

УДК 004.02

магістрант Ларіонов М.О., к.т.н., ст. викладач Заболотня Т.М.

**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут»**

**УЗАГАЛЬНЕНИЙ АЛГОРИТМ РЕАЛІЗАЦІЇ
МОДИФІКОВАНОГО ПРУЖИННОГО МЕТОДУ
ВІЗУАЛІЗАЦІЇ ГРАФІВ**

Abstract

*Tetiana Zabolotnia, assoc. prof., PhD; Nikita Larionov, student
The generalized algorithm of the modified spring-embedder graph layout method
implementation*

The given work is devoted to the generalized algorithm of the modified spring-embedder method for graph layout. The main problem of the force-directed methods is inability to avoid local energy minima and it can be solved using proposed heuristic modification of these methods. Proposed modification implies defining criteria for finding vertex in local minimum, method of pulling of vertex from graph and algorithm stop criteria.

Вступ

Задача візуалізації графів належить до суміжної області математики та комп'ютерних наук, що поєднує методи теорії графів та візуалізації інформації для отримання двовимірного подання графу. Її метою є отримання графічного подання укладання графа на площину, спрямоване на адекватне відображення властивостей графа або модельованого об'єкта, поданого у вигляді графу.

Візуалізація графів широко застосовується ключовими компонентами допоміжних інструментів в науці і інженерії. Граф в такому випадку – абстрактна структура, що використовується для моделювання інформаційних сутностей та зв'язків між ними. Велика кількість засобів візуалізації інформації, поданої, зокрема, онтологіями, потребує вхідні дані у вигляді графу[1].

Одним з рішень задачі візуалізації графів є застосування пружинного методу, що належить до силоорієнтованих методів візуалізації графів. Значним недоліком цих методів є проблема локальних мінімумів енергії. В даній статті пропонується узагальнений алгоритм реалізації модифікованого пружинного методу візуалізації графів, що дозволяє

отримати подання графу з меншою кількістю перетинів ребер, порівняно з оригінальним методом, за рахунок уникнення локальних мінімумів енергії.

Постановка задачі

Задачею дослідження є уникнення локальних мінімумів енергії в пружинному методі з метою мінімізації кількості перетинів ребер в поданні графа. Додатковою умовою є максимізація швидкодії додаткових кроків алгоритму реалізації модифікації пружинного методу.

Термінологія

Планарний граф — граф, який може бути зображений на площині без перетину ребер [2].

Силоорієнтовані методи візуалізації графів – методи, в яких граф подається у вигляді фізичної моделі, енергію якої потрібно оптимізувати [1].

Оптимізація енергії моделі - процес зміни взаємного розташування вершин фізичної моделі графу таким чином, щоб сумарне значення потенціальної енергії вершин даної моделі досягало мінімуму або максимуму (залежно від цільової функції).

Пружинний метод візуалізації графів – метод, який передбачає подання вершин як позитивно заряджених частинок, а ребер – у вигляді пружин [1].

Узагальнений алгоритм реалізації модифікованого пружинного методу

Очевидним недоліком пружинного методу візуалізації графів є можливість виникнення таких варіантів розташування вершин, при яких сили врівноважуються, але сумарна енергія системи не є мінімальною, тобто система потрапляє в локальний мінімум сумарної енергії:

$$\begin{cases} F(v) = 0 \\ \sum_{(u,v) \in E} \frac{k_s x^2}{2} + \sum_{(u,v) \in V \times V} \frac{k_r}{d} \neq \min \end{cases}$$

де k_s – коефіцієнт пружності, x – відхилення пружини від положення рівноваги, k_r - коефіцієнт відштовхування між двома вершинами. Візуальним відображенням даної ситуації може бути планарний граф, поданий з перетинами ребер.

Вирішенням даної проблеми є розроблена авторами модифікація пружинного методу, яка сприяє уникненню локальних мінімумів енергії шляхом пошуку вершини, що знаходиться в локальному мінімумі енергії, і виведення її за межі графу, що дає можливість фізичній системі продовжити процес мінімізації енергії. Пошук і винесення вершини за межі графу може виконуватись ітеративно, поки не буде досягнуто деякого критерію зупинки. Прикладами таких критеріїв може бути таймаут, кількість ітерацій, відсутність або досягнення деякого мінімального проценту перетинів ребер тощо.

На відміну від оригінального пружинного методу, основними етапами якого є випадкове розміщення вершин в доступному просторі і поступове зміщення вершин у бік результуючої сили, що діє на кожну вершину, до досягнення стану рівноваги всіх сил в системі, запропонований узагальнений алгоритм реалізації модифікованого пружинного методу передбачає такі кроки:

1. **Випадкове розміщення вершин.**
2. **Часткова оптимізація енергії.** Повне врівноваження сил в системі потребує багато процесорного часу, тому для прискорення роботи алгоритму можна виконувати процес врівноваження сил до моменту, коли максимальне зміщення вершини на поточній ітерації буде менше деякого значення ε , яке підбирається експериментально в залежності від поставленої задачі (обмеження за часу або вимоги щодо якості візуалізації).
3. **Перевірка ступеня оптимальності поточного розміщення вершин.** На даному кроці визначається кількість перетинів ребер. Якщо вона не дорівнює нулю, перевіряються інші критерії закінчення виконання алгоритму такі як:
 - а) таймаут;
 - б) кількість ітерації;
 - в) відсоток ребер, що мають перетини з іншими.

Якщо хоча б один з критеріїв виконується, то переходимо до кроку (6).

4. **Вибір вершини для винесення за межі графу.** Для цього можуть використовуватись різні критерії: випадково обрана вершина; вершина з максимальною енергією заряду; вершина з найбільшою кількістю перетинів суміжних ребер; вершина, до якої під'єднано лише одне ребро тощо. Вибір вершини за будь-яким жорстким критерієм (наприклад, елемент з максимальною електричною енергією) може призводити до вибору однієї і тієї самої «невигідної» вершини (тобто до зациклювання), що не дозволяє досягти оптимізації енергії. Тому доцільним є вибір певної кількості

(визначається емпірично) найбільш відповідних заданому критерію вершин і обрання однієї з них випадковим чином.

5. **Виведення системи зі стану локального мінімуму.** Даний крок виконується для того, щоб дати можливість графу, як фізичній системі, продовжувати оптимізацію. Найбільш доцільними є 2 способи ініціалізації перебудови графу: штучне виштовхування вершини за межі графу або збільшення заряду вершини для самостійного виходу з положення локального мінімуму енергії. При штучному винесенні вершини за межі графу система може повернутися в свій попередній стан у випадку, коли винесена вершина зв'язана з великою кількістю вершин в середині графу. Однак, якщо дана вершина є однією з вершин підграфу, який є компонентою зв'язності, з'єднаною «мостом» з іншою частиною графу, таке винесення вершини може призвести до повного винесення компоненти зв'язності за межі графу. Далі відбувається перехід до кроку (2) модифікованого методу для досягнення наступного локального мінімуму (який може також бути і глобальним, у випадку коли граф є планарним).
6. **Фіналізація розміщення.** Остаточне врівноваження сил в системі. Виконується для досягнення максимальної естетичності подання графу за рахунок прямування до симетричності.

Висновки

У статті запропоновано узагальнений алгоритм реалізації модифікованого пружинного методу, який, порівняно з оригінальним методом, дозволяє отримувати простіші для сприйняття подання графів за рахунок зменшення кількості перетинів ребер шляхом уникнення локальних мінімумів енергії фізичної системи.

Щодо ресурсоемності можна очікувати, що сумарний час виконання всіх ітерацій модифікованого методу суттєво не перевищуватиме час, потрібний системі на повну мінімізацію енергії класичним методом за ідеальних умов. Під ідеальними умовами для класичного методу розуміємо таку реорганізацію графа, за якої система жодного разу не потрапляє в проміжні локальні мінімуми енергії, а для модифікованого – коли на кожній наступній ітерації сумарне значення енергії зменшується порівняно зі значенням після попередньої ітерації.

Модифікований метод візуалізації графів та запропонований алгоритм його реалізації можуть використовуватись у задачах, для яких пріоритетом є якість відображення. При застосуванні методу для укладання графу у

тривимірному просторі найефективнішим критерієм вибору вершин для винесення за межі графу є критерій найбільшої електричної енергії.

В подальшому доцільним є аналіз ефективності конкретних реалізацій модифікованого методу для візуалізацій різних типів графів.

Література

1. *Battista G.* Graph Drawing, Algorithms for the Visualisation of Graphs [Text] / Giuseppe Di Battista, Peter Eades, Roberto Tamassia, Ioannis G. Tollis. — NewJersey : Prentice Hall, 1999. — ISBN 0-13-301615-3
2. Планарний граф [Електронний ресурс] / Вікіпедія. — 2011. — Режим доступу: http://uk.wikipedia.org/wiki/Планарний_граф