

БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНЕ МОДЕЛЮВАННЯ В УМОВАХ НЕОДНОРІДНОЇ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ ДАНИХ У РОБОТАХ СКАЛОЗУБА В.В.

Анотація. Виконано узагальнення підходів до вирішення завдань багатокритеріального моделювання в умовах неоднорідної невизначеності даних, у тому числі отриманих при моніторингу з нерівномірними та нечіткими інтервалами. Усі розглянуті підходи були створені під керівництвом та за безпосередньої участі проф. Скалозуба В. В. У роботі виділено основні підходи до моделювання на основі багатопараметричних конструктивно-продукційних, сепарабельних та реляційно-сепарабельних моделей. Отримані результати можуть бути використані для подальшого розвитку запропонованих ідей та підходів.

Ключові слова: умови невизначеності, нерівномірний та нечіткий інтервал вибірки, упорядкування мультипослідовностей елементів, сепарабельна модель, конструктивно-продукційне моделювання, конструктивна модель, інформаційні технології.

Постановка проблеми. Проблеми багатокритеріального моделювання і управління в умовах неоднорідної невизначеності даних є актуальними для транспортної, економічної, медичної галузей тощо. Їх актуальність зумовлена наявністю численних наборів даних, отриманих в ході спостережень за реабілітацією пацієнтів, спостережень за станом віддалених об'єктів, даними щодо технічного стану транспортних засобів, які мають нечітку, розмиту структуру. Разом з тим, вони можуть бути використані в задачах аналізу та прогнозування відповідних процесів. Це можливо за умови побудови відповідних моделей структур даних та процесів.

Серед завдань, що потребують побудови моделей представлення нечіткості та неоднорідності даних, можна виділити такі, як моделювання та аналіз даних процесів моніторингу, які представлені часовими рядами і відрізняються змінним або нечітким інтервалом спостережень; планування потоків замовлень систем обслуговування за неточно визначених даних; побудова моделей процесів упорядкування мультипослідовностей елементів із нечіткими параметрами тощо.

Мета дослідження. Метою цієї роботи є систематизація підходів до вирішення вказаних завдань, запропонованих у роботах проф. Скалозуба Владислава Васильовича, а також узагальнення наукового доробку Скалозуба В. В. для подальшого розвитку запропонованих ідей та підходів.

Моделювання процесів упорядкування неоднорідних мультипослідовностей з використанням конструктивних моделей. Задачі упорядкування розглядаються в логістичних, технологічних, інформаційних, залізничних та інших процесах.

У [1] запропоновано моделі процесів оптимального розформування-формування багатогрупових поїздів. В основу покладено конструктивно-продукційне моделювання (КПМ) [2], що базується на використанні апарату формальних мов та граматик.

Основна ідея КПМ полягає у представленні предмету моделювання як трійки: носій, множина операцій на елементах носія та інформаційне забезпечення конструювання (ІЗК). Носій є неоднорідним, динамічним і представляється онтологічними засобами [3, 4]. ІЗК визначає особливості конструювання, зокрема алгоритми виконання операцій сигнатури.

У [1] розроблено багат шарову конструктивну модель з упорядкування наборів неоднорідних послідовностей замовлень, яка враховує складність операцій формування. Особливістю моделі є наявність у її складі додаткових структур конструювання, що забезпечують можливості задавання складності операцій формування, а також додаткового аналізу властивостей об'єктів, які формуються під час реалізації розв'язків.

Досліджувані в [1] завдання на практиці поширені в логістичних, технологічних, інформаційних та інших процесах.

Оскільки в оцінках складності операцій формування присутня нечіткість та замовлення можуть мати індивідуальні особливості, у [5] конструктивні багат шарові моделі набули подальшого розвитку. Запропоновано комплексні моделі процесів упорядкування мультипослідовностей елементів із нечіткими параметрами. Конструктивно-продукційна система, покладена в основу моделей, формує послідовності виконання алгоритмів, необхідних для упорядкування елементів. В залежності від визначення алгоритмів, утворені продукції набувають індивідуальності.

Запропоновані моделі містять шари, які забезпечують урахування нечітких оцінок складності операцій упорядкування, класифікацію нечітких параметрів вихідних елементів, формування та аналіз індивідуальних нечітких моделей процесів надходження замовлень до сервісних систем.

Багат шарові конструктивні моделі процесів упорядкування мультипослідовностей замовлень з урахуванням складності використаних операцій покладено в основу інтелектуальних процедур упорядкування послідовностей елементів (замовлень) [6]. У кожній з моделей процеси формування порядку визначаються через параметри зони обслуговування, що представляються як формальні структури, призначені для формування вихідних послідовностей з первинних. Аналіз вмісту зон дозволяє встановити всі властивості процесу конструювання рішення для формування упорядкованих послідовностей замовлень. Також за даними зон виконується перевірка завершеності знайденого рішення.

При формуванні рішення для побудови упорядкованих послідовностей вибір оператора може здійснюватися шляхом повного перебору доступних [1] або з використанням інтелектуальних процедур на основі моделі асоціативної пам'яті Хемінга [6].

З метою підвищення ефективності процесу упорядкування запропоновано спеціалізовані моделі вхідних (первинних) множин елементів для упорядкування, а також алгоритми їх оброблення [7]. Моделі були застосовані для завдань ефективного сортування мультипослідовностей замовлень, класифікації при інтервальній невизначеності даних. В основу моделей покладено структури бінарних дерев та алгоритми їх обробки, які підвищують ефективність процесу упорядкування.

Завдання упорядкування послідовності елементів за умов нечіткості вхідних даних, в тому числі тих, що мають природомовний характер, вирішується на основі продукційних моделей керування за шаблонами [8]. Для забезпечення адекватності формальних структур керування продукційної системи за неоднорідних, неповних даних передбачено етап моделювання первинних даних.

Моделювання даних моніторингу процесів з нерівномірними та нечіткими інтервалами вибірки. Нерівномірність та нечіткість інтервалів отримання даних під час моніторингу ускладнюють процеси їх аналізу, а також побудови прогнозів на їхній основі.

У [9] запропоновано сепарабельну модель (СПМ) для дослідження процесів клінічного моніторингу стану хворих на діабет з метою визначення оцінок величин нового періоду до виникнення станів/подій. У досліджені розглянуті періоди моделі моніторингу – надзвичайно нерівномірні та особливі для різних хворих.

СПМ процесів моніторингу в цілому визначає значення нового моменту виникнення чергової події спостережуваного процесу та відповідні кожному моменту характеристики процесу. Особливість цієї моделі полягає у виокремленні нерівномірних (нечітких) інтервалів вибірок у окрему складову моделі, що розглядається як один з компонентів даних процесу моніторингу [10].

Для підвищення ефективності моделювання і аналізу процесів з часовими рядами з невизначеними або нечіткими інтервалами запропоновано реляційно-сепарабельна модель (PCM) і комбінований квантильний алгоритм [11]. У склад PCM включено нечітку реляційну модель, що описується системою нечітких реляційних відношень першого та другого порядку, отриманих на основі вихідної послідовності даних. У відношеннях враховано такі параметри модельованих процесів, як контрольований показник (у [11] – рівень цукру у крові) та показник часу. Комбінація показників дозволяє врахувати кілька попередніх етапів розвитку процесів. У PCM, порівняно з СПМ, для процесів, представлених часовими рядами з невизначеними або нечіткими інтервалами, враховано додаткові об'єктивні властивості, пов'язані зі змінністю інтервалів, у формі нечітких відношень.

Невизначеність у завданнях багатокритеріального моделювання та управління. Опрацювання наукового доробку Скалозуба В. В. дозволяє визначити такі основні особливості вирішення поставлених завдань:

- неоднорідність та нечіткість даних, що утворюють мультипослідовність елементів;
- нерівномірність та нечіткість інтервалів спостережень під час моніторингу процесів.

Для їх врахування колективами авторів, що співпрацювали зі Скалозубом В.В., запропоновано підходи на основі моделей:

- багат шарових конструктивно-продукційних;
- сепарабельних та реляційно-сепарабельних.

Використання цих підходів дозволило формалізувати завдання обробки нечітких даних та інтервалів, а також розробити ряд інтелектуальних процедур, що враховують вимоги процесів різних предметних областей.

Висновки. В роботі виконано узагальнення підходів до вирішення проблем багатокритеріального моделювання і управління в умовах неоднорідної невизначеності даних. Виділено основні особливості та підходи до їх вирішення. Особливо слід відзначити, що у розглянутих роботах предметними областями для прикладів є транспортно-логістична та медична галузь, що вказують на широту сфери застосування наукового доробку Скалозуба В. В. та його співавторів.

Перспективним є розвиток виявлених підходів, у тому числі шляхом їх поєднання, а також доповнення конструктивно-продукційних моделей формалізованим описом конструктивних елементів, у тому числі вхідних даних, онтологічними засобами. Використання формалізованих способів представлення онтологій, наприклад, OWL, дозволить автоматизувати обробку відповідних даних.

Післямова. Владислав Васильович Скалозуб (1949 – 2024) – доктор технічних наук, професор кафедри «Комп’ютерні інформаційні технології» (КІТ) ННІ «Дніпровський інститут інфраструктури і транспорту» Українського державного університету науки і технологій.

Сфера наукових інтересів проф. Скалозуба В. В. охоплювала теоретичні і прикладні питання багатокритеріального моделювання і управління в умовах неоднорідної невизначеності даних; розвиток інтелектуальних технологій залізничного транспорту; проблематику управління парками складних систем; автоматизація управління на основі принципів сталого розвитку; проблеми управління неоднорідними потоками у мережах; моделювання процесів управління у автоматизованих системах залізничного транспорту України тощо.

Загальний науковий доробок Скалозуба В. В. складає декілька монографій та сотні наукових статей та доповідей. Під його керівництвом захищено незліченну кількість кваліфікаційних та наукових робіт, зокрема на здобуття ступеня кандидата технічних наук.

На сьогодні багатогранний науковий доробок Скалозуба В. В. сприяє розвитку широкого кола досліджень, зокрема пов’язаних з нечіткою логікою, невизначеними даними, що притаманні різним предметним областям, зокрема інтелектуальним транспортним системам.

ЛІТЕРАТУРА

1. Скалозуб В. В., Ільман В. М., Білий Б. Б. Конструктивні багат шарові моделі для впорядкування послідовностей з урахуванням складності операцій формування. Наука та прогрес транспорту. № 4 (88), 2020. С. 61-76. <https://doi.org/10.15802/stp2020/213232>

2. Shynkarenko V. I., Ilman V. M. Constructive-synthesizing structures and their grammatical interpretations. I. Generalized formal constructive-synthesizing structure. Cybernetics and Systems Analysis N. 50.5, 2014. P. 655-662. DOI:10.1007/s10559-014-9655-z
3. Skalozub V., Ilman V., Shynkarenko V. Development of ontological support of constructive-synthesizing modeling of information systems. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, v. 6/4 (90), 2017. P. 58-69. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.119497>
4. Skalozub V., Ilman V., Shynkarenko V. Ontological support formation for constructive-synthesizing modeling of information systems development processes. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, v. 5/4 (95), 2018. P. 55-63. 15. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.143968>
5. Скалозуб В. В., Горячкін В. М., Мурашов О. В. Комплексні моделі впорядкування мультислідовностей із нечіткими параметрами. Наука і прогрес транспорту, № 2 (92), 2021. С. 50-64. DOI: 10.15802/stp2021/237291.
6. Скалозуб В. В., Горячкін В. М., Терлецький І. А. Інтелектуальні процедури упорядкування послідовностей замовлень неоднорідними операторами формування. Транспортні системи та технології перевезень, № 22, 2021. С. 67-79. <https://doi.org/10.15802/tstt2021/247885>
7. Скалозуб В. В., Горячкін В. М., Скалозуб М. В. Терлецький І. А. Дослідження алгоритмів оптимального формування транспортно-логістичних процесів реального часу гетерогенними операторами. Транспортні системи та технології перевезень, № 23, 2022. С. 65-73. <https://doi.org/10.15802/tstt2022/261657>
8. Скалозуб В. В., Горячкін В. М., Терлецький А. І. Інтелектуальна технологія оптимізації керування потоками замовлень сервісних систем із неточно визначеними і природномовними даними. Наука і прогрес транспорту, № 2 (102), 2023. С. 54-70. <https://doi.org/10.15802/stp2023/288077>
9. Скалозуб В. В., Мурашов О. В. Моделювання даних процесів моніторингу при нерівномірних і нечітких інтервалах спостережень. Системні технології, № 4 (135), 2021. С. 135-148. DOI 10.34185/1562-9945-4-135-2021-14
10. Скалозуб В. В., Мурашов О. В. Моделювання процесів моніторингу при нерівномірних і нечітких інтервалах спостережень. Інформаційні технології у металургії та машинобудуванні, 2021. С. 193-194.
11. Скалозуб В. В., Горячкін В. М., Мурашов О. В. Реляційно-сепарабельні моделі процесів моніторингу при перемінних і нечітких інтервалах спостережень. Системні технології, № 4 (147), 2023. С. 3 – 19. DOI 10.34185/1562-9945-4-147-2023-01

REFERENCES

1. Skalozub V. V., Ilman V. M., Bily B. V. Constructive multi-layer models for ordering a set of sequences, taking into account the complexity operations of formation. Science and Transport Progress. № 4 (88), 2020. P. 61-76. <https://doi.org/10.15802/stp2020/213232>
2. Shynkarenko V. I., Ilman V. M. Constructive-synthesizing structures and their grammatical interpretations. I. Generalized formal constructive-synthesizing structure. Cybernetics and Systems Analysis N. 50.5, 2014. P. 655-662. DOI:10.1007/s10559-014-9655-z

3. Skalozub V., Iman V., Shynkarenko V. Development of ontological support of constructive-synthesizing modeling of information systems. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, v. 6/4 (90), 2017. P. 58-69. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.119497>
4. Skalozub V., Iman V., Shynkarenko V. Ontological support formation for constructive-synthesizing modeling of information systems development processes. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, v. 5/4 (95), 2018. P. 55-63. 15. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.143968>
5. Skalozub V. V., Horiachkin V. M., Murachov O. V. Complex Models of Ordering Multi-Sequences with Fuzzy Parameters. Science and Transport Progress, № 2 (92), 2021. P. 50-64. DOI: 10.15802/stp2021/237291.
6. Skalozub V., Horiachkin V., Terletskii I. Intellectual procedures for ordering sequence orders by inhomogeneous forming operators. Transport systems and transportation technologies, № 22, 2021. P. 67-79. <https://doi.org/10.15802/tstt2021/247885>
7. Skalozub V., Horiachkin V., Skalozub M., Terletskii I. Investigation of the algorithms for the transport and logistics processes optimal formation by heterogeneous operators in real time. Transport systems and transportation technologies, № 23, 2022. P. 65-73. <https://doi.org/10.15802/tstt2022/261657>
8. Skalozub V., Horiachkin V., Terletskii I. Intelligent Technology for Optimizing the Management of Order Flows of Service Systems With Imprecisely Defined and Natural Language Data. Science and Transport Progress, № 2 (102), 2023. P. 54-70. <https://doi.org/10.15802/stp2023/288077>
9. Skalozub V., Murashov O. Modeling of monitoring processes with uneven and fuzzy observation intervals. System technologies, № 4 (135), 2021. P. 135-148. DOI 10.34185/1562-9945-4-135-2021-14
10. Skalozub V., Musachov O. Modeling of monitoring processes with uneven and unclear observation intervals. International scientific and technical conference Information technologies in metallurgy and machine building, 2021. P. 193-194.
11. Skalozub V., Horiachkin V. M., Murashov O. Relational-separable models of monitoring processes at variable and unclear observation intervals. System technologies, № 4 (147), 2023. P. 3 – 19. DOI 10.34185/1562-9945-4-147-2023-01

Received 23.08.2024.
Accepted 28.08.2024.

***Multi-criterion modeling in the conditions of non-homogeneous data
uncertainty in the V. Skalozub papers***

The problems of solving multi-criteria modeling tasks in conditions of heterogeneous data uncertainty are characteristic and relevant for many areas, in particular, transport and logistics, medical, and economic. This paper summarizes the approaches to solving these areas tasks, including cases for data obtained during monitoring with uneven and unclear intervals. All the considered approaches were created under the guidance and with the direct participation of prof. Skalozub V. V. The author's team, with his participation, illustrated examples of the use of models in the tasks of organizing multi-symbol sequences in transport (for-

mation-dismantling of trains, order processing) and in the analysis and forecasting of states/events based on data on diabetes diseases.

In this paper, the main approaches to modeling in conditions of heterogeneous data uncertainty based on multi-layer constructive-synthesizing, separable and relational-separable models are highlighted. Multi-layer constructive-synthesizing became new branch of develop constructive-synthesizing modeling. Their practical value currently lies in the possibility of obtaining a new form of implementation of the specified technological processes of railway transport. In the future, they can be applied to tasks that require step-by-step data processing with a clear demarcation of the relevant operations.

The obtained results can be used for further development of the proposed ideas and approaches.

It is promising to develop the identified approaches, including by combining them, as well as supplementing constructive-production models with a formalized description of constructive elements, including input data, by ontological means.

The paper contains information about the figure and scientific work of V. Skalozub.

Keywords: conditions of uncertainty, uneven and fuzzy sampling interval, arrangement of multisequences of elements, separable model, constructive-synthesizing modeling, constructive model, information technologies.

Куроп'ятник Олена Сергіївна – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри «Комп'ютерні інформаційні технології», Український державний університет науки і технологій.

Kuropiatnyk Olena – candidate of engineering sciences, associate professor, associate professor of Computer Information Technology Department at Ukrainian State University of Science and Technologies.