

УДК 514.18:004.925.8

Вірченко Г.І.

Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут"

ЗАСТОСУВАННЯ ГРАФІВ-ДЕРЕВ ДЛЯ ДИНАМІЧНОГО ВАРІАНТНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ГЕОМЕТРИЧНИХ ОБ'ЄКТІВ

Вірченко Г.І. Застосування графів-дерев для динамічного варіантного моделювання геометричних об'єктів. У даній статті розглядаються питання варіантного геометричного моделювання ліній, поверхонь і тіл. Для їх динамічного комп'ютерного формоутворення запропоновано спосіб, що базується на використанні бінарних, quadro- та окто- дерев.

Ключові слова: геометричний об'єкт, граф, динамічне варіантне формоутворення, комп'ютерне моделювання, структурно-параметрична геометрична модель.

Форм. 4. Рис. 1. Літ. 13.

Вірченко Г.И. Применение графов-деревьев для динамического вариантного моделирования геометрических объектов. В данной статье рассматриваются вопросы вариантного геометрического моделирования линий, поверхностей и тел. Для их динамического компьютерного формообразования предложен способ, основанный на использовании бинарных, quadro- и окто- деревьев.

Ключевые слова: геометрический объект, граф, динамическое вариантное формообразование, компьютерное моделирование, структурно-параметрическая геометрическая модель.

Форм. 4. Рис. 1. Лит. 13.

Virchenko G.I. The use of graph-trees for variant dynamic modeling of geometric objects. This article deals with the variant modeling of lines, surfaces and bodies. The method based on the use of binary, quad- and oct- trees is proposed for dynamic computer-aided forming of geometric objects.

Keywords: computer modeling, dynamic variant shaping, geometric object, graph, structural-parametric geometric model.

Form. 4. Fig. 1. Lit. 13.

Постановка проблеми. Нині для підвищення якості, зменшення витрат різноманітних ресурсів під час розробки, виготовлення та експлуатації технічних об'єктів широко застосовуються комп'ютерні інформаційні технології у вигляді систем автоматизованого проектування [8]. Базовим компонентом цих засобів є геометричне моделювання, що забезпечує не тільки зручну візуалізацію створюваної продукції, визначення її форми та розмірів, а й можливість комплексної оптимізації на протязі всього життєвого циклу [3]. Важливість та складність окреслених питань обумовлює науково-прикладну проблему подальшого удосконалення зазначеної методології.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Доцільність використання структурно-параметричних геометричних моделей (СПГМ) для опрацювання виробів машинобудування було обґрунтовано, наприклад, у працях [1, 5, 13], інших об'єктів – у публікаціях [7, 9]. При цьому показано ефективність даного підходу для успішного розв'язування інженерних задач варіантного формоутворення. Основні базові теоретичні положення зазначеної методології викладено у виданні [2]. Одним із напрямків її розвитку є комп'ютерне комбінаторно-варіаційне геометричне моделювання [4], яке спрямоване на підвищення продуктивності побудови та практичного застосування СПГМ шляхом створення належної системи взаємопов'язаних математичних і програмних модулів (універсальних та спеціальних). Останні орієнтовані на оптимальне вирішення завдань формування великого числа структурно-параметричних різновидів певних груп і класів опрацьовуваних геометричних об'єктів. Структурно-параметричне геометричне моделювання [2] гнучко поєднує поміж собою, зокрема, теорію кривих і поверхонь [12] із теорією графів [10], доповнюючи їх методами системного аналізу, автоматизованого проектування, оптимізації, комп'ютерної графіки і т. д.

Невирішені частини проблеми. Перспективним сучасним напрямком у галузі комп'ютерного моделювання технічних об'єктів є їх динамічне варіантне формоутворення. Даному питанню присвячена публікація [6], у якій викладено *метод поліпараметризації* та наведено його використання для побудови різноманітних ліній, поверхонь і тіл. При цьому докладно проаналізовано лише параметричні аспекти досліджуваної задачі без урахування можливих їх складних структурних взаємозв'язків.

Постановка завдання. Головна мета статті полягає в поданні запропонованого способу динамічного варіантного формоутворення ліній, поверхонь і тіл для комп'ютерного моделювання

технічних геометричних об'єктів шляхом застосування деревоподібних графів.

Основний матеріал дослідження. Лінії, поверхні та тіла у векторній параметричній формі визначаються відповідно як

$$\mathbf{r} = \mathbf{r}(u), \mathbf{r} = \mathbf{r}(u, v), \mathbf{r} = \mathbf{r}(u, v, w), \quad (1)$$

де \mathbf{r} – радіус-вектор у деякій системі координат (декартовій, циліндричній, сферичній тощо); $u \in [0, 1], v \in [0, 1], w \in [0, 1]$ – параметри та проміжки їх змінювання.

Примітка. Використання у формулі (1) одиничного відрізка для значень u, v, w не обмежує її загального характеру, оскільки, наприклад, залежність $\mathbf{r}(t)$, де параметр $t \in [t_{\min}, t_{\max}]$, визначається як $\mathbf{r}(t(u))$, де $u \in [0, 1]$, на підставі виразу $t(u) = (1-u)t_{\min} + ut_{\max}$.

У праці [6] для класифікації способів динамічного варіантного формоутворення обрано прийоми, що систематизовані згідно з коротцем його властивостей

$$B = (B_i)_1^3, \quad (2)$$

де B_1 =(неперервність), B_2 =(напряж), B_3 =(характер ділянок параметризації).

Для елементів множини (2) вигляду

$$B_1 = (B_{11}, B_{12}) = (\text{формоутворення неперервне, формоутворення дискретне}),$$

$$B_2 = (B_{21}, B_{22}) = (\text{однонаправлене, багатонаправлене}),$$

$$B_3 = (B_{31}, B_{32}) = (\text{сталі ділянки параметризації, змінні ділянки параметризації})$$

можливі досліджувані способи моделювання визначаються декартовим добутком

$$C = B_1 \times B_2 \times B_3 = (C_i)_1^8, \quad (3)$$

де C_1 =(формоутворення неперервне однонаправлене зі сталими ділянками параметризації),
 C_2 =(формоутворення неперервне однонаправлене зі змінними ділянками параметризації),
 C_3 =(формоутворення неперервне багатонаправлене зі сталими ділянками параметризації),
 C_4 =(формоутворення неперервне багатонаправлене зі змінними ділянками параметризації),
 C_5 =(формоутворення дискретне однонаправлене зі сталими ділянками параметризації),
 C_6 =(формоутворення дискретне однонаправлене зі змінними ділянками параметризації),
 C_7 =(формоутворення дискретне багатонаправлене зі сталими ділянками параметризації),
 C_8 =(формоутворення дискретне багатонаправлене зі змінними ділянками параметризації).

Відомо [10], що деревом називається зв'язний граф без циклів. Як правило, в ньому виділяють початкову вершину, тобто корінь. Зазвичай дерево зображують так, щоб воно збільшувалось від кореня в певному напрямку (вниз, вправо тощо). Рівнем вершини вважають довжину простого шляху, який з'єднує її з коренем, а листком дерева – вершину, яка не має нащадків. У залежності від кількості останніх для проміжних вершин розрізнятимемо бінарні, квадрато- та окто- дерева, що містять відповідно 2, 4 та 8 вихідних ребер (дуг).

Оскільки лінії, поверхні та тіла є одно-, дво- і тривимірними геометричними об'єктами, то для їх динамічного формоутворення можна застосовувати бінарні, квадрато- та окто- дерева. Це обумовлено поділом поточної ділянки параметричного визначення даних фігур на дві частини вздовж кожного виміру. Отже, кількість таких нових ділянок

$$n_d = 2^n, \quad (4)$$

де $n \in (1, 2, 3)$ – вимірність опрацьовуваного геометричного об'єкта.

Приклади ієрархічного поділу параметричних ділянок D у вигляді одиничного прямолінійного відрізка (рис. 1, а), плоского квадрата (рис. 1, б) та куба (рис. 1, в) для побудови в декартовій системі координат відповідно ліній, поверхонь і тіл, а також належні графові структури показано на рис. 1. При цьому використано метод дихотомії, однак можна застосовувати й інші, зокрема, «золотого перерізу» тощо. Наведені дерева вирівняні (їх листки розташовані на одному рівні). Проте дана властивість не обов'язкова. Так під час комп'ютерного моделювання складних ліній їх поділ досить часто пропорційний змінюванню кривини.

У графах, що розглядаються, використано певну ієрархічну систему індексації вершин, тобто отримуваних нових ділянок параметризації для опрацьовуваних геометричних об'єктів. Вона полягає в тому, що коренева вершина має «порожній» індекс. На кожному новому рівні

поділу додається один індекс. Таким чином, загальна кількість індексів поточної вершини дорівнює числу виконаних поділів початкової ділянки D змінювання параметрів. Як уже зазначалось, див. формулу (4), нові ділянки отримують поділом попередньої вздовж кожного виміру. Тому зростанню значення індексу (від 1 до 2 – для кривих, від 1 до 4 – для поверхонь, від 1 до 8 – для тіл) відповідає спочатку збільшення величини параметра u , потім – v , далі – w , див. рис. 1. Зауважимо, що на відміну, зокрема від [11], у даній роботі графи-дерева застосовуються для розподілу не простору геометричного об'єкта, а ділянки параметрів його визначення.

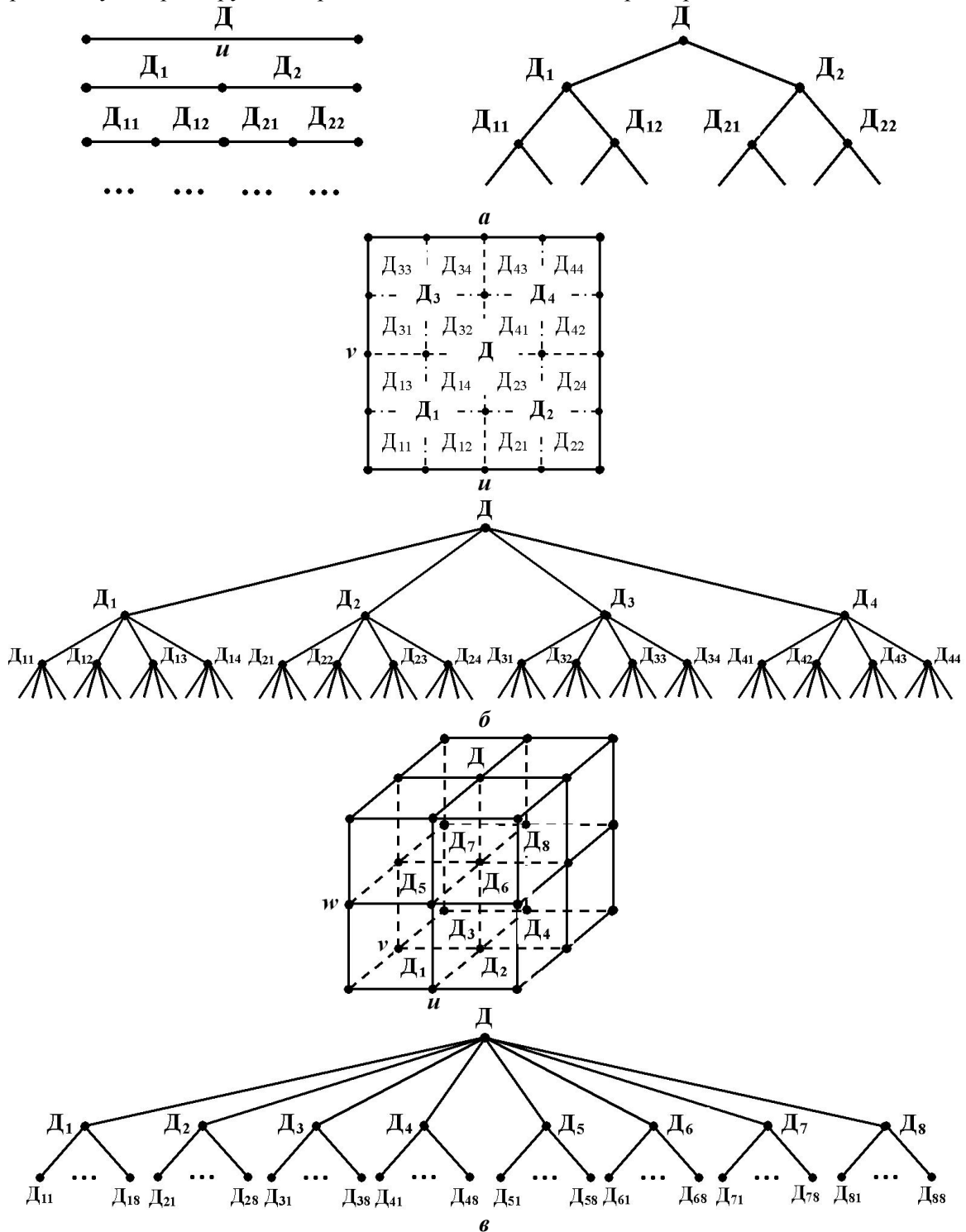


Рис. 1. Застосування графів-дерев для динамічного варіантного формоутворення геометричних об'єктів:
 a – ліній; b – поверхонь; v – тіл
 Авторська розробка

Проаналізовані вище графи, в поєднанні з аналітичними описами параметричних ділянок, викладеними в роботі [6], дозволяють гнучко реалізовувати, багатоманітними комбінаторними обходами листових вершин, різні варіанти динамічного формоутворення опрацьовуваних фігур. Це стосується забезпечення таких властивостей, див. кортежі (2) і (3), як неперервність, напрям, характер ділянок параметризації і т. д. Наприклад, за допомогою зростаючої послідовності вершин із непарними кінцевими індексами (рис. 1, а) створюється штрихова однонаправлена лінія, шляхом використання (рис. 1, б) ділянок із кінцевими індексами 1 та 4 будуються динамічні «шахові» діагоналі на певній параметричній поверхні тощо.

Висновки. У даному науковому дослідженні запропоновано спосіб варіантного динамічного формоутворення із застосуванням деревоподібних графів як складових СПГМ. Його перевагами є гнучкість, універсальний характер по відношенню до побудови ліній, поверхонь і тіл, а також простота комп'ютерної реалізації.

Перспективи подальших досліджень полягають у напрацюванні та аналізі тестових прикладів із розглянутої тематики, їх узагальненні, впровадженні отриманих результатів у практику.

1. Ванін В.В. Структурно-параметричні геометричні моделі як інваріантна складова комп'ютерних інформаційних технологій підтримки життєвого циклу виробів машинобудування / В.В. Ванін, Г.А. Вірченко, В.В. Ванін // Праці Тавр. держ. агротех. академії. – Вип. 4. Прикладна геометрія та інженерна графіка: зб. наук. праць. – Т. 36. – Мелітополь: ТДАТА, 2007. – С. 16-21.
2. Ванін В.В. Визначення та основні положення структурно-параметричного геометричного моделювання / В.В. Ванін, Г.А. Вірченко // Геометричне та комп'ютерне моделювання: зб. наук. праць. – Вип. 23. – Харків: ХДУХТ, 2009. – С. 42-48.
3. Ванін В.В. Комп'ютерне структурно-параметричне геометричне моделювання як основа для комплексної оптимізації процесів проектування та виробництва об'єктів машинобудування / В.В. Ванін, Г.А. Вірченко, Г.П. Грязнова. // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. Технологии машиностроения. – 5/1 (47), 2010. – С. 54-57.
4. Ванін В.В. Застосування структурно-параметричного підходу як методології комп'ютерної комбінаторно-варіаційної геометрії / В.В. Ванін, Г.А. Вірченко, В.Г. Вірченко // Прикладна геометрія та інженерна графіка: зб. наук. праць. – Вип. 87. – К.: КНУБА, 2011. – С. 12-17.
5. Ванін В.В. Комп'ютерні структурно-параметричні геометричні моделі як засоби конструкторсько-технологічної оптимізації літака / В.В. Ванін, Г.А. Вірченко, О.В. Збруцький // Механіка гіроскопічних систем: наук.-тех. зб. – Вип. 27. – Київ: НТУУ "КПІ", 2014. – С. 111-119.
6. Ванін В.В. Варіантне моделювання геометричних об'єктів методом поліпараметризації / В.В. Ванін, Г.І. Вірченко, С.Г. Вірченко // Проблеми інформаційних технологій: наук. журнал. – №02(016). – Херсон: ХНТУ, 2014. – С. 76-79.
7. Ванін В.В. Применение комбинаторно-вариационного подхода для компьютерного геометрического моделирования инженерных конструкций и сооружений / В.В. Ванин, С.Л. Шамбина, В.Г. Вирченко // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений: науч.-техн. журнал. – №4. – М.: ИПК РУДН, 2013. – С. 3-8.
8. Вірченко Г.А. Геометричне моделювання як одна з основних складових сучасних систем автоматизованого проектування / Г.А. Вірченко, В.В. Ванін, В.Г. Вірченко // Прикладна геометрія та інженерна графіка: зб. наук. праць. – Вип. 77. – К.: КНУБА, 2007. – С. 129-134.
9. Вірченко Г.А. Варіантне параметричне конструювання акустичних концентраторів / Г.А. Вірченко, О.П. Колосова // Вісник національного технічного університету України "КПІ". Серія "Хімічна інженерія, екологія та ресурсозбереження": зб. наук. праць. – Вип. № 2 (13) - 2014. – К.: НТУУ "КПІ", 2014. – С. 5-9.
10. Касьянов В.Н. Графы в программировании: обработка, визуализация и применение / В.Н. Касьянов, В.А. Евстигнеев. – СПб.: БХВ-Петербург, 2003. – 1104 с.
11. Ли К. Основы САПР (CAD/CAM/CAE) / К. Ли. – СПб.: Питер, 2004. – 560 с.
12. Роджерс Д. Математические основы машинной графики / Д. Роджерс, Дж. Адамс. – М.: Мир, 2001. – 604 с.
13. Шамбина С.Л. Модульное вариантное геометрическое моделирование сложных технических объектов / С.Л. Шамбина, В.Г. Вирченко // Вестник Российского университета дружбы народов. Инженерные исследования: науч. журнал. – №2. – М.: ИПК РУДН, 2013. – С. 5-8.