

# ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА КОМП'ЮТЕРНА ТЕХНІКА

УДК 519.876.2

С. В. Юхимчук, д. т. н., проф.;

І. О. Качківський, студ.

## МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ ГРАФІЧНОГО ВІДОБРАЖЕННЯ СТРУКТУРНИХ СХЕМ АВТОМАТИЧНИХ СИСТЕМ

*Запропоновано формалізований опис типових операцій перетворення структурних схем автоматичних систем, необхідний для створення графічного інтерфейсу інформаційних технологій моделювання відповідного класу систем. Такий опис базується на графових моделях, які описують структурну схему автоматичних систем.*

### Вступ

При створенні сучасних інформаційних технологій моделювання автоматичних систем однією з важливих задач, що потребує розв'язання, є створення зручного графічного інтерфейсу [1].

В зв'язку, з цим актуальною є задача побудови ефективних графічних відображень структур автоматичних систем. Такі задачі можна розв'язувати, використовуючи методи укладання графічних схем, для яких існує відповідний опис графовою моделлю. При цьому оптимальність укладання графічної схеми визначається певною групою критеріїв, а порядок — методом укладання графової моделі [2, 3, 4].

В роботі наведено опис алгоритмічних операцій, які необхідні для реалізації методу укладання графової моделі, що описує структурну схему автоматичної системи і наведений в роботі [2].

### Аналіз досліджень та публікацій

Існують алгоритми для опису графовою моделлю структурної схеми автоматичної системи та для побудови графічного зображення структури системи за відповідним описом графовою моделлю [2]. Це дає можливість застосувати методи укладання графової моделі для побудови ефективних графічних відображень структурних схем.

Укладання графа реалізується шляхом визначених за певним евристичним алгоритмом груп операцій над графовою моделлю, що описує структурну схему автоматичної системи. А саме, розроблено евристичні алгоритми [5, 6], серед яких найбільш поширеними є такі, які належать до групи аналітичних алгоритмів [7] та дозволяють відносно швидко отримувати найбільш якісні результати, а найбільш ефективний серед них — алгоритм Giotto [7, 8, 9].

Аналіз евристичних алгоритмів дозволив виділити набір критеріїв та послідовність фаз для укладання графової моделі, що описує структурну схему автоматичної системи [2, 3, 7, 9]. До таких фаз відносять:

- планаризація — побудова топології зображення;
- ортогоналізація — побудова ортогонального зображення;
- стиснення — побудова компактного зображення.

Укладанням графа  $G = (V; E)$  (де  $V$  — множина вершин,  $E$  — множина ребер), в декартовій системі координат  $(X; Y)$  називають множини  $L = (G; F_V; F_E)$ , де  $F_V$  — функція, що здійснює перетворення множини вершин, у множину параметрів, які необхідні для представлення вершини у вибраній системі координат (в даному випадку  $F_V : V \rightarrow X \times Y \times R$ ), а  $F_E$  — функція, що здійснює перетворення множини ребер у множину параметрів, які необхідні для представлення ребра у вибраній

системі координат (в даному випадку  $F_E : E \rightarrow X_{E_i} \times Y_{E_i} \times R; i = \overline{0, n}; n \in \{0, 1, 2, \dots\}$ , де  $X_{E_i}, Y_{E_i}$  — координати  $i$ -го злomu ребра,  $n$  — кількість зломів, що визначено для кожного ребра множини  $E$ ) [3].

При виконанні укладання графа слід враховувати обмеження, які пов'язані з представленням відповідних елементів графа в структурній схемі автоматичної системи.

Опис вимог до представлення елементів графу називають угодою про зображення [10]. Для відображення структурних схем автоматичних систем найчастіше використовують ортогональну та сітчасту угоди про зображення [2].

Укладання графа є ортогональною сітчастою, якщо до графа застосовуються правила побудови ортогонального і сітчастого зображення.

Для проектування програмного забезпечення, що розв'язує задачі, пов'язані з укладкою структурних схем автоматичних систем, необхідно розробити формалізований опис послідовності перетворень графової моделі, що описує представлення відповідної структурної схеми. Для реалізації алгоритмів укладання структурних схем на площині в системі координат, можна виділити такі типові операції з графовою моделлю, елементи якої займають положення в ортогональній системі координат:

- переміщення вершини;
- переміщення ребра;
- поворот ребра.

Окремо можна виділити операції, які змінюють структуру графа, а саме, створюють нові, або об'єднують наявні елементи (вершини, ребра) графової моделі, але не змінюють структуру автоматичної системи. Створені елементи не мають відповідного еквівалента у графічному представленні.

Наведені вище операції, об'єднані в групу, реалізують певну процедуру. Порядок виклику таких процедур визначається алгоритмом. Кожна фаза укладання графової моделі складається з групи відповідних алгоритмів.

Автоматизація реалізації вищезазначених операцій дозволить здійснювати формальні перетворення в автоматичному режимі, що, зрозуміло, приведе до зменшення суб'єктивних похибок, які можуть вноситися операторами, які здійснюють комп'ютерну побудову відповідної структури в будь-якому сучасному пакеті програм.

Інший підхід до реалізації фаз ортогоналізації та стиснення алгоритму Giotto [9] описано в роботі [11], його переваги над іншими існуючими реалізаціями цього алгоритму наведено в [12—15]. Він полягає у використанні об'єктно-орієнтованого підходу та шаблонів проектування. Така реалізація має переваги за критеріями модульності, розширюваності та ефективності використання визначених графових структур [11].

Таким чином, важливою науковою задачею є побудова якісних та ефективних графічних відображень структур автоматичних систем. Зрозуміло, що розв'язання такої задачі потребує створення нових підходів до автоматизації процесів побудови таких відображень, враховуючи критерії їх якості [2]. В роботі [2] здійснено обґрунтування ефективності застосування алгоритмів, які використовуються для реалізації вибраного підходу.

Запропоновані алгоритми укладання структурних схем відповідають таким критеріям: мінімізація кількості перетинів, мінімізація площі, мінімізація кількості зламів ребер, уніфікація довжин ребер. Але, реалізація таких алгоритмів неможлива без формалізованого опису перетворень структурних схем автоматичних систем.

### Постановка задачі

Для реалізації алгоритмів укладання структурних схем на площині в системі координат необхідно розробити формалізований опис операцій з графовою моделлю структурних схем.

*Метою роботи* є розробка математичних моделей, що дає можливість автоматизувати процес відображення структурних схем та забезпечити їх відповідність таким критеріям: мінімізація кількості перетинів, мінімізація площі, мінімізація кількості зламів ребер, уніфікація довжин ребер.

## Розв'язання поставленої задачі

Для реалізації методів укладання графічних зображень структурних схем автоматичних систем необхідно розробити правила або алгоритми еквівалентних перетворень графічного представлення та математичної моделі, що його описує. В таблиці наведено елементи графової моделі, що описують базові елементи представлення структурної схеми.

Базові елементи структурної схеми та їх математичний опис

Назва	Базові елементи структурної схеми	Базова графова модель
Ланка з одним входом і одним виходом		
Ланка з двома входами і одним виходом		
Вузол (розгалуження)		
Суматор двох сигналів		
Елемент різниці (для від'ємних зворотних зв'язків)		

Для розв'язання поставленої задачі, використовуються вищезазначені типові алгоритмічні операції з графовою моделлю.

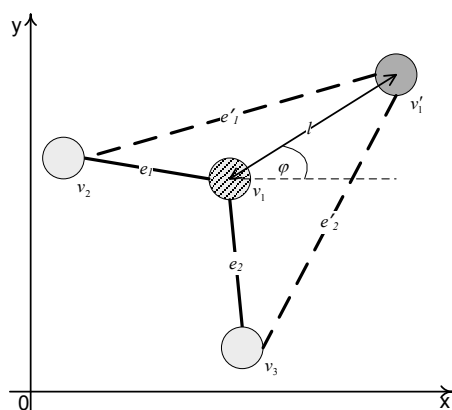


Рис. 1. Переміщення вершини

На рисунку 1 ілюструється виконання операції переміщення вершини  $v_1(x_1; y_1)$  на відстань  $l$  та під кутом  $\phi$  до осі  $Ox$  в нове положення  $v'_1(x'_1; y'_1)$ , при цьому

$$x'_1 = x_1 + l \cos \phi; \quad y'_1 = y_1 + l \sin \phi.$$

Довжина ребер  $l(e_i)$ , які інцидентні вершині  $v_1$ , визначається таким чином:

$$l(e'_1) = \sqrt{(x'_1 - x_2)^2 + (y'_1 - y_2)^2}; \quad l(e'_2) = \sqrt{(x'_1 - x_3)^2 + (y'_1 - y_3)^2}.$$

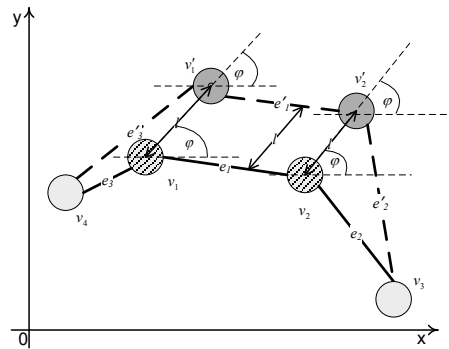


Рис. 2. Переміщення ребра

На рисунку 2 ілюструється виконання операції переміщення ребра  $e_1$  між вершинами  $v_1(x_1; y_1)$  та  $v_2(x_2; y_2)$  на відстань  $l$  та під кутом  $\phi$  до осі  $Ox$  в нове положення  $e'_1$  між вершинами  $v'_1(x'_1; y'_1)$  та  $v'_2(x'_2; y'_2)$ , при цьому:

$$x'_1 = x_1 + l \cos \phi; \quad y'_1 = y_1 + l \sin \phi; \quad x'_2 = x_2 + l \cos \phi; \quad y'_2 = y_2 + l \sin \phi.$$

А також:  $l(e'_1) = l(e_1)$ .

Довжина ребер  $l(e_i)$ , які інцидентні вершинам  $v_1, v_2$ , визначається:

$$l(e'_1) = l(e_1), \quad l(e'_2) = \sqrt{(x'_2 - x_3)^2 + (y'_2 - y_3)^2};$$

$$l(e'_3) = \sqrt{(x'_1 - x_4)^2 + (y'_1 - y_4)^2}.$$

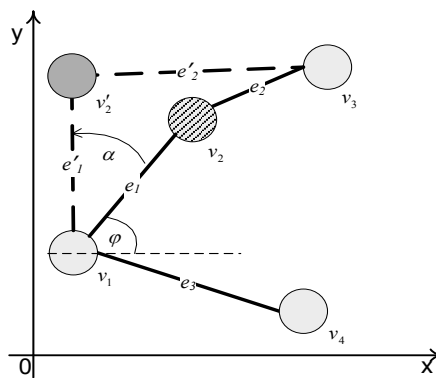


Рис. 3. Поворот ребра

На рисунку 3 ілюструється виконання операції повороту ребра  $e_1$  та вершини  $v_2(x_2; y_2)$  на кут  $\alpha$  навколо вершини  $v_1(x_1; y_1)$  в нове положення  $v'_2(x'_2; y'_2)$ :

— якщо поворот виконується за годинниковою стрілкою

$$x'_2 = x_2 + l \cos(\phi - \alpha); \quad y'_2 = y_2 + l \sin(\phi - \alpha),$$

де  $\phi$  — кут, що утворює ребро  $e_1$  з віссю  $Ox$ ;

— якщо поворот виконується проти годинникової стрілки

$$x'_2 = x_2 + l \cos(\phi + \alpha); \quad y'_2 = y_2 + l \sin(\phi + \alpha),$$

де  $\phi$  — кут, що утворює ребро  $e_1$  з віссю  $Ox$ ;

Довжина ребер  $l(e_i)$ , які інцидентні вершині  $v_2$  визначається так:

$$l(e'_1) = l(e_1), \quad l(e'_2) = \sqrt{(x'_2 - x_3)^2 + (y'_2 - y_3)^2}.$$

## Висновки

Наведено формалізований опис типових алгоритмічних операцій з графовою моделлю, що описує структурну схему автоматичної системи. Послідовність виконання таких операцій визначається алгоритмом укладання графової моделі та визначається на кожній фазі перетворень. Зі створеної таким чином графової моделі, шляхом еквівалентних перетворень, формується графічне зображення структури автоматичної системи, яке відповідає вимогам угоди про зображення структурних схем.

В подальшому планується програмно реалізувати алгоритми укладання структурних схем на площині в системі координат, які використовують операції, формалізований опис яких наведено в даній роботі.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Юхимчук С. В. Структура пакету програм для моделювання систем контролю та управління нелінійними нестационарними об'єктами / С. В. Юхимчук, Ю. В. Поремський // Вестник Херсонского национального технического университета. — 2005. — № 2 (22). — С. 364—367.
2. Юхимчук С. В. Створення ефективних графічних зображень структурних схем автоматичних систем при моделюванні їх поведінки / С. В. Юхимчук, І. О. Качківський // Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія. — 2007. — № 3(10). — С. 44—50.
3. Коротков М. А. Разработка алгоритма укладання диаграмм состояний / М. А. Коротков // Труды XII Всероссийской научно-методической конференции «Телематика-2005». — СПб.: СПбГУ ИТМО. — Т. 1, С. 89—92.
4. Michael Kaufmann. Drawing graphs / Michael Kaufmann, Dorothea Wagner. — LNCS 2025, Springer-Verlag, 2001. — P 121—171.
5. Sugiyama K. Graph Drawing and Applications for Software and Knowledge Engineers / Sugiyama K. — Singapore: Mainland Press, 2002. — 200 p.
6. Makinen E. Genetic algorithms for drawing bipartite graphs / Makinen E., Seiranta M. // International Journal of Computer Mathematics, 1994. — Vol. 53, No 3. — P. 157—166.
7. Battista G. Graph Drawing. Algorithms for the Visualization of Graphs / Battista G., Eades P., Tamassia R., Tollis I. — New Jersey : Prentice Hall, 1999. — 397 p.
8. Battista G. An experimental comparison of four graph drawing algorithms / Battista G., Garg A., Liotta G., Tamassia R., Tassinari E., Vargiu F. // Computational Geometry, 1997. — 7(5—6), P. 303 — 325.
9. Tamassia R. Automatic graph drawing and readability of diagrams / Tamassia R., Battista G., Batini C. // IEEE Transactions on Systems Man Cybernetics, 1988. — 18(1). — P. 61—79.
10. Касьянов В. Н. Графы в программировании: обработка, визуализация, применение / В. Н. Касьянов, В. А. Евстигнеев. — СПб.: БХВ-Петербург, 2003. — 1104 с.
11. Gelfand N. Algorithmic patterns for orthogonal graph drawing / N. Gelfand, R. Tamassia. In S. H. Whitesides, editor, Graph Drawing (Proc. GD '98), volume 1547 of Lecture Notes Comput. Sci. Springer-Verlag, 1998. — P. 138—152.
12. P. Bertolazzi, G. Di Battista, and G. Liotta. Parametric graph drawing. IEEE Trans. Softw. Eng., 21(8):662—673 (1995).
13. S. Bridgeman. A Graph Drawing and Translation Service on the World Wide Web / S. Bridgeman, A. Garg, and R. Tamassia // J. Computational Geometry & Applications. — Vol. 9, No. 4—5. — P. 419—446 (1999).
14. Himsolt M. The Graphlet system / M. Himsolt. Lecture Notes in Computer Science, 1997. — 1190 p.
15. Lauer H. GraVis — System demonstration / H. Lauer, M. Ettrich, and K. Soukup. Lecture Notes in Computer Science, 1353, 1997, P. 344—349.

Рекомендована кафедрою інтелектуальних систем

Надійшла до редакції 25.12.08  
Рекомендована до друку 11.02.09

**Юхимчук Сергій Васильович** — завідувач кафедри інтелектуальних систем, **Качківський Іван Олександрович** — студент Інституту інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії.

Вінницький національний технічний університет