкування мульти-послідовностей замовлень, як завдань розформування-формування залізничних составів, а також «масової доставки замовлень товарів за адресою». Практична значимість результатів досліджень визначається удосконаленням процедур *real time* оптимального планування транспортно-логістичних та інших процесів, основаних на утворенні упорядкованих та структурованих представленнях масових замовлень.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Бобровський В. І. та ін. Імітаційне моделювання процесу розформування багатогрупних составів на двосторонній гірці малої потужності // Транспортні системи та технології перевезень. – 2018. – № 15. – С. 19-26.
2. Скалозуб В. В. Конструктивні багатопарові моделі для впорядкування послідовностей з урахуванням складності операцій формування / Скалозуб В. В., Ільман В. М., Білий Б. Б. // Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту. – 2020. – № 4 (88). – С. 61-76: <https://doi.org/10.15802/stp2020/213232>
3. Knuth, Donald (1998). «Section 6.2.3: Balanced Trees». The Art of Computer Programming (PDF). Vol. 32 ed.). Addison-Wesley. pp. 458–481. ISBN 978-0201896855.
4. Adelson-Velsky, Georgy; Landis, Evgenii (1962). «An algorithm for the organization of information». Proceedings of the USSR Academy of Sciences (in Russian). 146: 263–266. English translation by Myron J. Ricci in Soviet Mathematics - Doklady, 3:1259–1263, 1962.
5. Culberson, J.; Munro, J. I. (1 January 1989). "Explaining the Behaviour of Binary Search Trees Under Prolonged Updates: A Model and Simulations". The

Computer Journal. 32 (1): 68–69. doi:10.1093/comjnl/32.1.68

6. Shynkarenko V. Development of a toolkit for analyzing software debugging processes using the constructive approach / V. Shynkarenko, O. Zhevaho // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. – 2020. – v. 5/2 (107). – p. 29-38. DOI: 10.15587/1729-4061.2020.215090 <http://journals.urau.ua/eejet/article/view/215090/215301>

7. Skalozub, V. Ontological support formation for constructive-synthesizing modeling of information systems development processes [Text] / V. Skalozub, V. Illman, V. Shynkarenko // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. – 2018. Vol. 5/54 (95) p. 55 – 63. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.143968>

8. Yadavalli V. A supply chain management model to optimise the sorting capability of a “third party logistics” distribution centre/ Yadavalli V., Balcou C. // *South African Journal of Business Management* – 2017. – Vol. 48. – p. 77-84. DOI: 10.4102/sajbm.v48i1.22.

9. Скалозуб В. В., Горячкін В. М., Терлецький І. О. Інтелектуальні процедури упорядкування послідовностей замовлень неоднорідними операторами формування // *Транспортні системи та технології перевезень*. - Дніпро: Вид-во УДУНТ ННІ ДІІТ, № 22 (2021). DOI: <https://doi.org/10.15802/tstt2021/247885>

10. Shang Zhigang. Feature Selection Based on Grouped Sorting/ Zhigang Shang, Mengmeng Li// 9th International Symposium on Computational Intelligence

and Design (ISCID). – 2016. - p. 451-454. DOI: 10.1109/ISCID.2016.1111.

11. Кормен Томас Х. Алгоритмы: построение и анализ, 2-е издание / Лейзерсон Чарльз И., Ривест Рональд Л., Штайн Клиффорд Пер. с англ. – М.: Издательский дом "Вильямс", 2010. – 1296 с.: ил. – Парал. тит. англ. – ISBN 978-5-8459-0857-5.

12. Butko T. Devising a method for the automated calculation of train formation plan by employing genetic algorithms [Text]/ V. Prokhorov D. Chekhunov // *Восточно-европейский журнал*. - 2017. - № 1/3 (58). - P. 55-61.

13. McCue, C. Data Mining and Predictive Analysis. Intelligence Gathering and Crime Analysis [Текст] : 2nd Edition. / Colleen McCue – Butterworth-Heinemann, 2015. – 422

14. Mohammad Bawangaonwala, Dhirajkumar Wadhwa, Umesh V. Nandeshwar A review on development of intelligent transport system to compare with Nagpur transport system // *IJCSMC*, Vol. 7, Issue. 4, april 2018, pg.12 – 21.

15. Рутковский Л. Методы и технологии искусственного интеллекта. – М/: Горячая линия - Телеком, 2010. - 520 с.

Надійшла до редколегії 23.06.2022.

Прийнята до друку 26.06.2022.

V. SKALOZUB, V. HORIACHKIN, M. SKALOZUB, I. TERLETSKII

INVESTIGATION OF THE ALGORITHMS FOR THE TRANSPORT AND LOGISTICS PROCESSES OPTIMAL FORMATION BY HETEROGENEOUS OPERATORS IN REAL TIME

The article presents the investigation results of the models and the algorithms for the formation of a wide range of transport and logistics real time processes, which create sorted structures of the mass orders. Operators of the different complexity, «weight» are used in this process. Different issues related to the creation of the formal models of the input data sets are resolved. They provide an effective implementation of the technological and the logistic processes. The purpose of the models is to improve the procedures for optimal ordering and classification of the sequences of analysing elements and orders. We have proposed new specialized models (graph models, binary trees) for the input (primary) sets of the elements, as well as algorithms for their processing, which ensure an efficiency increase of the ordering process components. In addition, graph models and algorithms allow solving classification tasks for the data of various types, and they are also suitable for organizing multi-sequential orders. The high computational efficiency of the proposed new algorithms for arranging and classifying data has been established using comparative analysis. The article provides meaningful examples and notes the peculiarities of the tasks used for real time ordering and classification of the multi-sequential orders. Namely, this is the task of disassembling and forming railway trains and the task of «mass order delivery to address». Examples of real time creation and transformation of the data flows binary graph models are provided to demonstrate the models and the algorithms. The formed models have been also applied to the tasks of effective sorting and classification with interval uncertainty of the data. We have investigated the possibilities of fuzzy arrangement structure creation and classification of numerical data received online.

Keywords: real time transport and logistics processes, multi-sequential orders, optimal arrangement and classification, models and algorithms of data structure formation, disassembly-formation, mass delivery of goods to addresses.