

УДК 62-50:621.91:004.924

Р.Р. Сімута, к.т.н., ст. викл.

Ю.В. Петраков, д.т.н., проф.

Національний технічний університет України «КПІ»

МОДЕЛЮВАННЯ ПОВЕРХОНЬ ДЕТАЛЕЙ В CAD/CAM СИСТЕМАХ

Наведено огляд методів представлення геометричних об'єктів при проектуванні деталей в CAD системах. Проведено їх аналіз з погляду використання при моделюванні процесу формоутворення з отриманням необхідних характеристик процесу різання незалежно від виду оброблення. Доведено, що моделі тривимірних об'єктів на основі LOM-технологій після запропонованої модернізації найбільш підходять до процедур моделювання процесів зрізування припуску в реальному часі.

Вступ. Аналіз існуючих CAD/CAM систем [1] показав, що жодна з них не здатна автоматизувати вирішення одного з головних завдань проектування управляючої програми для верстатів з ЧПК, а саме призначення режимів різання та їх управління в процесі обробки деталі. Опосередкованим підтвердженням такого висновку є падіння ринку продаж САМ систем, не зважаючи на оптимістичні прогнози після кризи 2008 року. Наразі деякі фірми-розробники, зокрема Delcam, усвідомлюючи важливість такої проблеми, готують нові версії програмних продуктів (PowerMill 2013), в яких заявлено про деякі рішення в цьому напрямку. На кафедрі технології машинобудування НТУУ «КПІ» була запропонована нова концепція автоматизованого проектування управляючих програм для верстатів з ЧПК [2], яка передбачає паралельне створення управляючої програми, де автоматично формується закон управління для стабілізації умов різання за формоутворюючою траєкторією (рис. 1). Відповідно до такої концепції, першим етапом є формування геометричної моделі заготовки і деталі, яка придатна до виконання моделювання процесу оброблення.

Тому задача створення цифрових моделей деталей безпосередньо із CAD/CAM систем, в яких вони проектуються, є актуальною.

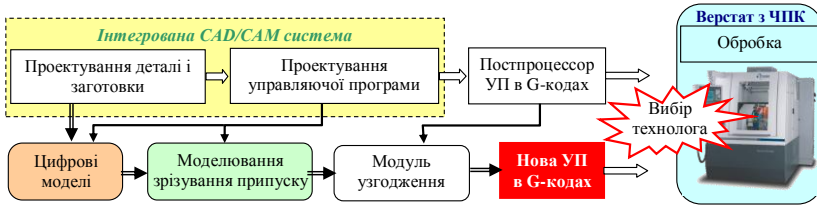


Рис. 1. Структура паралельного проектування управляючої програми

Постановка завдання. Провести аналіз сучасних методів та особливостей геометричного моделювання тривимірних об'єктів та визначити ефективність їхнього використання в модулі моделювання процесу зрізування припуску. Розробити підходи до перетворення і передачу геометричної інформації про поверхні деталей для використання у моделюванні процесу обробки виробів у реальному часі.

Викладення основного матеріалу. Огляд методів моделювання тіл. На ранньому етапі розвитку CAD/CAM системи використовували лінійне представлення тіл – їх двомірні креслення і каркасні тривимірні моделі. Цього було достатньо для автоматизації креслярських робіт, а також для створення управляючих програм механічної обробки поверхонь деталей – тіл обертання (точіння, шліфування) і максимум 2,5 координатної обробки решти типів поверхонь (фрезерування, свердління тощо). Такі системи як правило використовували аналітичні моделі ліній – тобто представлення ліній у вигляді загальноновідомих залежностей в координатній формі. Але, оскільки, не всі криві можна описати аналітично, було розроблено інший тип математичного представлення. Припустимо, в просторі задана деяка прямокутна система координат із базисними векторами e_1, e_2, e_3 . Тоді просторову лінію можна описати векторною функцією скалярного аргументу t :

$$r(t) = \sum_{i=1}^3 r_i(t)e_i, \quad (1)$$

де t змінюється в межах $t_{\min} \leq t \leq t_{\max}$. Компоненти $r_i(t)$ радіус-вектора точки кривої $r(t)$ вважають за однозначні безперервні функції параметра t . Такий опис ліній називається параметричним [3].

Областю зміни параметра кривої є відрізок $t_{\min} \leq t \leq t_{\max}$ в одновимірному просторі.

Використання лінійних і каркасних моделей обмежувало область використання CAD/CAM систем, оскільки автомобільна і авіаційна промисловості вимагали обробки складних просторових поверхонь. Тому були розроблені системи і методики поверхневого моделювання.

У поверхневому моделюванні спочатку створюються і необхідним чином модифікуються поверхні, що описують окремі елементи модельованого об'єкта. Ці поверхні обрізають по лініях перетину, сполучають один з одним поверхнями переходу або округлення, виконують інші операції і збирають із них оболонку. Вона може відображати лише деяку головну частину модельованого об'єкта і не обов'язково має бути замкнутою.

У загальному вигляді поверхню, як і лінію, також можна представити векторною функцією двох скалярних аргументів u і v :

$$r(u, v) = \sum_{i=1}^3 r_i(u, v) e_i \quad u, v \in \Omega, \quad (2)$$

де Ω – область зміни параметрів поверхні. Компоненти $r_i(u, v)$ радіус-вектора точки поверхні $r(u, v)$ вважають за однозначні безперервні функції параметрів u і v . Область зміни параметрів Ω поверхні в загальному випадку є довільною зв'язаною двовимірною областю на площині, обмеженою двовимірними контурами [3].

Недоліком методу поверхневого моделювання є те, що така модель об'єкта не містить інформації про зв'язки між сусідніми поверхнями. Часто САМ система не здатна створити правильну траєкторію руху інструменту через те, що суміжні грані одного тіла, які повинні перетинатися по його ребру, містять “розрив” на місці, де має бути це ребро, що потребує додаткових дій по “зшиванню” поверхонь.

У твердотільному моделюванні [3, 4] від початку працюють не з окремими поверхнями, а з оболонками тіл, які повністю описують поверхні модельованих об'єктів, що відокремлюють їх внутрішній об'єм від решти частини простору. Якщо при моделюванні тіл використовуються поверхні, які можна описати рівняннями в координатній формі (наприклад, поверхні другого порядку, тора та ін.), то таке представлення об'єктів називають конструктивною твердотільною геометрією (Constructive Solid Geometry, CSG). Конструктивна твердотільна геометрія оперує примітивами, тобто простими тілами, над якими можна виконувати різні операції (насамперед, булеві операції). А представлення поверхонь в неявному вигляді дозволяє отримати лінії їх перетину в аналітичній формі. За

допомогою конструктивної твердотільної геометрії можна моделювати більшість промислових деталей, за винятком деталей, що містять поверхні складної форми, які не можна описати аналітично.

Найбільш загальний підхід до опису тіл полягає в представленні тіла за допомогою меж (Bounded Representation, B-Rep) – сукупністю оболонки, що обмежують об'єм тіла, поверхні і ребра яких задані параметрично. При цьому поверхні довільної форми, що стикаються одне з одним, містять повну інформацію про свої межі і зв'язки з сусідніми елементами (топологія об'єкта). Такий метод представлення тіл дає можливість виконувати над ними операції, зберігаючи при цьому єдину модель їхнього внутрішнього устрою, і дозволяє моделювати об'єкти довільної форми і складності.

Недоліками поверхневого і твердотільного методів побудови тривимірних об'єктів по відношенню до моделювання процесів обробки деталей є використання булевих операцій, які при збереженні “дерев побудов” і повної топології об'єктів викликають велику складність і трудомісткість обчислень.

Цих недоліків можна більшою частиною уникнути, використовуючи представлення моделей об'єктів за допомогою просторового поділу на складові елементи (Spatial partitioning representation), до яких належать полігональне моделювання, хмари точок, воксельні і дексельні моделі, а також моделі пошарового представлення об'єктів.

Більшість об'єктів можна змоделювати, використовуючи для опису криволінійних поверхонь лише плоскі пластини трикутної або чотирикутної форми, апроксимуючи початкову поверхню із достатньою точністю. Таке представлення тіл називають [3, 5] плоскогранним (Faceted Representation) або полігональним (Polygonal Representation). Полігональне представлення моделей тіл широко застосовується CAD/CAM системах і в тривимірній комп'ютерній графіці.

Хмари точок (Point Clouds) є наборами вершин в тривимірній системі координат, які, як правило, призначені для представлення зовнішньої поверхні об'єкта. Найчастіше такий спосіб представлення даних про об'єкт використовують при 3D скануванні та при перевірці якості обробки поверхонь.

Недоліком методів представлення об'єктів за допомогою хмар точок і полігонів є невпорядкованість масивів даних, оскільки координати вершин у більшості випадків визначені хаотично.

Для більш структурованого представлення даних були розроблені воксельні і дексельні моделі представлення тривимірних об'єктів.

Воксель [5...7] – це об’ємний елемент (volume element, voxel), який представляє куб регулярної сітки в тривимірному просторі. Він є тривимірним аналогом пікселя, який представляє елемент даних двовимірного зображення. Дотримуючись конвенції назв піксель і воксель у середині 80-х років було введено поняття дексель як скорочення від елемент-глибини (depth element, dexel). Дексельне представлення об’єкта будується на основі обчислень перетинів променя з тілом [5, 8]. Для заданого об’єкта з певного напрямку генеруються паралельні промені через задані відстані і перетинаються з об’єктом. У кожному промені дві точки на початку і на кінці відрізка, який повністю знаходиться всередині тіла об’єкта створюють дексель. Всі декселі кожного променя сортуються і формують список декселів, а всі списки декселів утворюють матрицю. При використанні такого методу спостерігається деяка втрата якості інформації, на ділянках поверхні нормалі яких перпендикулярні до напрямку променя. Для подолання цієї проблеми використовують тридексельну (Triple-dexel, Tri-dexel) модель, у якій промені генеруються не по одному, а по трьох напрямках.

Як воксельні, так і дексельні моделі представлення тривимірних об’єктів широко використовуються в САМ системах для відображення процесу зняття шару матеріалу із заготовки, але не для моделювання процесу зрізування припуску. Пояснюється це тим, що для досягнення заданої точності необхідно обробити великі масиви даних, оскільки обидва ці способи використовуються для опису всього об’єму тіла. Так приблизно оцінити об’єм інформації, необхідний для представлення деякого тіла у вигляді множини вокселів, можна наступною залежністю [5, 8]:

$$V_B = N_X \times N_Y \times N_Z, \quad (3)$$

де N_X , N_Y , N_Z – це кількість точок воксельної сітки об’єкта вздовж відповідної осі. Аналогічно, для тридексельної моделі об’єм даних оцінюють такою залежністю:

$$V_D = \sqrt{N_X \times N_Y + N_Y \times N_Z + N_Z \times N_X} \times N_D, \quad (4)$$

де N_X , N_Y , N_Z – це кількість точок матриці декселів об’єкта вздовж відповідної осі, а N_D – найбільша кількість декселів, приєднана до елемента матриці декселів.

Легко порахувати, що, якщо для опису одного вокселя використовувати 1 біт даних, то для представлення у вигляді масиву вокселів заготовки із габаритними розмірами 100 мм із точністю 0,01 мм необхідно близько 10^{12} біт. І хоча вважається, що дексельна модель дозволяє на порядки скоротити об’єми обчислень, але і вона занадто

неефективна для комп'ютерного моделювання процесів обробки деталей різанням в реальному часі і з достатньою точністю.

Вирішення задачі. Не зважаючи на те, що в принципі будь-який із розглянутих вище методів геометричного представлення моделей тривимірних об'єктів може бути використаний для моделювання процесу обробки виробу, через велику складність і об'ємність обчислень на практиці вони або зовсім не використовуються, або використовуються із значними обмеженнями. Для усунення цього в даній роботі пропонується метод, оснований на аналогії із методом шарового формування об'ємних моделей із листових матеріалів – так званої LOM технології (Laminated Object Manufacturing). Це одна із технологій швидкого прототипування виробів (Rapid Prototyping), яка полягає в тому, що 3D модель деталі розбивається на шари невеликої товщини, в результаті чого отримують набір плоских перетинів цієї деталі. Далі на спеціальній установці із листового матеріалу вирізаються контури перетинів і послідовно склеюються в реальну копію виробу з точністю до товщини шару [9].

Якщо тривимірну модель заготовки деталі (рис. 2) послідовно із деяким кроком Δ_p розсікати в заданому напрямку площиною перетину, то отримаємо множину перерізів P_i , які з точністю Δ_p описують геометричну модель заготовки. Кожен переріз P_i містить один або декілька плоских контурів K_{ij} , які по суті є впорядкованими множинами двовимірних ліній L_k . Кожна лінія L_k представлена або в аналітичному, або в параметричному вигляді, залежно від того, яким способом описана модель заготовки. Тому не має ніяких труднощів у тому, щоб, у свою чергу, кожну лінію апроксимувати із точністю Δ_p множиною точок. В результаті отримаємо повністю впорядковану множину точок, яка із заданою точністю описує поверхні тривимірної моделі заготовки.

Очевидно, що запропонований метод опису тривимірної моделі об'єкта більш ефективний, ніж описані вище воксельні і дексельні моделі, оскільки корелюється із площею поверхні заготовки, а не із її об'ємом. Приблизно оцінити об'єм інформації можна такою залежністю:

$$V_D = \pi \times N_x + 2 \times N_y \times N_z, \quad (5)$$

де N_x , N_y , N_z – це кількість точок об'єкта вздовж відповідної осі. Отже для представлення у вигляді масиву точок заготовки із

габаритними розмірами 100 мм із точністю 0,01 мм необхідно близько $2 \cdot 10^8$ біт.

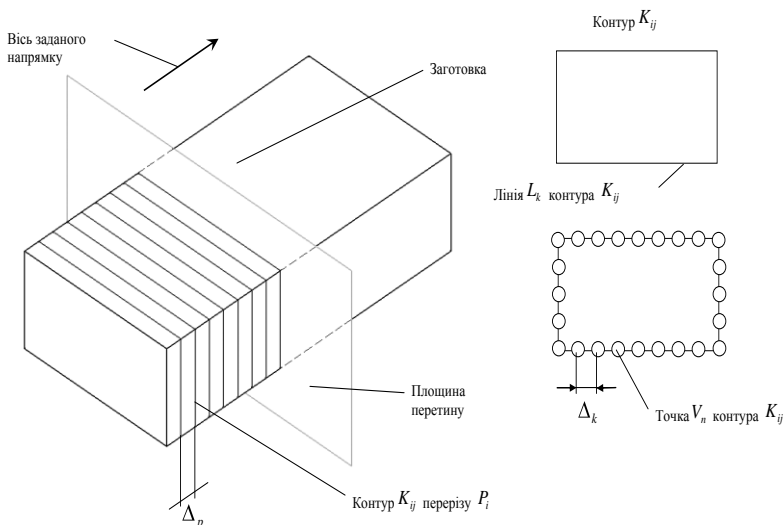


Рис. 2. Декомпозиція тривимірної моделі виробу на множини контурів і точок

Для перевірки роботи запропонованого методу була розроблена прикладна програма, інтерфейс якої показано на рисунку 3. Програма є плагіном, який підключається до 3D CAD системи Powershape компанії Delcam. Використовуючи програмні системи, програма підключається до відкритого документу, аналізує тривимірну модель заготовки і виконує розбиття заготовки на масив контурів із заданим кроком розбиття. В подальшому планується завершити і апроксимацію ліній контурів точками.

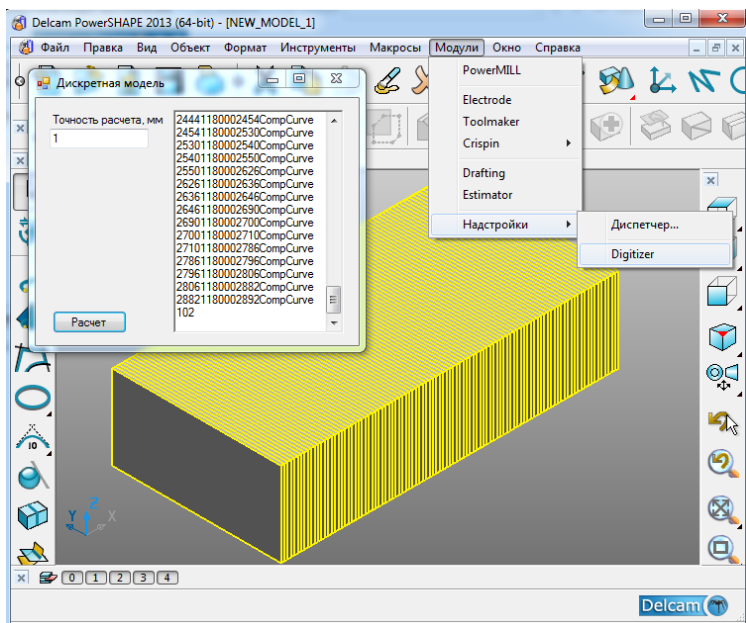


Рис. 3. Інтерфейс прикладної програми

Висновок. Проведений аналіз методів представлення геометричних об'єктів при проектуванні деталей в CAD/CAM системах показав, що в принципі для моделювання процесів різання можна використовувати будь-які дискретні моделі опису об'єктів. Але моделі тривимірних об'єктів на основі LOM-технологій після запропонованої модернізації найбільш підходять до процедур моделювання процесів зрізування припуску в реальному часі.

Список використаної літератури:

1. *Петраков Ю.В.* Развитие САМ систем автоматизированного програмування верстатів з ЧПК / *Ю.В. Петраков.* – К. : Січкар, 2011. – 222 с.
2. 3D моделирование для САМ систем // Вісник СевНТУ / Машиноприладобудування та транспорт. – Севастополь, 2011. – Вип. 118.– С. 119–126.
3. *Голованов Н.Н.* Геометрическое моделирование / *Н.Н. Голованов.* – М. : Изд-во физ.-мат. л-ры, 2002. – 472 с.

4. *Stroud I.* Solid Modelling and CAD Systems / *I.Stroud, H.Nagy* // Springer. – Berlin, 2011.
5. *Zhang W.* Virtual prototyping with surface reconstruction and freeform geometric modeling using level-set method. Ph.D. Thesis / *W.Zhang* // Missouri University of Science and Technology. – 2008.
6. *Jang D.* Voxel-Based Virtual Multi-Axis Machining / *D.Jang, K.Kim, J.Jung* // Advanced Manufacturing Technology. – № 10, Vol. 16. – 2000. – Pp. 709–713.
7. *Yau H.T.* Adaptive NC Simulation for Multi-Axis Solid Machining / *H.T. Yau, L.S. Tsou, Y.C. Tong* // Computer Aided Design and Applications 2(1–4), 95–104 (2005).
8. *Ren Y.* Feature Conservation and Conversion of Tri-dexel Volumetric Models to Polyhedral Surface Models / *Y.Ren, W.Zhu and Y.-S. Lee.* – № 6, Vol. 5. – 2008. – Pp. 932–941.
9. *Лавров М.* ГеММа-3D и LOM-технология / *М.Лавров* // САПР и графика. – 2002. – № 9. – С. 8–9.

СИМУТА Роман Русланович – кандидат технічних наук, старший викладач кафедри технології машинобудування Національного технічного університету України «КПІ».

Наукові інтереси:

- моделювання процесів оброблення (фрезеруванням) поверхонь деталей машин на верстатах з ЧПК;
- автоматизовані системи створення управляючих програм.

ПЕТРАКОВ Юрій Володимирович – доктор технічних наук, завідувач кафедри технології машинобудування Національного технічного університету України «КПІ».

Наукові інтереси:

- управління процесами оброблення (лезвийна, абразивна тощо) деталей на верстатах з ЧПК;
- інтегровані CAD/CAM системи.

Стаття надійшла до редакції 28.03.2012

Сімута Р.Р., Петраков Ю.В. Моделювання поверхонь деталей в CAD/CAM системах

Сімута Р.Р., Петраков Ю.В. Моделирование поверхностей деталей в CAD/CAM системах

Simuta R.R., Petrakov Y.V. Design of detail surfaces in cad-cam systems

УДК 62-50:621.91:004.924

Моделирование поверхностей деталей в CAD/CAM системах / Р.Р. Симута, Ю.В. Петраков

Представлен обзор методов расчета геометрических объектов при проектировании деталей в CAD системах. Выполнен их анализ с точки зрения использования при моделировании процесса срезания припуска с получением всех необходимых характеристик процесса резания независимо от вида обработки. Доказано, что геометрические модели трехмерных объектов на основе LOM-технологий с использованием предложенной методики наиболее подходят к процедурам моделирования процессов срезания припуска в реальном времени.

УДК 62-50:621.91:004.924

Design of detail surfaces in CAD/CAM systems / R.R. Simuta, Y.V. Petrakov

The review of calculation methods of geometric parameters in the CAD/CAM systems is presented . Their analysis is executed from point of using for simulation of cutting process of removal rate with the receipt of all of necessary characteristics of cutting process regardless of machining. It is well-proven that the geometrical models of three-dimensional objects on the basis of LOM-technologies with the use of the proposed method are more effective to procedures of design of cutting removal rate process of rate in real time.