

УДК 004

МОДЕЛЮВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ ВЗАЄМОДІЇ СУБ'ЄКТІВ ЗА ДОПОМОГОЮ ГРАФІВ

М. Б. Вігер¹, О. В. Держук², К. Ф. Базилюк³

¹Національний транспортний університет,
вул. Михайла Омеляновича-Павленка, 1, Київ, 01010, Україна

²Київський національний економічний університет імені Вадима Гетьмана,
пр. Перемоги, 54/1, Київ, 03057, Україна

³Національний університет «Львівська політехніка»,
вул. С. Бандери, 12, Львів, 79013, Україна

Розглянуто питання використання теорії графів для структурно-топологічного аналізу інформаційної взаємодії. Наведено визначення поняття простору інформаційної взаємодії суб'єктів. Описано вектор інформаційної взаємодії як базовий елемент структури цього простору, що ілюструє особливості передачі інформації від одного суб'єкта до іншого. Встановлено, що параметрами вектора інформаційної взаємодії є суб'єкти інформаційної взаємодії, елементи нормативного, функціонального та телекомунікаційного типів взаємодії. Вони описують сценарій інформаційної взаємодії, компоненти взаємодії, пов'язані з інформаційними ресурсами, засоби передачі інформації. Напрямок вектора інформаційної взаємодії визначається як такий, що збігається з напрямом передачі інформації від одного суб'єкта до іншого. На основі поняття вектора інформаційної взаємодії дано визначення поняття інформаційної процедури та поняття інформаційного процесу. Розроблено графічні моделі конкретних інформаційних процесів. Вказано на можливості застосування математичного апарату теорії графів для моделювання інформаційних процесів.

Ключові слова: інформаційний процес, інформаційна взаємодія, вектор інформаційної взаємодії, графова модель інформаційної взаємодії.

Постановка проблеми. У сучасному суспільстві інформаційних систем і технологій важливу роль відіграє побудова ефективної інформаційної взаємодії між суб'єктами. Існує багато різних підходів до моделювання цих процесів. Завдання, яке ставиться перед розробниками моделі, відповідно впливає на використання засобів моделювання і на тип моделі. Так, наприклад, у статті [1] розглянуто питання використання віртуальної математичної моделі в інформаційному просторі для розпізнавання стану бездротової комп'ютерної мережі. У праці [2] запропоновано математичні моделі процесу інформаційної взаємодії в екосистемі.

Теорія графів є універсальним засобом структурного моделювання різних систем, під час вивчення яких на перший план виступають зв'язки і відносини між

об'єктами. Високий рівень абстракції та узагальнення дає змогу використовувати алгоритми теорії графів для вирішення задач у транспортних і комп'ютерних мережах, будівельному проєктуванні, молекулярному моделюванні, у геоінформаційних системах, під час моделювання складних технологічних процесів, у генетиці, психології, соціології, економіці тощо [3–6].

Очевидно, що графи можна ефективно використовувати також під час моделювання інформаційної взаємодії суб'єктів. У графовій моделі у цьому випадку ребра будуть відповідати напрямкам взаємодії, а вершини — суб'єктам взаємодії.

Незважаючи на те, що побудові графових моделей інформаційної взаємодії присвячено цілу низку наукових робіт, ця проблема залишається і надалі актуальною. У більшості досліджень з цієї тематики теорія графів застосовується до моделювання лише окремих видів інформаційної взаємодії суб'єктів.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. У праці [7] запропоновано до розгляду моделі поширення інформації на графах. Основні компоненти моделей містять підмножину вузлів, що утворюють вихідне джерело інформації, час надходження інформації та закони, що регулюють передачу інформації до вузлів від своїх сусідів. У дослідженні [8] описано використання технологій теорії графів для моделювання процесу обміну даними в телекомунікаційних мережах. У статті [9] за допомогою графів моделюються інформаційні зв'язки між користувачами соціальних мереж.

Мета статті. Основну мету дослідження орієнтовано на структурування простору інформаційної взаємодії шляхом побудови відповідних моделей взаємодії. Це дає змогу сформулювати проблемні задачі взаємодії і побудувати відповідні оптимальні розв'язки.

Виклад основного матеріалу дослідження. Під простором інформаційної взаємодії суб'єктів розуміється сукупність:

- організаційних структур, що беруть участь у процесі інформаційної взаємодії;
- інформаційних ресурсів, які стосуються цього процесу;
- засобів, що забезпечують передавання інформації чи доступ до інформаційних ресурсів.

Базовим елементом вказаного простору є вектор інформаційної взаємодії суб'єктів s_1 і s_2 , який позначається як $V(s_1, s_2, n, f, t)$ [10]. Параметри n, f, t цього вектора описують сфери нормативно-правового, функціонального і телекомунікаційного видів взаємодії [11], а саме:

- n — сценарій інформаційної взаємодії (мета, порядок і регламент надання інформації тощо);
- f — складові взаємодії, пов'язані з інформаційними ресурсами (об'єм, тип, формат переданих даних тощо);
- t — засоби передавання інформації (у паперовому вигляді, електронною поштою, через вебдоступ).

Порядок розташування параметрів s_1 і s_2 вказує на напрям вектора інформаційної взаємодії. У випадку передавання інформації від суб'єкта s_1 до суб'єкта s_2 вектор матиме вигляд $V(s_1, s_2, n_1, f_1, t_1)$. Вектори $V(s_1, s_2, n_1, f_1, t_1)$ і $V(s_2, s_1, n_2, f_2, t_2)$ вважаються протилежними.

Якщо суб'єкт s_0 одночасно взаємодіє з декількома іншими суб'єктами: s_1, s_2, s_3 , і при цьому параметри n, f, t є однотиповими, то відповідні вектори $V(s_0, s_1, n_0, f_0, t_0)$, $V(s_0, s_2, n_0, f_0, t_0)$, $V(s_0, s_3, n_0, f_0, t_0)$ будемо називати паралельними.

Однотиповість у цьому випадку означає таке: параметр n_0 — спільний; f_0 — формується за однаковим шаблоном, регламентом, порядком; t_0 — однаковий.

Прикладом таких векторів є вектори, що описують процес розсилання однотипних завдань від центрального органу до регіональних підрозділів або поширення даних засобами масової інформації.

У випадку надсилання підрозділами однаковими засобами однотипних відповідей на вказані вище завдання, то вектори $V(s_1, s_0, n_1, f_1, t_1)$, $V(s_2, s_0, n_2, f_2, t_2)$, $V(s_3, s_0, n_3, f_3, t_3)$ також можна вважати паралельними.

Під інформаційною процедурою (процедурою інформаційної взаємодії) будемо розуміти процес обміну інформацією між двома суб'єктами s_1 і s_2 у конкретній предметній області, який описується відповідними векторами $V(s_1, s_2, n_1, f_1, t_1)$ і $V(s_2, s_1, n_2, f_2, t_2)$. Будемо позначати їх як V_{12} і V_{21} , а інформаційну процедуру — $Pr(V_{12}, V_{21})$.

Графічно інформаційна процедура може бути зображена у вигляді орієнтованого графа (рис. 1) з вершинами s_1, s_2 і дугами V_{12}, V_{21} .

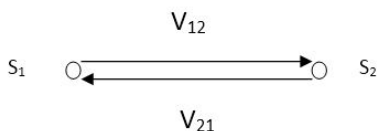


Рис. 1. Граф інформаційної процедури

Односторонніми будемо називати процедури, в яких є лише одна складова V_{12} або V_{21} .

Декілька процедур будемо називати суміжними, якщо вони описують інформаційні взаємодії декількох суб'єктів з одним і тим самим партнером. Такі процедури зазвичай складаються з паралельних векторів.

Інформаційним процесом (ІР) будемо називати визначену сукупність інформаційних процедур у конкретній предметній області. Із сказаного вище випливає, що інформаційний процес може бути поданий множиною інформаційних процедур або множиною інформаційних векторів:

$$IP = \{P_1, P_2, \dots, P_k\} \text{ або}$$

$$IP = \{V_1(s_1, s_2, n_1, f_1, t_1), V_2(s_2, s_1, n_2, f_2, t_2), \dots, V_k(s_k, s_{k-1}, n_k, f_k, t_k)\}.$$

Інформаційний процес може мати різну структуру. Подаючи його у графічному вигляді, матимемо різні види орієнтованих графів, залежно від виду процесу.

Розглянемо структурно-топологічні характеристики графічних моделей деяких видів інформаційної взаємодії.

Якщо, наприклад, інформація передається послідовно від одного суб'єкта до іншого, то відповідний граф матиме лінійний вигляд (рис. 2).

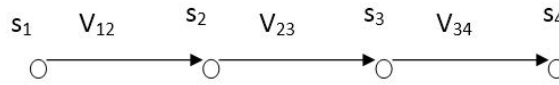


Рис. 2. Граф процесу послідовного передавання інформації

Якщо обмін даними відбувається між суб'єктом і його підрозділами, то граф такої інформаційної взаємодії матиме зіркову структуру (рис. 3).

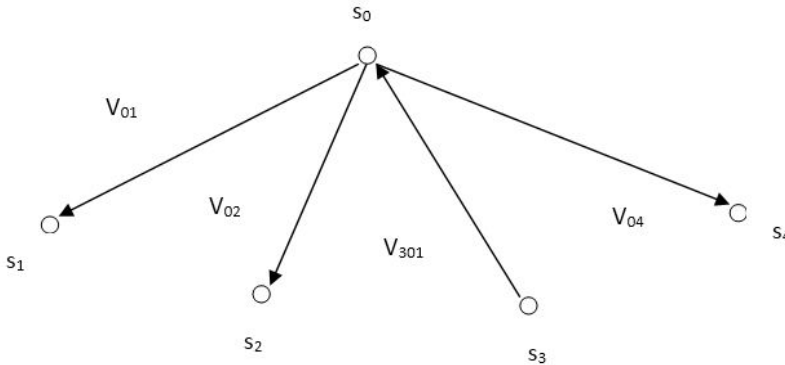


Рис. 3. Граф обміну даними між суб'єктом і його підрозділами

Деревовидним типом графа може бути описаний процес доступу різних користувачів до спільних баз даних (рис. 4).

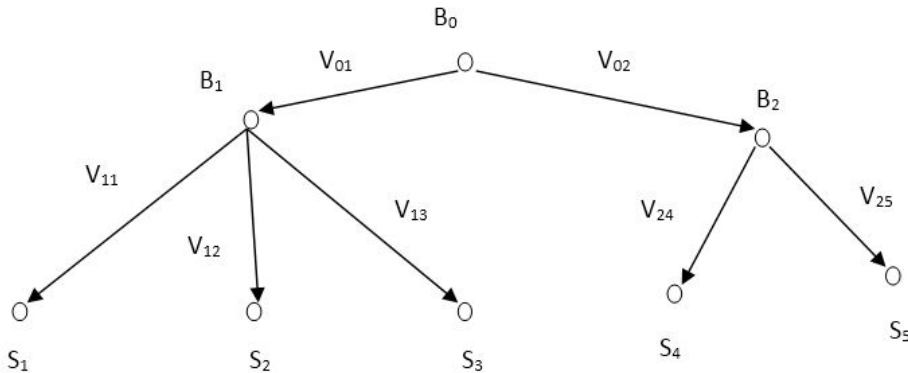


Рис. 4. Граф доступу різних користувачів до спільних баз даних

На рис. 4 символами B_0 , B_1 , B_2 позначено різні бази даних.

Більш складніші інформаційні процеси будуть описуватись складнішими видами графів.

Загальна матриця суміжності інформаційного процесу (з використанням векторів інформаційної взаємодії) матиме вигляд (рис. 5).

	S_1	S_2	...	S_n
S_1	***	V_{12}	...	V_{1n}
S_2	V_{21}	***	...	V_{2n}
...
S_n	V_{n1}	V_{n2}	...	***

Рис. 5. Загальна матриця суміжності інформаційного процесу

Тут через v_{ij} позначено вектори інформаційної взаємодії $V_{ij}(s_i, s_j, n_i, f_i, t_i)$, які описують обмін інформацією між суб'єктами s_i та s_j . Ця матриця інформує про наявність і напрям обміну інформацією між різними суб'єктами.

Для кожного виду інформаційної взаємодії можна побудувати свою матрицю суміжності. Так, наприклад, матриця суміжності для сценаріїв інформаційної взаємодії (матриця нормативної взаємодії) матиме вигляд (рис. 6).

	s_1	s_2	...	s_n
s_1	***	n_{12}	...	n_{1n}
s_2	n_{21}	***	...	n_{2n}
...
s_n	n_{n1}	n_{n2}	...	***

Рис. 6. Матриця нормативної взаємодії

де n_{ij} і n_{ji} — відповідні нормативні документи, що регулюють документообмін між суб'єктами s_i та s_j .

Матриця нормативної взаємодії дає можливість здійснювати аналіз нормативних документів, які регулюють відповідний інформаційний процес щодо їх сумісності, дублювання, ефективності.

Матриця суміжності для інформаційних потоків інформаційного процесу може мати такий вигляд (рис. 7).

	s_1	s_2	...	s_n	Сума вихідних потоків
s_1	***	i_{12}	...	i_{1n}	$\Sigma_{1\text{вих}}$
s_2	i_{21}	***	...	i_{2n}	$\Sigma_{2\text{вих}}$
...
s_n	i_{n1}	i_{n2}	...	***	$\Sigma_{\text{пвих}}$
Сума вхідних потоків	$\Sigma_{1\text{вх}}$	$\Sigma_{2\text{вх}}$...	$\Sigma_{\text{пвх}}$	***

Рис. 7. Матриця інформаційних потоків

У цьому випадку через i_{ij} позначено потік інформації, яка передається від i -го суб'єкта до j -го, а через $\sum_{i \text{ вих}} i$ і $\sum_{i \text{ вх}} i$ — суми вхідних і вихідних потоків для i -го суб'єкта.

На основі аналізу елементів вказаної матриці можна будувати моделі оптимізації інтенсивності передавання даних з використанням відповідних алгоритмів на графах, а також лінійного програмування чи теорії масового обслуговування.

Аналогічно можна побудувати матрицю, пов'язану з типами (форматами) даних, які беруть участь в інформаційній взаємодії, датами їх передавання, системами захисту тощо.

Матриця каналів передавання інформації між суб'єктами інформаційної взаємодії зображена на рис. 8.

	s_1	s_2	...	s_n
s_1	***	t_{12}	...	t_{1n}
s_2	t_{21}	***	...	t_{2n}
...
s_n	t_{n1}	t_{n2}	...	***

Рис. 8. Матриця каналів передавання інформації

Тут t_{ij} — тип каналу зв'язку, яким передається інформація від i -го суб'єкта до j -го. Можливі варіанти t_{ij} : паперовий обмін, електронна пошта, виділений канал зв'язку, безпосередній доступ до баз даних партнера, вебдоступ тощо. У випадку електронної передачі інформації вказується тип мережі, протокол передавання, засоби кодування тощо.

Висновки. Завдяки використанню вектора інформаційної взаємодії сформовано комплексний підхід до опису і моделювання процесу обміну інформацією. При цьому враховуються не лише суб'єкти взаємодії та інформація, якою вони обмінюються, а й нормативні акти, що регулюють цей процес, а також канали передавання даних. Запровадження вектора інформаційної взаємодії також дає можливість моделювати різні інформаційні процеси за допомогою відповідних орієнтованих графів. Водночас використання математичного апарату теорії графів дає змогу проводити ефективний аналіз різних аспектів інформаційної взаємодії, а також будувати відповідні оптимізаційні моделі вказаних процесів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Віртуальні математичні моделі в інформаційному просторі / Становський А. О., Торопенко А. В., Налева Г. В., Кошулян С. В., Валід Х., Панова Т. М. *Scientific Journal «ScienceRise»*. 2016. № 5/2 (22). С. 53–60.
2. Kovtun V., Izonin I., Gregus M. Mathematical models of the information interaction process in 5G-IoT ecosystem: Different functional scenarios. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405959521001557#!> (дата звернення: 16.05.2022).

3. Belkin M., Matveeva I., Niyogi P. Regularization and semi-supervised learning on large graphs International Conference on Computational Learning Theory, Springer, 2004. Pp. 624–638.
4. Лосев Ю. И., Руккас К. М. Сравнительный анализ математического аппарата моделирования телекоммуникационных сетей. *Системы обработки информации*. Харьков : ХУПС. 2007. Вып. 8 (66). С. 55–61.
5. Кузьо І. В., Зінько Р. В., Лозовий І. С. Застосування графів при дослідженні функціонування транспортних засобів з пружно зчленованими елементами. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2010. Вып. 20.12. С. 111–116.
6. Применение теории графов для расчета систем электроснабжения. Центр графа. Оптимальное расположение подстанции в сети / Козырский В. В., Гнучий Ю. Б., Гай А. В., Костюк В. А. *Энергетика і автоматика*. 2013. № 1. С. 1–10.
7. Dunbar Oliver R. A., Elliott Charles M., Kreusser Lisa Maria. Models for information propagation on graphs. URL: <https://arxiv.org/pdf/2201.07577.pdf> (дата звернення: 05.05.2022).
8. Лосев Ю. И., Закиров З. З. Разработка модели процесса обмена данными в системах с обратной связью и адресным обнаружением ошибок. *Збірник наукових праць Харківського університету повітряних сил*. 2010. Вып. 2 (24). С. 102–105.
9. Корж Р. О., Пелешин А. М., Мاستикаш О. В. Інформаційна система взаємодії ВНЗ із соціальними середовищами Інтернету. URL: <https://science.lpnu.ua/sites/default/files/journal-paper/2018/jun/13004/ilovepdfcom-69-83.pdf>. (дата звернення: 05.05.2022).
10. Вітер М. Б., Засадна Х. О., Гавриленко О. В. Структурування простору інформаційної взаємодії державних органів. *Науковий вісник національного лісотехнічного університету України*. 2018. Вып. 28. № 1. С. 118–121.
11. Вітер М. Б., Засадна Х. О. Моделювання єдиного простору інформаційної взаємодії органів державної влади. *Науковий вісник національного лісотехнічного університету України*. 2016. Вып. 26. № 5. С. 288–294.

REFERENCES

1. Stanovsjkyj, A. O., Toropenko, A. V., Naleva, Gh. V., Koshuljan, S. V., Valid, Kh., & Panova, T. M. (2016). Virtualjni matematychni modeli v informacijnomu prostori: Scientific Journal «ScienceRise», 5/2 (22), 53–60 (in Ukrainian).
2. Kovtun, V., Izonin, I., & Gregus, M. (2021). Mathematical models of the information interaction process in 5G-IoT ecosystem: Different functional scenarios. Retrieved from <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405959521001557#!> (data zvernennia: 16.05.2022) (in English).
3. Belkin, M., Matveeva, I., & Niyogi, P. (2004). Regularization and semi-supervised learning on large graphs International Conference on Computational Learning Theory, Springer, 624–638 (in English).
4. Losev, Ju. I., & Rukkas, K. M. (2007). Sravnitel'nyj analiz matematicheskogo apparata modelirovanija telekommunikacionnyh setej: Systemy obrobky informaciji. Kharkiv : KhUPS, 8 (66), 55–60 (in Russian).
5. Kuzjo, I. V., Zinjko, R. V., & Lozovyj, I. S. (2010). Zastosuvannja ghrafov pry doslidzhenni funkcionuvannja transportnykh zasobiv z pruzhno zchlenovanymy elementamy: Naukovyj visnyk NLTU Ukrajinu, 20.12, 111–116 (in Ukrainian).

6. Kozyrskij, V. V., Gnuchij, Ju. B., Gaj, A. V., & Kostjuk, V. A. (2013). Primenenie teorii grafov dlja rascheta sistem jelektrosnabzhenija. Centr grafa. Optimal'noe raspolozhenie podstancii v seti: Energetika i avtomatika, 1, 1–10 (in Russian).
7. Dunbar, Oliver R. A., Elliott, Charles M., & Kreuzer, Lisa Maria. Models for information propagation on graphs. Retrieved from <https://arxiv.org/pdf/2201.07577.pdf> (data zvernennia: 05.05.2022) (in English).
8. Losev, Ju. I., & Zakirov, Z. Z. (2010). Razrabotka modeli processa obmena dannymi v sistemah s obratnoj svjaz'ju i adresnym obnaruzheniem oshibok: Zbirnik naukovih prac' Har'kivs'kogo universitetu povitrtjanih sil, 2 (24), 102–105 (in Russian).
9. Korzh, R. O., Peleshhyshyn, A. M., & Mastykash, O. V. Informacijna systema vzajemodiji VNZ iz social'nymy seredovysshamy Internetu. Retrieved from <https://science.lpnu.ua/sites/default/files/journal-paper/2018/jun/13004/ilovepdfcom-69-83.pdf>. (data zvernennia: 05.05.2022) (in Ukrainian).
10. Viter, M. B., Zasadna, Kh. O., & Ghavrylenko, O. V. (2018). Strukturuvannja prostoru informacijnoji vzajemodiji derzhavnykh orghaniv: Naukovyj visnyk nacional'nogho lisotekhnichnogho universytetu Ukrajinu, 28, 1, 118–121 (in Ukrainian).
11. Viter, M. B., & Zasadna, Kh. O. (2016). Modeljuvannja jedynogho prostoru informacijnoji vzajemodiji orghaniv derzhavnoji vlady: Zasadna: Naukovyj visnyk nacional'nogho lisotekhnichnogho universytetu Ukrajinu, 26, 5, 288–294 (in Ukrainian).

doi: 10.32403/1998-6912-2022-1-64-32-40

MODELING OF INFORMATION INTERACTION OF SUBJECTS USING GRAPHS

M. B. Viter¹, O. V. Derzhuk², K. F. Bazyliuk³

¹*National Transport University,
1, Mykhailo Omelyanovych-Pavlenko St., Kyiv, 01010, Ukraine*

²*Kyiv National Economic University named after Vadym Hetman,
54/1, Peremoha Avenue, Kyiv, 03057, Ukraine*

³*Lviv Polytechnic National University,
12, S. Bandera St., Lviv, 79013, Ukraine
k.bazylyuk@gmail.com*

The issues of the information interaction modeling, which is related to the organizational and technological elements of the information space are considered in the article. Depending on the scope, the concept of information space can be interpreted in different ways. In order to highlight its organizational and technological component, the authors proposed instead of the concept of information space to consider the space of information interaction, which includes the following elements: participants in

information interaction; information resources exchanged by participants; means of information resources transmission.

Participants (subjects) of information interaction can be both individuals and legal entities, as well as machines that transmit or receive relevant information. Information resources are any type of information that can be transmitted: text, numerical data, audio, video, databases, etc. The means of transmitting information can be paper, telecommunications channels, including the Internet, cloud technology and more. However, if one entity provides remote access to its data to another entity, this is also to be considered as data transmission.

The vector of information interaction is described as a basic element of the structure of the information interaction space, that illustrates the peculiarities of information transferring from one subject to another. It is established that the parameters of the vector of information interaction are: subjects of information interaction, elements of normative, functional and telecommunication types of interaction. Accordingly, they describe: the scenario of information interaction; components of interaction related to information resources; means of information transferring. The direction of the information interaction vector is defined as the same as the direction of information transferring from one subject to another. Based on the concept of the information interaction vector, the definition of the information procedure concept and the information process concept is given.

Graphic models of specific information processes are developed in the article. The possibilities of application of the mathematical apparatus of graph theory for information processes modeling are specified.

Keywords: *information process, information interaction, vector of information interaction, graph model of information interaction.*

Стаття надійшла до редакції 20.05.2022.

Received 20.05.2022.