

Метод накопичувального впливу для аналізу когнітивних карт

Дмитренко Олег Олександрович
КПІ ім. Ігоря Сікорського
Київ, Україна
dmytrenko.o@gmail.com

Ланде Дмитро Володимирович
КПІ ім. Ігоря Сікорського
Київ, Україна
dwlande@gmail.com

Анотація. В роботі представлений новий метод аналізу когнітивних карт, так званий, метод накопичувального впливу. Показано, що він позбавлений недоліків, які містить, наприклад, один з методів, що широко використовується в наш час, – імпульсний метод, а саме: використовуючи запропонований метод, завжди можна визначити результуюче значення, не залежно від того, чи є стійким імпульсний процес. На відміну від імпульсного методу, метод накопичувального впливу не порушує масштабної інваріантності. В роботі також наведені приклади аналізу когнітивних карт, на яких продемонстровані переваги запропонованого методу.

Ключові слова: когнітивна карта, орієнтований граф, зважений орграф, матриця суміжності, матриця впливу, імпульсний метод, метод накопичувального впливу.

ВСТУП

Когнітивне моделювання є одним із нових напрямків сучасної теорії підтримки та прийняття рішень [1].

Когнітивна карта – це орієнтований граф, ребрам (а в деяких випадках і вузлам) якого можуть приписуватись певні вагові значення. Когнітивна карта, як і будь-який граф, описується матрицею суміжності W , елементами якої є w_{ij} – вагові значення ребер, що з'єднують відповідні вершини u_1, u_2, \dots, u_n . Вершинам когнітивної карти відповідають певні поняття (концепти), а ребрам (зв'язкам) – казуальні (причинно-наслідкові) зв'язки між відповідними концептами.

Введення ваг, що характеризують силу впливу, виявилось основним напрямком розвитку когнітивного підходу до аналізу ситуацій. Для аналізу добре структурованих ситуацій з кількісними параметрами використовуються вагові значення, а значення впливу за різними шляхами між двома вершинами підсумовуються.

Для аналізу нечітких когнітивних карт (НKK) найбільш відомим є підхід, запропонований Б. Коско [2], який також ввів поняття НKK (англ. FCM – fuzzy cognitive maps). Залежно від конкретного типу задач, що вирішуються, розглядаються різні модифікації НKK. Основою методів аналізу НKK є операції нечіткої математики [3].

ІМПУЛЬСНИЙ МЕТОД

Одним з методів кількісного аналізу когнітивних карт, що широко використовується в наш час, є імпульсний метод [4, 5]. В цьому методі вважається,

що кожна вершина u_i приймає значення $v_i(t)$, в дискретні моменти часу $t = 0, 1, 2, \dots$. Вага ребра має додатне значення $w_{ij} > 0$, якщо збільшення вагового значення концепта-причини призводить до збільшення вагового значення концепта-наслідка, і $w_{ij} < 0$ – в протилежному випадку. Якщо зв'язок між вершинами i та j відсутній, то $w_{ij} = 0$.

Значення вершин в зваженому орграфі змінюються з часом відповідно до формули:

$$v_i(t+1) = v_i(t) + \sum_{j=1}^n w_{ji} p_j(t) \quad (1)$$

де n – кількість вершин у графі.

Зміна імпульсу $p_j(t)$ задається різницею

$$p_j(t) = v_i(t) - v_i(t-1) \text{ при } t = 1, 2, \dots$$

Також необхідно задати початкові умови при $t = 0$: $p_j(0)$ та $v_i(0)$.

НЕДОЛКИ ІМПУЛЬСНОГО МЕТОДУ

Основним і найвагомим недоліком імпульсного методу є розбіжність результатів у випадку нестійкого імпульсного орграфу. Якщо всі ненульові власні значення зваженого орграфу, якому відповідає матриця суміжності W , різні і за абсолютною величиною не перевищують одиницю, то орграф – імпульсно-стійкий для всіх простих імпульсних процесів. Інакше, орграф – імпульсно-нестійкий для деякого простого імпульсного процесу [4]. Тобто знайдеться така вершина, якій передається початковий імпульс, що в деякій (можливо, іншій) вершині імпульс стане нескінченно великим. Це означає, що в імпульсному методі значення $v_i(t)$ при $t \rightarrow \infty$ визначити буде неможливо. Тому існують методи стабілізації нестійких орграфів [6].

Також у роботі [7] проведений критичний аналіз основних методів дослідження когнітивних карт і наведено ряд недоліків та протиріч, які виникають при застосуванні імпульсного методу:

- 1) розбіжність $v_i(t)$ при $t \rightarrow \infty$, якщо ряд в (1) розбіжний;
- 2) результат розрахунку – $v_i(t)$ залежить, відповідно до (1), від початкових значень $p_j(0)$;
- 3) початкове значення $v_i(0)$ не впливає на залежність від t (входить у вираз для $v_i(t)$ як доданок);
- 4) порушення масштабної інваріантності при

збільшення елементів матриці W в η разів. В деяких випадках призводить до розбіжності ряду в (1).

МЕТОД НАКОПИЧУВАЛЬНОГО ВПЛИВУ

В даній роботі запропоновано новий метод дослідження когнітивних карт – метод накопичувального впливу. Ідея цього методу полягає у тому, що розглядаються попарно всі вершини зваженого орграфу і визначається значення z_{ij} впливу вершини u_i на u_j (де $i, j = 1, 2, \dots, n$). В результаті, буде отримана матриця впливу – Z , що скрадатиметься з елементів z_{ij} .

Для того, щоб визначити z_{ij} – загальний вплив вершини u_i на u_j , здійснюється наступне:

1) будуються всі можливі прості шляхи з вершини u_i в u_j .

2) на кожному шляху розраховується вплив u_i на u_j , враховуючи знаки вагових значень, що приписані ребрам: вершині u_i надається одиничний імпульс, який розповсюджується по ланцюгу від u_i до u_j відповідно до правил а) – д):

$$\text{а) } u_i \xrightarrow{+} u_k \xrightarrow{-} u_j$$

Якщо вершина u_i впливає позитивно на вершину u_k , а u_k впливає на u_j негативно, то вершина u_i підсилює негативний вплив вершини u_k на u_j . Отже, в результаті, вершина u_i негативно впливає на u_j .

$$\text{б) } u_i \xrightarrow{-} u_k \xrightarrow{-} u_j$$

Якщо вершина u_i послаблює негативний вплив вершини u_k на u_j , то в даному випадку вершина u_i позитивно впливає на u_j .

$$\text{в) } u_i \xrightarrow{+} u_k \xrightarrow{+} u_j$$

Тут вершина u_i позитивно впливає на u_j , підсилюючи позитивний вплив вершини u_k на u_j .

$$\text{г) } u_i \xrightarrow{-} u_k \xrightarrow{+} u_j$$

В даному випадку відбувається послаблення позитивного впливу вершини u_k на u_j за рахунок негативного впливу u_i на u_k . Як наслідок, вершина u_i здійснює негативний вплив на u_j .

Щоб визначити частковий вплив на кінцеву вершину u_j який накопичується від початкової вершини u_i на k -му простому шляху, необхідно розрахувати загальний вплив z_{ij}^k на вершину u_j , накопичений від всіх вершин q_t^k , що входять у k -й шлях (враховуючи правила а)–д)); потім – відняти від z_{ij}^k вплив на вершину u_j , який накопичується від всіх вершин q_t^k на цьому ж шляху без урахування початкової вершини $q_0 = u_i$, тобто – \tilde{z}_{ij}^k .

z_{ij}^k та \tilde{z}_{ij}^k розраховуються ітеративно відповідно до формул:

$$z_{ij}^k(t+1) = \left(1 + \text{sign}(z_{ij}^k(t)) * \alpha \left(\frac{z_{ij}^k(t)}{\mu} \right) \right) * w(q_t^k, q_{t+1}^k) \quad (2)$$

$$\tilde{z}_{ij}^k(r+1) = \left(1 + \text{sign}(\tilde{z}_{ij}^k(r)) * \alpha \left(\frac{\tilde{z}_{ij}^k(r)}{\mu} \right) \right) * w(q_r^k, q_{r+1}^k) \quad (3)$$

де q_t^k – послідовність вершин у k -му шляху ($q_0 = u_i, q_{m-1} = u_j$);

$t = 0, 1, \dots, m-2$, а $r = 1, \dots, m-2$ (m – кількість вершин, що входять до k -го шляху).

Необхідні початкові умови: $z_{ij}^k(0) = 0$, $\tilde{z}_{ij}^k(1) = 0$.

$$\mu = \left| \max |w_{ij}| \right|,$$

де $i = 0, 1, \dots, n$, $j = 0, 1, \dots, n$ (n – розмірність когнітивної карти).

Загальний вплив z_{ij} на вершину u_j , який накопичується від вершини u_i , – це сума по всіх простих шляхах (що сполучають u_i та u_j) всіх часткових впливів, розрахованих як різниця між (2) та (3)

$$z_{ij} = \sum_{k=1}^s (z_{ij}^k - \tilde{z}_{ij}^k)$$

де s – кількість простих шляхів із вершини u_i в u_j .

Якщо u_j недосяжна із вершини u_i , то $z_{ij} = 0$.

Запропонований метод має експоненційну обчислювальну складність $O(e^{2n})$, де n – кількість вершин когнітивної карти.

Тож для того, щоб зменшити кількість ітераційних кроків (а отже, і зменшити основне навантаження на обчислювальну складність методу), пропонується зробити нульовий крок, ідея якого:

а) побудувати матрицю досяжності A для початкової матриці W ;

б) кожен елемент w_{ij} початкової матриці W домножити на відповідний елемент a_{ij} матриці A .

ПЕРЕВАГИ ТА ПРИКЛАДИ РОБОТИ МЕТОДУ

НАКОПИЧУВАЛЬНОГО ВПЛИВУ

Однією із переваг запропонованого методу, на відміну від імпульсного, є те, що для будь-якої скінченної кількості вершин n та при будь-яких значеннях w_{ij} зваженого орграфу, метод накопичувального впливу має обмежений за числовим значенням результат розрахунку – z_{ij} : $-2 * \mu * s < z_{ij} < 2 * \mu * s$ для $\forall s > 0$ (де s – кількість простих шляхів із вершини u_i в u_j).

Наприклад, у роботі [8] розглядається когнітивна карта взаємовпливу моделі санітарного стану (рис. 1).

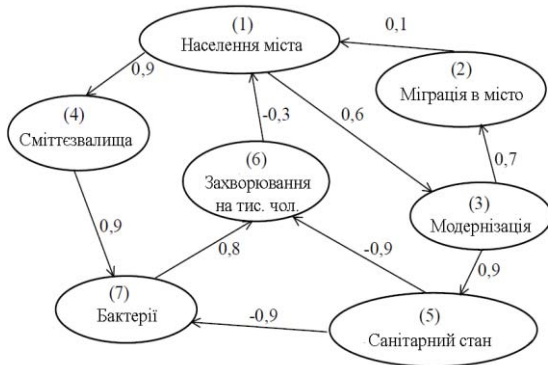


Рис. 1 Когнітивна карта взаємовпливу моделі санітарного

Для знакового ографу, представленого на рис. 1, матриця суміжності має вигляд

$$W = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0,6 & 0,9 & 0 & 0 & 0 \\ 0,1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0,7 & 0 & 0 & 0,9 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0,9 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -0,9 & -0,9 \\ -0,3 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0,8 & 0 \end{pmatrix} \quad (4)$$

Ограф, що відповідає (4) – імпульсно-стійкий для всіх простих імпульсних процесів. Його ненульові власні значення за абсолютною величиною рівні: 0,686; 0,686; 0,634; 0,625; 0,625; 9,22e-17.

Сумарний абсолютний вплив кожної із вершин та їх ранжування для матриці (4), відповідно до імпульсного методу та методу накопичувального впливу, представлений у табл. 1.

Таблиця 1

Вершина (№)	Імпульсний метод	Вершина (№)	Метод накопичувального впливу
5	5,44	3	3,816
3	4,06	5	3,599
1	3,38	1	3,371
4	2,21	4	1,683
7	1,79	7	1,65
6	1,27	6	1,598
2	0,4	2	0,493

Ранжування вершин (табл. 1), внаслідок застосування методу накопичувального впливу, близьке за змістом до ранжування, яке дає імпульсний метод. Невідповідність ранжування викликана специфікою нового запропонованого методу.

Внаслідок збільшення кожного елемента матриці суміжності W у η разів, ограф, що відповідає новій W_η стане імпульсно-нестійким для деякого простого імпульсного процесу. Тому застосування імпульсного методу є неможливим. Відповідно до методу накопичувального впливу зберігається не лише масштабна інваріантність, а й пропорційне збільшення загального впливу для кожної із вершин в η разів

(табл. 2). А отже, зберігається і ранжування вершин, в порівнянні з ранжуванням для матриці W .

Таблиця 2

Вершина (№)	Загальний вплив W	Загальний вплив для W_2
5	3,816	7,632
3	3,599	7,198
1	3,371	6,742
4	1,683	3,336
7	1,65	3,299
6	1,598	3,197
2	0,493	0,986

ВИСНОВКИ

Отже, запропонований в цій роботі метод накопичувального впливу дозволяє подолати недоліки та протиріччя імпульсного методу. Наприклад, на відміну від імпульсного методу, для будь-якої скінченної кількості вершин та при будь-яких значеннях зваженого ографу, результат z_{ij} внаслідок застосування методу накопичувального впливу, існує й обмежений за числовим значенням. Початкові значення $z_{ij}^k(0)$ та $\tilde{z}_{ij}^k(0)$ у новому методі впливають на залежність $z_{ij}^k(t)$ та $\tilde{z}_{ij}^k(t)$ від t (тому вважається, що $z_{ij}^k(0) = 0$ та $\tilde{z}_{ij}^k(1) = 0$). $z_{ij}^k(t)$ та $\tilde{z}_{ij}^k(t)$ не залежить, відповідно до (2) та (3), від початкових значень імпульсу. Також, внаслідок збільшення елементів матриці W в η разів, не змінюється ранжування вершин за ступенем їх впливу, а загальна величина впливу кожної із вершин збільшується пропорційно в η разів.

Запропонований метод має і свій недолік, пов'язаний з необхідністю пошуку всіх можливих простих шляхів між кожною парою точок когнітивної карти. Алгоритм пошуку має експоненційну алгоритмічну складність – $O(e^{2n})$. Проте використання розріджених матриць дає змогу застосовувати метод накопичувального впливу для аналізу когнітивних карт великого розміру.

ЛІТЕРАТУРА

1. Axelrod R. The Structure of Decision: Cognitive Maps of Political Elites / Axelrod. – Princeton: Princeton University Press, 1976. – 404 p.
2. Kosko B. Fuzzy Cognitive Maps / Kosko. // International Journal of Man-Machine Studies. – 1986. – №24. – P. 65–75.
3. Carlsson C. Fuzzy reasoning in decision making and optimization / C. Carlsson, R. Fuller. – Physica, 2012.
4. Roberts F S. Discrete Mathematical Models with Applications to Social, Biological, and Environmental Problems / Fred Roberts. – New Jersey: Rutgers University, Prentice-Hall Inc., 1976.
5. Згуровский М. З. Принципы и методы управления импульсными процессами в когнитивных картах сложных систем. Часть 1 / М. З. Згуровский, В. Д. Романенко, Ю. Л. Милявский. // Проблемы управления и информатики. – 2016. – №2. – С. 21–29.
6. Zgurovsky M. Z. Advances in Dynamical Systems and Control. Springer International Publishing / M. Z.

Zgurovsky, V. D. Romanenko, Y. L. Milyavsky. // Springer International Publishing. – 2016. – P. 363–374.

7. Снарский А. А. Критический анализ основных методов анализа когнитивных карт / А. А. Снарский, Д. В. Ландэ. // Реєстрація, зберігання і обробка даних: зб. наукових праць за матеріалами щорічної підсумкової наукової кон-ференції 16-17 травня 2016

року Інституту проблем ре-єстрації інформації НАН України. – 2016. – С. 79–80.

8. Таран Т. А. Искусственный интеллект. Теория и приложения / Т. А. Таран, Д. А. Зубов. – Луганск: Восточноукраинский национальный ун-т им. Владимира Даля, 2006. – 242 с.

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ІНСТИТУТ МОДЕРНІЗАЦІЇ ЗМІСТУ ОСВІТИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ «КИЇВСЬКИЙ
ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ імені ІГОРЯ
СІКОРСЬКОГО»**

**WINTER INFOCOM
ADVANCED
SOLUTIONS 2017**

МАТЕРІАЛИ

**V МІЖНАРОДНОЇ НАУКОВО-ПРАКТИЧНОЇ
КОНФЕРЕНЦІЇ**

CONFERENCE PROCEEDINGS

5th SCIENTIFIC AND PRACTICAL CONFERENCE

КИЇВ, УКРАЇНА

1-2 ГРУДНЯ 2017 РОКУ

УДК 004

Редакційна колегія:

Бідюк П.І., д.т.н., проф., ІПСА, КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна, Київ

Павлов О.А., д.т.н., проф., КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна, Київ

Теленик С.Ф., д.т.н., проф., КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна, Київ

Грішин І.Ю., д.т.н., проф., Кубанський державний технологічний університет, Російська Федерація

Головний редактор:

Писаренко А.В., к.т.н., доц., КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна, Київ

Winter InfoCom 2017: Матеріали V Міжнародної науково-практичної конференції з інформаційних систем та технологій, м. Київ, 1-2 грудня 2017 р. – К.: Вид-во ТОВ "Інжиніринг", 2017. – 76 с. – Мови укр., рос., англ.

Конференція входить до Переліку міжнародних та всеукраїнських науково-практичних конференцій здобувачів вищої освіти та молодих учених у 2017 році (додаток до листа Міністерства освіти і науки України № 1/9-24 від 23 січня 2017 року).

Проведення конференції регламентоване наказом ректора КПІ ім. Ігоря Сікорського № 3-469 від 06 листопада 2017 р.

Усі права застережено. Передруки та переклади дозволяються лише за згодою автора та редакції. За достовірність фактів, цитат, назв та іншої інформації несуть відповідальність автори.

Редакційна колегія дотримується прийнятих міжнародною спільнотою принципів публікаційної етики, відображених, зокрема, в рекомендаціях Комітету з етики наукових публікацій (Committee on Publication Ethics, COPE), а також враховує досвід авторитетних міжнародних видавництв. Щоб уникнути недобросовісної практики в публікаційній діяльності (плагіат, виклад недостовірних відомостей та ін.), з метою забезпечення високої якості наукових публікацій, визнання громадськістю отриманих автором наукових результатів, кожен член редакційної колегії, автор, рецензент, видавець, а також установи, які беруть участь в видавничому процесі, зобов'язані дотримуватися етичних стандартів, норм і правил та вживати всіх можливих заходів для запобігання їх порушень. Дотримання правил етики наукових публікацій усіма учасниками цього процесу сприяє забезпеченню прав авторів на інтелектуальну власність, підвищенню якості видання і виключення можливості неправомірного використання авторських матеріалів в інтересах окремих осіб.

ISBN 978-966-2344-58-5

ЗМІСТ/CONTENTS

<i>Інформаційні системи та технології/Information Systems and Technologies.....</i>	9
Карымсакова И.Б., Денисова Н.Ф., Крак Ю.В.	
Разработка роботизированной системы для плазменного напыления имплантов.....	11
Дорошенко А.Ю., Туманов В.В.	
Модуль калібрування та позиціонування системи комп'ютерного зору для цифрової нарізки матеріалів.....	14
Коноваленко А.	
Система для організації інтерактивних квест-ігор побудована на Bluetooth-маячках.....	17
Сергієнко А.М., Орлова М.М., Молчанов О.А.	
Мікроконтролер для керування послідовними портами вводу-виводу.....	19
Рижко Б.В., Смолинець О.Т.	
Розробка архітектури системи автоматизованого збору, обробки та аналізу даних на основі технології Big Data.....	21
Стенин А.А., Пасько В.П., Шитикова И.Г.	
Анализ и оптимизация автономных систем теплоснабжения.....	24
Пирожков О.Ю., Савчук О.В.	
Безпека даних в хмарних середовищах.....	28
<i>Системи керування/Control Systems.....</i>	31
Лапханов Э.А.	
Оценка возможности создания дополнительной тяги для управления космическими аппаратами на основе использования постоянных магнитов.....	33
Юрчук А.Ю., Бублінський С.М.	
Проектування відеокадрів людино-машинного інтерфейсу АСУ ТП...	35
<i>Технології програмування/Programming technologies.....</i>	39
Ашур И.З., Дорошенко А.Ю.	
Высокопроизводительное производство матриц посредством Android NDK и JNI.....	41
<i>Оброблення інформації у складних системах/Information processing in complex systems.....</i>	45
Дмитренко О.О., Ланде Д.В.	
Метод накопичувального впливу для аналізу когнітивних карт.....	47