

DOI <https://doi.org/10.32782/2220-8674-2025-15-1-2>

УДК 004.942

Є. А. Гавриленко, д-р техн. наук, професор

ORCID: 0000-0003-4501-445X

Ю. В. Холодняк, канд. техн. наук, доцент

ORCID: 0000-0001-8966-9269

І. Р. Тетервак, старший викладач

ORCID: 0009-0009-0616-8983

Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного

e-mail: yuliya.kholodnyak@tsatu.edu.ua

РОЗРОБКА АЛГОРИТМУ ФОРМУВАННЯ ПРОСТОРОВИХ МОНОТОННИХ КРИВИХ

Анотація. Формування поверхонь заданих масивом точок є актуальним завданням геометричного моделювання. Модель поверхні формується на основі лінійного каркаса, елементи якого інтерполюють послідовності точок. Контроль наявності особливих точок у ліній каркаса є важливою умовою для забезпечення необхідних властивостей поверхні. Контроль наявності особливих точок у кривій, яка інтерполює точковий ряд, засновано на відмові від її аналітичного представлення. Крива формується у вигляді області можливого розташування її монотонних частин. Як лінійний елемент каркаса використовується обвід, що формується всередині області можливого розташування частин інтерполюючої кривої. Алгоритм моделювання просторових елементів каркаса засновано на формуванні допоміжних плоских дискретно представлених кривих, які визначають конфігурацію та властивості просторових обводів. На основі запропонованого алгоритму розроблено програмне забезпечення для автоматизованого формування обводів в CAD-системі.

Ключові слова: монотонна крива; стичне коло; прилегла площа; область розташування кривої; обвід, алгоритм, програмне забезпечення.

Постановка проблеми. Для сучасного виробництва актуальним є завдання конструювання поверхонь виробів, для яких вихідними даними є множина точок. Положення вихідних точок одержують за результатами замірів або розрахунків [1].

Конструювання передбачає таке:

- із вихідної множини точок виділяються упорядковані послідовності точок (точкові ряди), що задають криві лінії – елементи каркаса поверхні;
- точкові ряди інтерполюють обводами, які складають безперервні криві лінії;
- отриманий каркас, що складається з обводів, є вихідними даними для формування у CAD-системі моделі поверхні;
- комп'ютерна модель поверхні використовується для створення в САМ-системі програмного забезпечення для верстатів із числовим програмним керуванням з виготовлення виробу.

Основною вимогою до поверхонь, які призначені для взаємодії з потоком газу, рідини або сипучих матеріалів є забезпечення заданого характеру їх обтікання [23]. Зазначені поверхні називають динамічними завдяки їх підвищеним гідро- або аеродинамічним якостям. Динамічні поверхні обмежують різноманітні вироби судно-, авто-, авіабудування, хімічної та харчової промисловості, робочі органи сільськогосподарських машин [3–4].

Динамічні властивості поверхні визначає потік середовища, що виникає у прикордонному шарі вздовж виробу. Основною вимогою є запобігання виникнення турбулентності всередині потоку [5]. Створення геометричної моделі такої поверхні потребує використання як елементів

каркаса ліній з регулярною та закономірною зміною геометричних характеристик: положень дотичних, значень кривини та скруту.

Каркас складають лінії отримані внаслідок інтерполяції точкових рядів. Мінімальна за умовами задачі кількість особливих точок у цих ліній є основною умовою, яка забезпечує підвищені динамічні властивості поверхні [6]. Це можуть бути:

- точки зламу, у яких крива лінія має дві дотичні прямі;
- точки перегину, в яких стикаються опуклі та увігнуті частини кривої;
- точки з екстремальним значенням кривини, де відбувається зміна напрямку зростання значень кривини вздовж кривої;
- точки, у яких порушується регулярність зміни значень кривини вздовж кривої;
- точки зміни ходу просторової кривої.

Неконтрольоване виникнення особливих точок знижує якість одержуваного рішення.

Задача моделювання одновимірних обводів із заданими геометричними властивостями на основі послідовності великої кількості точок передбачає обробку значних об'ємів інформації. Розв'язання задачі потребує використання комп'ютерних технологій. Тому методи формування лінійних елементів каркаса динамічної поверхні повинні бути адаптованими до подальшої реалізації у спеціалізоване програмне забезпечення.

Аналіз останніх досліджень. До методів інтерполяції точкових рядів аналітично заданими кривими належить глобальна інтерполяція та шматково-гладке наближення. Методи глобальної інтерполяції задають криву лінію єдиним рівнянням. У роботах [7–8] криві лінії описуються алгебраїчними поліномами Ньютона та Ерміта. За інтерполяції точкових рядів цими методами ступінь рівняння, яке визначає криву що інтерполює, визначається кількістю вихідних точок. Збільшення ступеня кривої та параметричного числа кривої призводить до неконтрольованого виникнення особливих точок. У кривій лінії, яка задана поліномом, неконтрольовано виникають точки перегину. Методи, які не здатні забезпечити в елементів каркаса мінімальну кількість цих точок, не можуть використовуватися для моделювання динамічних поверхонь.

Контроль за виникненням точок перегину (виникнення осциляції) забезпечує інтерполяція з використанням тригонометричних функцій [9]. Недоліком використання тригонометричних функцій є незначна кількість точок, інтерполяцію яких вони забезпечують. Це знижує ефективність під час практичного застосування методу. Іншим недоліком методу є те, що він не забезпечує закономірність зміни кривини вздовж інтерполуючої кривої.

Запобігання виникнення осциляції за інтерполяції як завгодно великої кількості точок забезпечує метод, заснований на використанні кривих другого порядку [10]. Метод забезпечує єдине положення дотичної в точках стикування ділянок обводу. Недоліком методу є те, що він не здатний забезпечити регулярність значень кривини вздовж обводу, що інтерполює. Це обумовлено другим ступенем рівняння кривих ліній, з яких складаються ділянки обводу.

Регулярність значень кривини вздовж обводу забезпечує метод, запропонований в [11]. Обвід формується з використанням кривих Безьє третього або більших порядків. Недоліком інтерполяції з використанням кривих Безьє є неможливість забезпечення локальності коригування формою ділянок обводу. Зазначений недолік ускладнює забезпечення бажаної динаміки зміни значень кривини вздовж обводу.

Найбільші можливості коригування формою ділянок обводу відносно інших відомих методів інтерполяції аналітично заданими кривими забезпечує використання В-сплайнів [12–14]. Локальність управління формою ділянок В-сплайну дає змогу забезпечувати монотонність зміни кривини вздовж обводу, що інтерполює невелику кількість точок. Призначення у вихідних точках заданих характеристик – положення дотичних прямих і значень кривини ускладнює контроль за виникненням осциляції. Зі збільшенням ступеня рівняння кривої з метою поліп-

шення якості стикування ділянок обводу знижується локальність управління формою сплайна. Забезпечення закономірної і регулярної зміни кривини вздовж обводів складної конфігурації, які складаються з великої кількості ділянок, у разі формування В-сплайном неможливо.

Недоліки методів геометричного моделювання на основі аналітично заданих функцій обмежують їх можливості в забезпеченні вимог до формування лінійних елементів моделей динамічних поверхонь.

Інший варіант формування обводів засновано на відмові від аналітичного представлення ділянок кривої, яка інтерполює заданий точковий ряд. Обвід формується у вигляді області можливого розташування його монотонних частин – ділянок, які не містять особливих точок. Область можливого розташування обводу являє собою послідовність замкнутих контурів, стикуваних між собою у точках, що задають обвід. Зазначену послідовність точок і контурів називатимемо дискретно представленою кривою (ДПК).

Метод формування плоскої ДПК, що складається з будь якої кількості точок, запропоновано в [15–16]. Це вихідні точки та проміжні точки (точки згущення), положення яких призначаються, виходячи з положення вихідних точок та якостей, яким має відповідати обвід. Цими якостями є відсутність точок перегину, єдина дотична в точках стикування ділянок обводу, регулярність і закономірна зміна кривини вздовж кривої. Перед згущенням проводиться аналіз вихідного точкового ряду, за результатами якого визначаються ділянки, на основі яких може бути сформована крива з монотонною зміною кривини (монотонна крива). Монотонні ділянки формуються окремо з подальшим стикуванням. У вихідних точках призначаються положення прямих дотичних до монотонної ДПК.

Область розташування ділянки ДПК $(i, i+1)$ є трикутником, обмеженим дотичними до ДПК (t_i, t_{i+1}) , які проходять через послідовні вихідні точки, і хордою, яка ці точки з'єднує (рис. 1). Такі трикутники названі базисними (БТ).

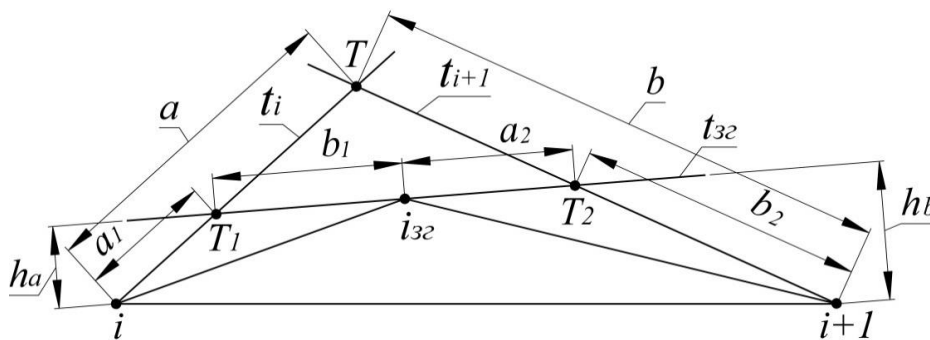


Рис. 1. Формування і-го БТ та БТ згущення

Радіуси кривини (R_i) , які призначаються в точках монотонної ДПК, визначаються розмірами відповідного БТ. Для і-го БТ значення радіусів кривини в точках i та $i+1$ визначаються за формулами:

$$R_i = \frac{a^3}{S}, \quad R_{i+1} = \frac{b^3}{S}, \quad (1)$$

де $a = |i; T|$ та $b = |T; i+1|$ – довжини сторін БТ $(i, T, i+1)$; S – площа БТ.

Кожен крок згущення передбачає призначення всередині вихідного БТ положень точки згущення (i_{32}) та дотичної прямої до обводу в цій точці (t_{32}) . Після цього замість вихідного БТ $(i, T, i+1)$ отримуємо два нові БТ згущення: (i, T_1, i_{32}) та $(i_{32}, T_2, i+1)$.

Запропонована схема згущення точкового ряду забезпечує збереження призначених значень радіусів кривини у вихідних точках ДПК за переходу від вихідної послідовності БТ до послідовності БТ згущення. Призначення положення точки згущення забезпечує рівність значень R_i та R_{i+1} , які визначає конфігурація БТ згущення та конфігурація вихідного БТ відповідно до (1). З урахуванням параметрів БТ умова рівності зазначених радіусів кривини така:

$$\frac{a^3}{S} = \frac{a_1^3}{S_1} \text{ та } \frac{b^3}{S} = \frac{b_2^3}{S_2}, \quad (2)$$

де $a_1 = |i; T_1|$ та $b_2 = |T_2; i+1|$ – довжини сторін БТ (i, T_1, i_{32}) та $(i_{32}, T_2, i+1)$ відповідно; S_1 та S_2 – площі зазначених БТ.

Забезпечення регулярності значень кривини вздовж ДПК потребує рівності радіусів кривини, які в точці i_{32} одночасно визначає конфігурація БТ (i, T_1, i_{32}) та $(i_{32}, T_2, i+1)$. Відповідно до параметрів БТ вимога забезпечення регулярності така:

$$\frac{b_1^2}{a_2^2} = \frac{h_a}{h_b}, \quad (3)$$

де h_a та h_b – відстані від точок i та $i+1$ до дотичної t_{32} .

Закономірну зміну значень кривини вздовж ДПК забезпечують додаткові умови до розташування дотичних, які призначаються у вихідних точках. Дотичні завдають послідовність БТ, у межах кожного з яких можливо формувати монотонну криву. Алгоритм згущень забезпечує виконання умови $R_i < R_{32} < R_{i+1}$, яка через параметри БТ виражається як:

$$a_1 < b_1 \text{ та } a_2 < b_2. \quad (4)$$

Виконання (4) гарантує, що після кожного згущення параметри кожного БТ визначають у двох послідовних точках значення радіусів кривини, що відповідають умові: $R_i < R_{i+1}$. При цьому призначені значення радіусів кривини зберігаються за будь-якої кількості згущень. За виконанні умов (2), (3) та (4) послідовні згущення наближають одержувану послідовність точок до неперервної кривої лінії, вздовж якої радіуси стичних кіл змінюються монотонно.

Формування просторової кривої із заданим поєднанням характеристик, що інтерполює точковий ряд, є важливим інструментом моделювання поверхонь. Просторовими є осьові лінії поверхонь каналів, лінії стикування відсіків складових поверхонь, траєкторії обтікання поверхні середовищем.

За невеликої кількості точок, які потрібно інтерполювати, задачу можна розв'язати за допомогою В-сплайна. Сучасні CAD-системи дають можливість це виконувати.

Відзначимо, що відносно плоскої інтерполяції задача формування просторових одновимірних обводів різко ускладнюється. Це обумовлено необхідністю використання кривих, заданих рівнянням третього і вищих ступенів, а також збільшенням кількості характеристик, значення яких потрібно контролювати в точках обводу, що формується. Відомі методи інтерполяції просторових точкових рядів не забезпечують регулярної і монотонної зміни диференційно-геометричних характеристик уздовж кривої, яка інтерполює значну кількість точок.

Аналітичне забезпечення виконання вказаних вимог складне або неможливе. Тому розв'язання поставленої задачі доцільно виконувати із застосуванням спеціалізованого програмного забезпечення.

Формулювання мети статті (постановка завдання). Метою дослідження є розробка алгоритму для створення програмного забезпечення, що дає змогу формувати лінійні елементи каркаса динамічної поверхні. Для досягнення поставленої мети потрібно запропонувати метод моделювання на основі вихідного точкового ряду просторової кривої з монотонною зміною диференціально-геометричних характеристик.

Основна частина. Просторова ДПК формується на основі точкового ряду, який можна інтерполювати кривою постійного ходу, вздовж якої значення кривини змінюються монотонно. Скрут кривої, що конструюється, оцінюється кутом між площинами, яким належать три послідовні точки ряду. Такі площини будемо називати прилеглими (ПП) і позначимо – P_i (рис. 2).

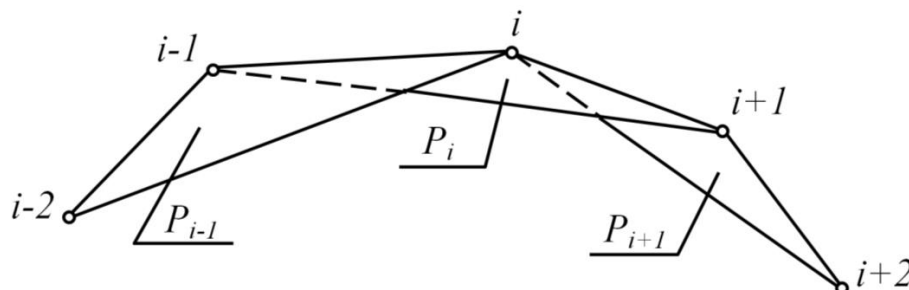


Рис. 2. Послідовність вихідних прилеглих площин

Напрямок ходу кривої, що формується, визначається напрямком обертання між сусідніми ПП до їх суміщення.

Значення радіусів кривини в точках просторової кривої пропонується призначати та формулювати з використанням допоміжної плоскої ДПК. Ця ДПК формується внаслідок суміщення ПП, що визначаються вихідними точками, у єдину площину. При цьому значення радіусів стичних кіл (R_i) плоскої ДПК повинно дорівнювати відповідним R_i просторової ДПК. Розгортання просторової ДПК в плоску ДПК здійснюється внаслідок обертання послідовних ПП навколо прямих ліній, по яких ці ПП перетинаються. Наприклад, суміщення площин P_{i-1} та P_i (див. рис. 2) здійснюється обертанням точкового ряду $i+1, \dots, n$ навколо прямої $(i-1, i)$ у напрямку, протилежному скруту ДПК, до збігу площин P_{i-1} та P_i . Послідовно суміщаючи всі ПП, одержуємо плоску ДПК. При цьому трикутники, обумовлені трьома послідовними точками ряду, у плоскої і просторової ДПК конгруентні. Отже, плоску ДПК можна одержати, побудувавши на площині зазначені трикутники на відстанях між відповідними вузлами ДПК, не здійснюючи обертання.

Отримана плоска ДПК згущується методом, розробленим у [9]. За кожного кроку згущення отримуємо нову ДПК, яка складається із подвійної кількості точок. Метод дає змогу одержувати на базі вихідної послідовності точок нову послідовність, яка складається з вихідних точок та скільки завгодно великої кількості точок згущення. При цьому конфігурація згущеної послідовності точок дає можливість інтерполювати її кривою лінією, вздовж якої значення кривини змінюються монотонно.

Після кожного кроку згущення плоского точкового ряду здійснюється зворотний перехід до просторової ДПК. Умовою цього зворотного переходу є потрапляння вихідних точок до свого попереднього положення на просторовій ДПК. Кожна точка згущення розташовується на колі, площина якого перпендикулярна відповідній хорді супровідної ламаної лінії (СЛЛ) вихідної ДПК (рис. 3).

Центр кола розташовано на хорді, а радіус кола дорівнює перевищенню (h_i) відповідної точки згущення над хордою СЛЛ плоскої ДПК. Точки згущення розташовуються на колах таким чином, що відстані між сусідніми точками згущення дорівнюють відстаням між відповідними точками згущення плоскої ДПК.

На рис. 4 зображено ділянку вихідної ДПК $i-1 \dots i+2$, спроектовану на площину, перпендикулярну прямої $(i, i+1)$.

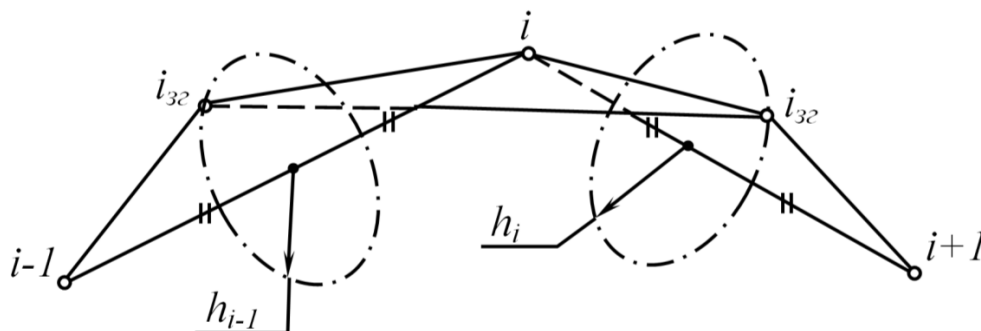


Рис. 3. Розгортання плоскої ДПК у просторову

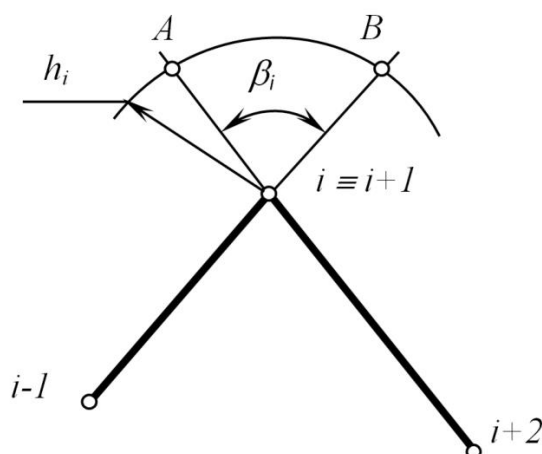


Рис. 4. Сектор розташування точки згущення

ПП P_i та P_{i+1} утворюють двограний кут β_i . Щоб унаслідок згущення одержати ДПК, у якій напрямок скруту такий самий, як у вихідної ДПК, потрібно призначати кожену точку згущення всередині відповідного кута β . Наприклад, точка згущення, що відповідає хорді вихідної СЛЛ $[i, i+1]$, повинна розташовуватися на дузі $[A, B]$ кола радіуса h_i .

Унаслідок будь-якої кількості згущень одержуємо просторову ДПК постійного ходу, у якій R_i рівні відповідним R_i плоскої ДПК.

Просторову ДПК вважаємо сформованою, коли висота найбільшого з базисних трикутників допоміжної плоскої ДПК не перевищує заданої точності формування обводу. Після забезпечення необхідної точності дискретної інтерполяції обвід може бути сформовано з ділянок неперервних кривих ліній (відрізки прямих, дуги кіл, В-сплайн).

Наведені вище рішення дають можливість формувати лінійні елементи каркаса динамічної поверхні за таким алгоритмом:

1. Супровідна ламана лінія, що з'єднує вихідну послідовність точок, суміщається з площиною із забезпеченням конгруентності трикутників, що визначаються послідовними вихідними точками.

2. Отриманий плоский точковий ряд поділяється на частини, які можна інтерполювати монотонною кривою лінією.

3. Здійснюється згущення монотонних частин плоскої дискретно представлені кривої (ДПК).

4. Здійснюється зворотне розгортання плоскої згущеної ДПК в просторову ДПК із збереженням призначених у її точках значень кривини.

5. Згущення ДПК здійснюється до забезпечення заданої точності інтерполяції, після чого отриманий точковий ряд інтерполюється обводом.

Точкові ряди, що складаються із скільки завгодно великої кількості точок, які можливо інтерполювати кривими із закономірною зміною кривини, формуються на основі вихідних ДПК за допомогою програмного забезпечення, розробленого в системі комп'ютерної алгебри Maple.

У CAD-системі тривимірного параметричного моделювання SolidWorks отримані точкові ряди інтерполюються обводами із заданими характеристиками, що складаються з ділянок кривих, формування яких забезпечує система. Обводи використовуються як лінійні елементи каркаса поверхні.

Для автоматизації формування ліній у CAD-системі SolidWorks створено програмне забезпечення. Програма розроблена в середовищі Delphi 10.2 з використанням інструмента API (Application Program Interface). Вихідними даними для програми є текстові файли з координатами точок, які розраховані в Maple. Обвід, що інтерполює точковий ряд, створюється в автоматизованому режимі. Використання програмного забезпечення дає можливість створювати в CAD-системі SolidWorks обвід, що складається з будь-якої кількості ділянок.

Комп'ютерна модель виробу формується з використанням стандартних команд SolidWorks на основі каркаса. Функціональні якості поверхні забезпечуються заданими геометричними характеристиками лінійних елементів каркаса. Розроблений метод забезпечує формування лінійних елементів каркасів із заданою точністю. Використання розробленого методу дає змогу автоматизувати формування в CAD-системі каркаса поверхні та забезпечити задані функціональні якості поверхонь, що моделюються.

Висновки. У роботі запропоновано алгоритм для створення програмного забезпечення, що дає можливість формувати просторові лінійні елементи каркаса поверхні. Алгоритм засновано на методі моделювання на основі вихідного точкового ряду просторового обводу, який із заданою точністю представляє криву лінію з мінімальною за умовами задачі кількістю особливих точок.

Метод становлять такі способи:

- спосіб переходу від вихідної просторової дискретно представленної кривої (ДПК) до плоскої ДПК;
- спосіб формування допоміжної плоскої ДПК, що складається з вихідних точок і скільки завгодно великої кількості точок згущення, які можна інтерполювати монотонною кривою лінією;
- спосіб формування просторової ДПК постійного ходу, графік зміни кривини вздовж якої аналогічний графіку допоміжної плоскої ДПК;
- спосіб формування обводів, які із заданою точністю представляють згущену просторову ДПК.

Зазначені способи засновані на геометричних побудовах, які зводяться до визначення довжин відрізків і площ трикутників. Необхідні обчислення полягають у вирішенні систем лінійних рівнянь. Простота геометричної та обчислювальної схем забезпечує високу точність розрахунків та не потребує застосування ітераційних процесів.

Зазначені особливості роблять запропоновані в роботі способи й алгоритм максимально відповідними задачі їх подальшої реалізації у вигляді комп'ютерних програм.

На основі запропонованого алгоритму розроблено програмне забезпечення для автоматизованого формування в CAD-системі обводів, що представляють криві лінії з визначника поверхні. Обводи використовуються для створення лінійних каркасів, на основі яких за допомогою стандартних функцій CAD-системи формується модель поверхні.

Основною сферою використання запропонованих методу й алгоритму є моделювання поверхонь з підвищеними динамічними якість, що обмежують виробу, функціональне призначення яких – взаємодія із середовищем.

Список використаних джерел

1. Jadhav Y.P., Chougule V.N., Mulay A.V. Free-form surface models generation using reverse engineering techniques – an investigation. *IOSR Journal of Mechanical & Civil Engineering*. 2016. P. 379–385. <https://doi.org/10.9790/1684-15008030311-15>.
2. Hashemian A., Imani B. A new quality appearance evaluation technique for automotive bodies including effect of flexible parts tolerances. *Mechanics Based Design of Structures and Machines*. 2017. Vol. 46, no. 2. P. 157–167. <https://doi.org/10.1080/15397734.2017.1321487>.
3. Fooladi M., Foroud A. Recognition and assessment of different factors which affect flicker in wind turbine. *IET Renewable Power Generation*. 2016. Vol. 10, no. 2. P. 250–259. <https://doi.org/10.1049/iet-rpg.2014.0419>.
4. Farhad Hosseini S., Moetakef-Imani B. Innovative approach to computer-aided design of horizontal axis wind turbine blades. *Journal of Computational Design and Engineering*. 2017. Vol. 4. Iss. 2. P. 98–105. <https://doi.org/10.1016/j.jcde.2016.11.001>.
5. Qawaqzeh M., Szafraniec A., Halko S., Miroshnyk O., Zharkov A. Modelling of a household electricity supply system based on a wind power plant. *Przegląd Elektrotechniczny*. 2020. Vol. 96. <https://doi.org/10.15199/48.2020.11.08>.
6. Havrylenko Y., Kholodniak Y., Halko S., Vershkov O., Bondarenko L., Suprun O., Miroshnyk O., Shchur T., Śrutek M., Gackowska M. Interpolation with Specified Error of a Point Series Belonging to a Monotone Curve. *Entropy*. 2021. Vol. 23, no. 5. P. 493. <https://doi.org/10.3390/e23050493>.
7. Ivan M. A note on the Hermite interpolation. *Numerical Algorithms*. 2014. Vol. 69, no. 3. P. 517–522. <https://doi.org/10.1007/s11075-014-9909-x>.
8. Argyros I.K., George S. On the convergence of Newton-like methods using restricted domains. *Numerical Algorithms*. 2016. Vol. 75, no. 3. P. 553–567. URL: <https://doi.org/10.1007/s11075-016-0211-y>.
9. Samreen S., Sarfraz M., Hussain M. Z. A quadratic trigonometric spline for curve modeling. *PLOS ONE*. 2019. Vol. 14, no. 1. P. e0208015. URL: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0208015>.
10. Li H., Zhang L. Geometric error control in the parabola-blending linear interpolator. *Journal of Systems Science and Complexity*. 2013. Vol. 26, no. 5. P. 777–798. <https://doi.org/10.1007/s11424-013-3178-y>.
11. Shen W., Wang G., Huang F. Direction monotonicity for a rational Bézier curve. *Applied Mathematics-A Journal of Chinese Universities*. 2016. Vol. 31, no. 1. P. 1–20. URL: <https://doi.org/10.1007/s11766-016-3399-7>.
12. Volkov Y.S. Obtaining a banded system of equations in complete spline interpolation problem via B-spline basis. *Central European Journal of Mathematics*. 2011. Vol. 10, no. 1. P. 352–356. <https://doi.org/10.2478/s11533-011-0104-1>.
13. Weishi Li, Shuhong Xu, Jianmin Zheng, Gang Zhao. Target curvature driven fairing algorithm for planar cubic B-spline curves. *Computer Aided Geometric Design*. 2004. Vol. 21. Iss. 5. P. 499–513. <https://doi.org/10.1016/j.cagd.2004.03.004>.
14. Hongli W., Wei Z. Modeling of the no-tillage planter and simulation of the cutting-stubble knife. *System Science, Engineering Design and Manufacturing Informatization*. 2012. P. 335–338. <https://doi.org/10.1109/ICSSEM.2012.6340880>.
15. Гавриленко Є. А., Холодняк Ю. В., Мірошніченко М. Ю. Алгоритм моделювання одновимірних обводів за заданими умовами. *Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету*. 2023. Вип. 12, т. 1. С. 1–9. <https://doi.org/10.31388/sbtsatu.v12i1.301>.
16. Холодняк Ю. В. Варіативне дискретне геометричне моделювання обводів на основі базисних трикутників по заданому закону зміни кривини : автореф. дис. ... канд. техн. наук. Мелітополь, 2016. 24 с.

Стаття надійшла до редакції 14.04.2025 р.



Y. Havrylenko, Y. Kholodniak, I. Tetervak
Dmytro Motornyi Tavria State Agrotechnological University

DEVELOPMENT OF AN ALGORITHM FOR FORMING SPATIAL MONOTONE CURVES

Summary

The formation of complex functional surfaces given by an array of points is an urgent task of geometric modeling. The geometric model of the surface is formed on the basis of a discrete linear framework, the elements of which are curved lines that interpolate sequences of points selected from the original array. Controlling the presence of singular points in the framework lines is an important condition for ensuring the necessary surface properties. The work solves the problem of modeling a smooth contour of the interpolating point series belonging to the curve line that contains the minimum number of singular points under the conditions of the problem. The solution of the problem of controlling the presence of singular points in the curve that interpolates the given point series is based on the rejection of its analytical representation. The interpolating curve is formed in the form of a region of possible location of its monotonic parts. All curved lines that meet the conditions of the problem cannot be located outside the specified region. As a linear element of the frame, a contour is used, which is formed inside the region of possible location of parts of the interpolating curve, along which the curvature values monotonically increase or decrease. The absolute error of interpolation of the point series is estimated by the width of the specified region. If the interpolation error of the original point series turns out to be greater than the assigned value, then the width of the region of the curve location is reduced by assigning intermediate points. The algorithm proposed in the work for modeling spatial linear elements of the frame while controlling the occurrence of special points is based on the formation of auxiliary flat discretely represented curves, the characteristics of which determine the configuration and properties of spatial contours. Based on the proposed algorithm, software has been developed for the automated formation in the CAD system of contours representing curved lines from the surface determinant.

Keywords: monotone curve; tangent circle; adjacent plane; region of the curve; contour, algorithm, software.