

ІНТЕГРАЦІЯ МЕТОДІВ СТРУКТУРНО-ПАРАМЕТРИЧНОГО ФОРМОУТВОРЕННЯ ТА БАГАТОВИМІРНОЇ ГЕОМЕТРІЇ ДЛЯ АВТОМАТИЗОВАНОГО ПРОЕКТУВАННЯ ТЕХНІЧНИХ ОБ'ЄКТІВ

У статті виконано постановку завдань проведення наукових досліджень щодо інтеграції підходів структурно-параметричного формоутворення та багатовимірної геометрії для ефективної реалізації автоматизованого проектування технічних об'єктів. Здійснено аналіз існуючих методів, способів і прийомів комп'ютерного геометричного моделювання, показано їх переваги та недоліки. Обґрунтовано перспективи подальшого розвитку науковою школою прикладної геометрії Національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут" цих двох напрямків стосовно розробки різноманітної промислової продукції.

Ключові слова: автоматизоване проектування, багатовимірна геометрія, комп'ютерні геометричні моделі, технічні об'єкти, структурно-параметричне формоутворення.

Г.А. ВИРЧЕНКО, Е.Н. ГУМЕН, А.Н. СМАКОВСКАЯ
Национальный технический университет Украины "Киевский политехнический институт"

ІНТЕГРАЦІЯ МЕТОДІВ СТРУКТУРНО-ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО ФОРМООБРАЗОВАНИЯ И МНОГОМЕРНОЙ ГЕОМЕТРИИ ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

В статье выполнена постановка задач проведения научных исследований относительно интеграции подходов структурно-параметрического формообразования и многомерной геометрии для эффективной реализации автоматизированного проектирования технических объектов. Осуществлен анализ имеющихся методов, способов и приемов компьютерного геометрического моделирования, показаны их преимущества и недостатки. Обоснованы перспективы дальнейшего развития научной школой прикладной геометрии Национального технического университета Украины "Киевский политехнический институт" этих двух направлений относительно разработки разнообразной промышленной продукции.

Ключевые слова: автоматизированное проектирование, компьютерные геометрические модели, многомерная геометрия, технические объекты, структурно-параметрическое формообразование.

G.A. VIRCHENKO, O.M. GUMEN, G.M. SMAKOVSKA
National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute"

INTEGRATION OF STRUCTURAL-PARAMETRIC SHAPING AND MULTIDIMENSIONAL GEOMETRY METHODS FOR AUTOMATED DESIGN OF TECHNICAL OBJECTS

This publication made settings of research targets for the integration of structural-parametric shaping and multidimensional geometry methods for effectively implement of computer-aided design of technical objects. Analysis of existing methods and techniques for computer geometric modeling was carried out. Their advantages and disadvantages were shown. The perspectives for further development of these two directions by scientific school of applied geometry of National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute" for creating of various industrial products have been substantiated.

Keywords: computer aided design, computer geometric models, multidimensional geometry, structural-parametric shaping, technical objects.

Постановка проблеми

Під час розробки сучасної техніки широко використовуються різноманітні моделі – фізичні, математичні, комп'ютерні тощо. Особливе місце серед них займають геометричні засоби, що обумовлено об'єктивною необхідністю застосування параметрів форми, розмірів і положення для створюваних об'єктів. Як результат, за багатолітню історію людства винайдено доволі широкий спектр відповідних методів, способів та прийомів моделювання. Наприклад, це стосується аналітичної, нарисної, диференціальної, комбінаторної, багатовимірної, обчислювальної геометрії і т. д.

Протягом останніх 15 років на кафедрі нарисної геометрії, інженерної та комп'ютерної графіки НТУУ "КПІ" напрацьовано новий науковий напрямок у галузі прикладної геометрії, який отримав назву *структурно-параметричного формоутворення*. Його особливістю є поєднання теорії кривих і поверхонь із теорією множин, графів, алгоритмів, методами математичного програмування й оптимального управління,

комп'ютерної графіки тощо. Це дозволило, завдяки інтегральному ефекту, суттєво підвищити якість та продуктивність автоматизованого геометричного моделювання, зокрема, в машинобудуванні. Одним із традиційних напрямків наукових досліджень у НТУУ "КПІ" щодо проектування технічних об'єктів є *багатовимірна геометрія*. На підставі вищевикладеного актуальною науковою проблемою можна вважати успішне поєднання методів структурно-параметричного формоутворення та багатовимірної геометрії для забезпечення ефективного моделювання промислової продукції.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

У праці [1] викладено загальні теоретичні положення щодо структурно-параметричного геометричного моделювання та його використання для варіантного конструювання технічних об'єктів із метою їх комплексної оптимізації. Публікація [2] ілюструє практичне застосування зазначеного підходу на прикладі інтегрованого автоматизованого проектування сучасного літака. Роботи [3-7] дають уявлення про засоби багатовимірної геометрії для розв'язування технічних задач. Аналіз окреслених напрямків наукових досліджень свідчить про можливість їх поєднання задля взаємного доповнення та подальшого розвитку.

Формулювання цілі дослідження

Ціль даної статті полягає у визначенні перспектив інтеграції методологій структурно-параметричного формоутворення та багатовимірної геометрії для реалізації більш ефективного автоматизованого проектування різноманітних технічних об'єктів.

Виклад основного матеріалу дослідження

Згідно зі структурно-параметричним підходом довільний об'єкт O , що моделюється, подається як упорядкована множина його елементів

$$O = (o_i)_1^N. \tag{1}$$

Можливі різновиди o_i відтворюються кортежами варіантів

$$o_i = (o_{ij})_1^{N_i} \tag{2}$$

та векторами параметрів

$$P_{ij} = (p_{ijk})_1^{Np_{ij}}, \tag{3}$$

де Np_{ij} – кількість параметрів j -ого варіанта i -ого елемента.

Структурний взаємозв'язок між різновидами n -ої та m -ої складової об'єкта O відображають матриці суміжності

$$C_{n,m} = \|c_{nr} c_{ms}\|; n, m \in (1, \dots, N); n \neq m; r \in (1, \dots, N_n); s \in (1, \dots, N_m), \tag{4}$$

де $c_{nr} c_{ms} \neq 0$ при можливій взаємодії варіантів o_{nr} та o_{ms} , $c_{nr} c_{ms} = 0$ – у протилежному випадку.

У результаті використання формул (1) ... (4) опрацьований об'єкт O подається як множина його проектних варіантів

$$O = (O_i)_1^{N_O}. \tag{5}$$

Загальновідомо, що найбільш наочними засобами зображення різноманітних структур є графи. На рис. 1 наведені, з урахуванням виразу (5), деякі складові структурної моделі досліджуваного об'єкта.

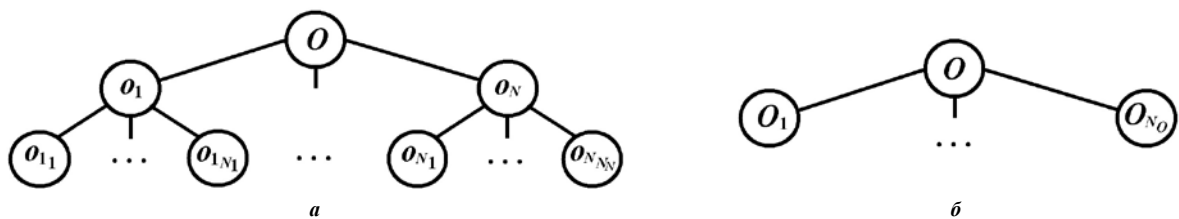


Рис. 1. Компоненти структурної моделі об'єкта O :
 а – граф структури; б – граф варіантів

Комп'ютерні геометричні моделі, завдяки їх наочності, гнучкості, продуктивності, високій точності, малій вартості і т. д., інтенсивно застосовуються в науці й на виробництві для опрацювання різноманітних об'єктів, процесів та явищ. При цьому велика кількість розв'язуваних теоретичних і практичних задач потребує графічних зображень у більш ніж тривимірному просторі.

У публікації [3] зазначається, що широко розповсюджене нині подання багатопараметричних залежностей як сукупності однофакторних графіків не слід вважати задовільним. Для покращення існуючої ситуації пропонується використовувати множини поверхонь, які комплексно враховують спільний вплив кількох змінних на досліджувані об'єкти. Прикладом реалізації такого підходу є наведена у праці [5] методика оптимізації технічної системи, яка подана чотиривимірною геометричною моделлю. У роботах [4, 6, 7] розглянуто питання використання n -вимірних просторів для геометричного моделювання багатопараметричних технічних систем.

Викладемо далі запропоновану методику застосування ієрархічних структурно-параметричних геометричних моделей для комп'ютерної візуалізації багатовимірних об'єктів.

Спочатку наведемо деякі загальні теоретичні положення. Для досліджуваних геометричних фігур як базові вживатимемо терміни точка та множина. Під n -вимірним простором розумітимемо множину впорядкованих кортежів дійсних чисел (x_1, \dots, x_n) , тобто точок. Останні вважатимемо найдрібнішими елементами нульової вимірності, рухом яких у просторі утворюються компоненти вищого порядку, а саме, лінії з вимірністю одиниця, які мають таку властивість як довжина. Для їх зображення застосовуватимемо певні множини точок (каркаси). За аналогією, зміною положення у просторі лінії, що в загальному випадку варіює свою форму й розміри, створюється поверхня з вимірністю два, яка характеризується площею та подається деяким каркасом ліній. Останній може мати кілька структурних варіантів, наприклад, містити тільки твірні чи напрямні, або обидва види зазначених складових і т. д. Подібним чином, переміщуючи у просторі поверхню, одержуємо тривимірну фігуру, тобто тіло певного об'єму, яке можна зобразити множиною поверхонь. Кількість різновидів каркаса в цьому випадку суттєво зростає за рахунок третього виміру модельованого об'єкта.

Для забезпечення єдиного підходу проаналізовані вище прийоми формоутворення поширено на фігури більшої, ніж три, вимірності. Нехай необхідно виконати візуалізацію геометричного об'єкта O , що визначений у деякій математичній формі

$$O = f(u_1, \dots, u_n), \quad (6)$$

де u_i – параметри, $n \in \mathbb{N}$.

Зробимо пояснення стосовно опрацьовуваних у випадку (6) варіантів N_O згідно з формулою (5).

Тракуватимемо запис $O = f(u_1, \dots, u_n)$ як потребу подання параметра u_1 дискретними, а решти – неперервними значеннями. Наприклад, якщо залежність (6) є лінійною, тобто $n=1$, то її варіанти $O = f(u_1)$ формуються багатоманітним поданням точок, включно з різними відстанями між ними.

Для візуалізації фігур, вимірність яких перевищує три ($n > 3$), як основні елементи комп'ютерних геометричних моделей застосовуватимемо наступні множини поверхонь у тривимірному просторі

$$O = f(\dot{u}_1, \dots, \dot{u}_{n-2}, u_{n-1}, u_n), \quad (7)$$

Вибір фігур (7) обумовлений їх найбільшою наочністю порівняно з множинами ліній

$$O = f(\dot{u}_1, \dots, \dot{u}_{n-1}, u_n), \quad (8)$$

та точок

$$O = f(\dot{u}_1, \dots, \dot{u}_n). \quad (9)$$

Для забезпечення наочності динаміки відтворення досліджуваного геометричного об'єкта у просторі далі перша побудована поверхня (7) подається суцільним забарвленням, а наступні – різнокольоровими дискретними каркасами неперервних ліній.

На підставі виразів (5), (6), (7) кожному варіанту O_k ставимо у відповідність структурно-параметричну модель

$$\begin{aligned} O_i &= (O_{i_j})_1^{n-2}, \\ O_{i_1} &= (O_{i_1 j_1})_1^{N_{O_{i_1}}} = f(\dot{u}_1, u_2, \dots, u_n), \\ &\dots \\ O_{i_{n-2}} &= (O_{i_{n-2} j_1, \dots, j_{n-2}})_1^{N_{O_{i_{n-2}}}} = f(\dot{u}_1, \dots, \dot{u}_{n-2}, u_{n-1}, u_n), \end{aligned} \quad (10)$$

де j – ієрархічні рівні; jk – допоміжні індекси, $k \in (1, \dots, n-2)$; $N_{O_{i_j}}$ – кількість дискретних значень параметра

u_j .

Отже, для випадку $n \geq 3$ варіанти об'єкта O , див. формули (5) і (6), відтворюються множиною з No моделей (10). За потреби працювати з лініями (8) або точками (9) необхідно лише збільшити у співвідношеннях (10) кількість ієрархічних рівнів відповідно до $n-1$ або n .

Проілюструємо викладений підхід до візуалізації багатовимірних фігур на тестовому прикладі. Нехай необхідно знайти найменше значення функції

$$f(u_1, \dots, u_5) = \sin^2(u_1 - u_2) + u_3 \sin(u_4 u_5), \quad (11)$$

де $u_1 \in [0; 4]$, $u_2 \in [0; 3]$, $u_3 \in [1; 5]$, $u_4 \in [0; 4]$, $u_5 \in [0; \pi]$.

Наведена задача проста для людини, оскільки її розв'язок задовольняє очевидним умовам: $u_1 - u_2 = \pi t$, $t \in \mathbb{Z}$; $u_3 = 5$; $u_4 u_5 = 1,5\pi + 2\pi t$, $t \in \mathbb{Z}$; а потрібна величина функції (11) дорівнює $f(u) = -5$. Проте, внаслідок багатоекстремальності, успіх цього завдання з використанням обчислювальних методів, наприклад, у таких відомих комп'ютерних пакетах як Mathcad, Microsoft Excel, Matlab тощо, значною мірою залежить від правильного обрання початкової точки для оптимізації, інакше знаходиться лише локальний мінімум. Суттєво допомогти вирішити окреслене питання, без залучення математичного аналізу, дозволяють геометричні засоби візуалізації.

Нехай на основі (5), (6) та (11) маємо

$$O = (O_i)_1^2 = (f(u_1, u_2, u_3, u_4, u_5), f(u_5, u_4, u_3, u_2, u_1)). \quad (12)$$

Якщо для виразу (12) прийняти $\dot{u}_1 = (0; 1; 2; 3; 4)$, $\dot{u}_2 = (0; 1; 2; 3)$, $\dot{u}_3 = (1; 3; 5)$, $\dot{u}_4 = (0; 1; 2; 3; 4)$, $\dot{u}_5 = (0; 1; 2; \pi)$, то згідно з формулами (10) елемент O_{111} подається множинами поверхонь, показаних на рис. 2.

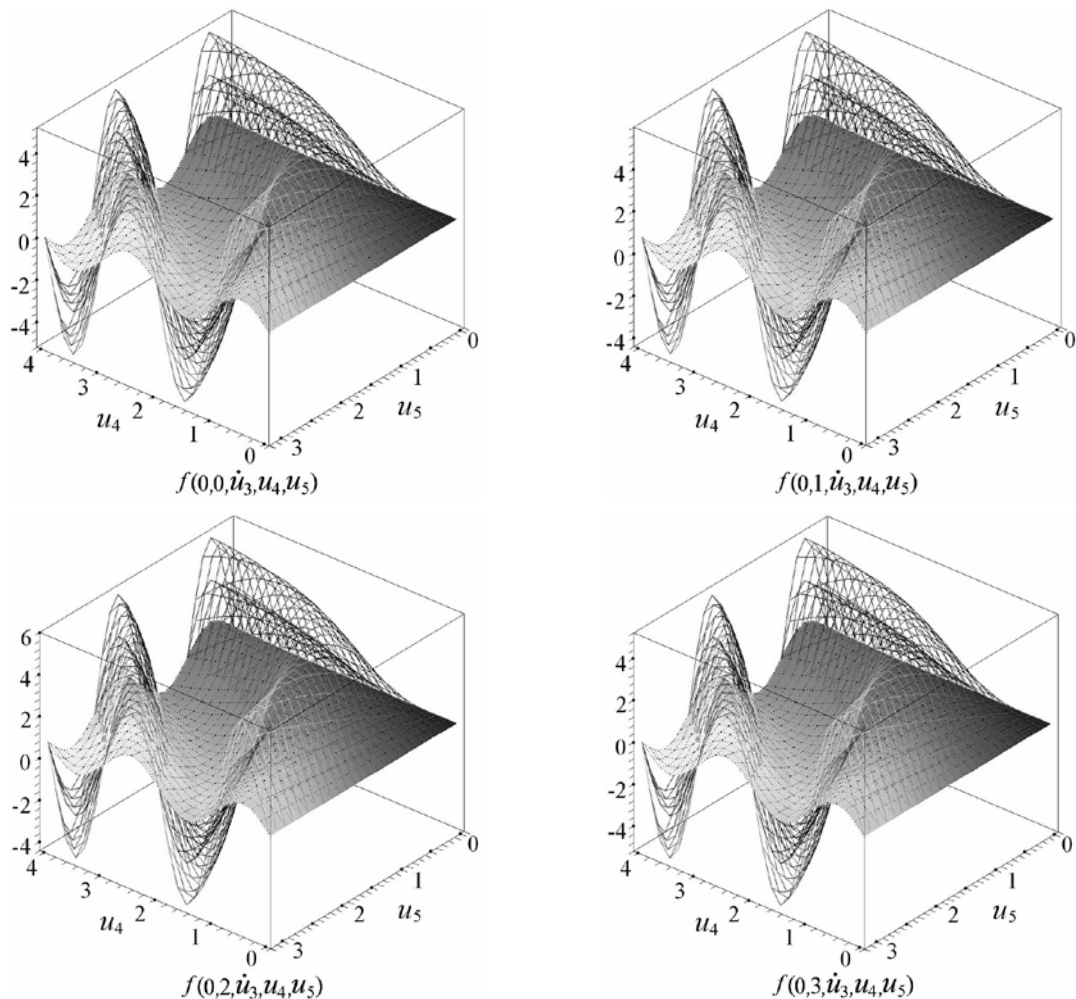


Рис. 2. Візуалізація компонента O_{111}

За аналогією виконується візуалізація й решти чотирьох компонентів першого ієрархічного рівня

варіанта O_1 . На рис. 3 наведено деякі типові зображення різновиду O_2 .

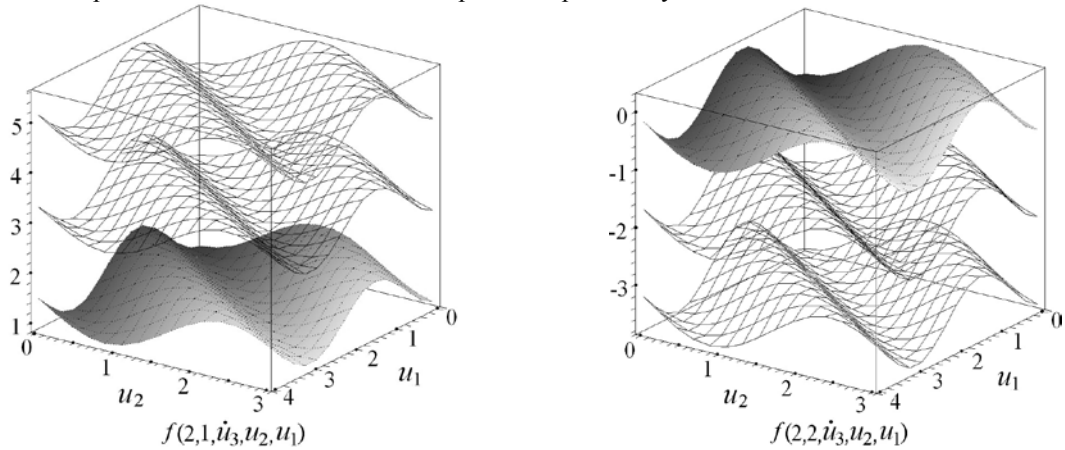


Рис. 3. Візуалізація елементів $O_{2,2,3,2}$ та $O_{2,2,3,3}$

Аналіз показаних комп'ютерних геометричних моделей дозволяє з'ясувати приблизні екстремальні значення цільової функції, їх кількість та розташування у просторі параметрів, вплив останніх на досліджуваний об'єкт, стійкість обраних розв'язків до невеликих відхилень параметрів від їх оптимальних величин і т. д.

Висновки

У даній статті визначено перспективні напрямки інтеграції методів структурно-параметричного формоутворення та багатовимірної геометрії з метою удосконалення на базі цього автоматизованого проектування технічних об'єктів та їх оптимізації.

Список використаної літератури

1. Ванін В.В. Визначення та основні положення структурно-параметричного геометричного моделювання / В.В. Ванін, Г.А. Вірченко // Геометричне та комп'ютерне моделювання.– Харків: ХДУХТ, 2009. – Вип. 23. – С. 42-48.
2. Ванін В.В. Структурно-параметричні геометричні моделі як засіб інтеграції автоматизованого проектування сучасного літака / В.В. Ванін, Г.А. Вірченко // Вісник Херсонського національного технічного університету. – 2014. – Вип. 3 (50). – С. 571-574.
3. Иванов Г.С. Методы многомерной геометрии в решении прикладных задач / Г.С. Иванов // Материалы Второй украинско-российской научно-практической конференции "Современные проблемы геометрического моделирования". – Харьков: ХГУПТ, 2007. – С. 33-38.
4. Гумен О.М. Візуалізація фазових траєкторій n -вимірних просторів / О.М. Гумен, С.Є. Мартин // Прикладна геометрія та інженерна графіка. – К.: КНУБА, 2008. – Вип.79. – С.121-125.
5. Джанабаев Ж.Ж. Об одном подходе к решению частной многомерной задачи / Ж.Ж. Джанабаев, У.К. Кусебаев, Н.С. Умбетов // Геометрическое моделирование и компьютерные технологии: теория, практика, образование: Материалы VI международной научно-практической конференции. – Харьков: ХГУПТ, 2009. – С. 52-57.
6. Гумен О.М. Геометрія проєктивних n -просторів щодо перебігу технологічних процесів у дослідженнях багатопараметричних систем / О.М. Гумен, С.Є. Ляковська // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. – Вип.4. Прикладна геометрія та інженерна графіка. – Т.49. – Мелітополь: ТДАТУ, 2011. – С.89-94.
7. Гумен О.М. Застосування проєктивних багатовимірних просторів щодо розв'язування прикладних задач техніки / О.М. Гумен, С.Є. Ляковська, Г.Й. Боднар, О.Я. Шийко // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. – Вип.4. Прикладна геометрія та інженерна графіка. – Т.50. – Мелітополь: ТДАТУ, 2011. – С.116-120.