

УДК 004.946

Н.М. АУШЕВА, Б.М. ПЕДОС

Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут"

## ІНТЕРАКТИВНЕ УПРАВЛІННЯ ПОВЕРХНЯМИ ЗАСОБАМИ МОБІЛЬНИХ ПРИБОРІВ

*Робота присвячена проблемі геометричного моделювання поверхонь та інтерактивного керування формою за допомогою мобільних пристроїв. У роботі розглянуто методи створення складних геометричних об'єктів на основі порцій Без'є та описано метод гладкого склеювання порцій. Розглянуто способи створення інтерфейсу користувача системи керування візуальними даними та запропоновано підхід до створення гібридного інтерфейсу для інтерактивного керування поверхнями загальнодоступними засобами. Запропонований підхід передбачає об'єднання можливостей керування графічними даними існуючих інтерфейсів мобільних телефонів, а також додає засоби інтерактивного керування тривимірними об'єктами за рахунок використання пристроїв позиціонування (гіроскопа та акселерометра).*

*Ключові слова:* геометричне моделювання, криві Без'є, порції Без'є, мобільні пристрої, інтерактивне керування.

Н.Н. АУШЕВА, Б.Н. ПЕДОС

Национальный технический университет Украины "Киевский политехнический институт"

## ІНТЕРАКТИВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ПОВЕРХНОСТЯМИ СРЕДСТВАМИ МОБИЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ

*Робота посвящена проблеме геометрического моделирования поверхностей и интерактивного управления формой с помощью мобильных устройств. В работе рассмотрены методы создания сложных геометрических объектов на основе порций Безье и описан метод гладкого склеивания порций. Рассмотрены способы создания интерфейса пользователя системы управления визуальными данными и предложен подход к созданию гибридного интерфейса для интерактивного управления поверхностями общедоступными средствами. Предложенный подход предполагает объединение возможностей управления графическими данными существующих интерфейсов мобильных телефонов, а также добавляет средства интерактивного управления трехмерными объектами за счет использования устройств позиционирования (гироскопа и акселерометра).*

*Ключевые слова:* геометрическое моделирование, кривые Безье, порции Безье, мобильные устройства, интерактивное управление.

N.M. AUSHEVA, B.M. PEDOS

National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute"

## INTERACTIVE SURFACES CONTROL BY MEANS OF MOBILE DEVICES

*The work deals with the problem of geometric modeling of surfaces and interactive form management by means of mobile devices. In this work the methods of creating complex geometry-based portions of Bezier and smooth portions bonding method were described. The methods of creating the user interface of the visual data management system and an approach to creating hybrid interface for interactive surfaces control by generally available means was proposed. The approach will combine graphical data management capabilities of existing mobile phone's interfaces and capabilities of three-dimensional objects interactive control by using positioning devices (gyroscope and accelerometer).*

*Keywords:* geometric modeling, Bezier curves, Bezier portions, mobile devices, interactive control.

### Постановка проблеми

Бурхливий розвиток засобів обробки інформації, підвищення рівня автоматизації процесів виробництва і керування призводить до зростання ролі людського чинника. У сучасних умовах візуалізація даних стала основним способом взаємодії користувача з інформаційною системою. Більшість сучасних CAD/CAM систем не мають механізмів інтерактивного керування геометричними об'єктами загальнодоступними засобами. Тому доцільно провести дослідження стосовно використання сучасних мобільних пристроїв для керування об'єктами з метою створення алгоритмічного та програмного комплексу для інтерактивного керування поверхнями за допомогою мобільних телефонів.

**Аналіз останніх досліджень**

У роботі [4] описані загальні методи створення математичних моделей складних геометричних форм. Автором роботи [1] досліджуються методи побудови гладких поверхонь на основі порції Без'є. Розроблена методика моделювання дозволяє створювати поверхні з високим порядком гладкості без розрахунку похідних у каркасних точках. Праці [5] та [6] описують методи створення інтерактивного інтерфейсу користувача для маніпулювання графічними даними. У роботі [6] для керування складними поверхнями у тривимірному просторі пропонується використовувати гіроскоп та акселерометр, що має надати системі більшої інтерактивності.

**Формулювання цілей дослідження (постановка завдання)**

Розробка технології керування складними геометричними поверхнями засобами мобільних пристроїв.

**Основна частина**

В основі форм сучасних продуктів виробництва, промислового обладнання та побутових товарів лежать поверхні довільної форми. При виробництві для створення складних виробів необхідно отримувати ці поверхні у вигляді математичних моделей. Зазвичай довільна форма задається за допомогою криволінійних поверхонь.

Поверхні другого порядку мають досить обмежені можливості при створенні складних геометричних форм. Бікубічні поверхні Кунса надають більш гнучкий і потужний засіб розробки поверхонь, однак їх практичне використання ускладнюється необхідністю задання точної, інтуїтивно-неочевидної математичної інформації, наприклад рівнянь кривих, що не надає можливості керування формою поверхні в інтерактивному режимі [4].

Завдяки простоті задання і виконання операцій, поверхні Без'є знайшли широке застосування в комп'ютерній графіці для моделювання гладких поверхонь. Поверхня Без'є цілком лежить в опуклій оболонці своїх опорних точок. Ця властивість дозволяє здійснювати інтуїтивно зрозуміле управління параметрами поверхні в графічному інтерфейсі за допомогою її опорних точок. Крім того, афінні перетворення поверхні (перенесення, масштабування та ін.) також можуть бути виконані через застосування відповідних перетворень до опорних точок. Саме тому для створення комп'ютерних моделей складних геометричних форм були використані поверхні Без'є.

Поверхню Без'є (рис. 1) будемо задавати у наступному вигляді [2]:

$$Q(u, v) = \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^m B_{i,j} J_{i,n}(u) K_{j,m}(v) \tag{1}$$

де  $u, v \in (0, 1)$ , а  $J_{i,n}$  та  $K_{j,m}$  – багаточлени Бернштейна в параметричних напрямках  $u$  та  $v$ , а  $B_{i,j}$  – вершини сітки контрольних точок.

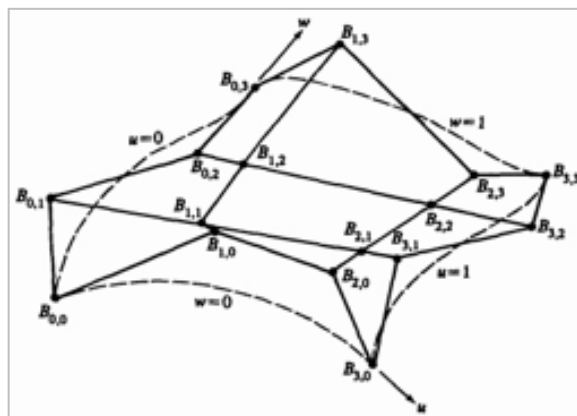


Рис. 1. Поверхня Без'є та вершини характеристичного многокутника

Багаточлени Бернштейна розраховуються на основі рівнянь [2]:

$$\begin{aligned}
 J_{n,i}(u) &= \binom{n}{i} u^i (1-u)^{n-i} \\
 K_{m,j}(v) &= \binom{m}{j} v^j (1-v)^{m-j} \\
 \binom{n}{i} &= \frac{n!}{i!(n-i)!} \\
 \binom{m}{j} &= \frac{m!}{j!(m-j)!}
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

Елементи  $B_{ij}$  – це вершини сітки контрольних точок, що задають поверхню. Індeksi  $n$  та  $m$  на одиницю менше числа вершин багатокутника в напрямках  $u$  та  $v$ , відповідно (рисунок 1).

Найбільш поширеними є бікубічні поверхні Без'є ( $n = m = 3$ ) з 16 контрольними точками. Поверхні більш високих порядків для практичних цілей (в тому числі і при комп'ютерному моделюванні) використовуються рідше, так як при обробці вимагають більшого обсягу обчислень, і відповідно, потребують значно більше часу для моделювання складних об'єктів [3].

Існує досить багато складних за формою геометричних тіл та об'єктів, для яких не існує аналітичного задання. Такими об'єктами є кузови автомобілів, фюзеляжі літаків, корпуси кораблів, скульптури тощо. Для побудови таких геометричних форм окремі поверхні можуть бути послідовно об'єднані в кусково-гладкі поверхні.

Для побудови гладкої поверхні необхідно виконати склеювання за першим порядком гладкості. Розглянемо умови гладкості для порції Без'є на основі кривих третього порядку.

Представимо чотирикутну порцію Без'є у вигляді [1]:

$$r(u, v) = r_0(1-u)^3 + 3r_1u(1-u)^2 + 3r_2u^2(1-u) + r_3u^3, \tag{3}$$

де

$$\begin{aligned} r_0 &= r_{00}(1-v)^3 + 3r_{01}v(1-v)^2 + 3r_{02}v^2(1-v) + r_{03}v^3, \\ r_1 &= r_{10}(1-v)^3 + 3r_{11}v(1-v)^2 + 3r_{12}v^2(1-v) + r_{13}v^3, \\ r_2 &= r_{20}(1-v)^3 + 3r_{21}v(1-v)^2 + 3r_{22}v^2(1-v) + r_{23}v^3, \\ r_3 &= r_{30}(1-v)^3 + 3r_{31}v(1-v)^2 + 3r_{32}v^2(1-v) + r_{33}v^3. \end{aligned} \tag{4}$$

Нехай задано порції  $r^{(1)}(u, v)$  та  $r^{(2)}(u, v)$ . Для того, щоб гладко склеїти дві порції, необхідно, щоб три дотичні вектори  $r_u^{(1)}$ ,  $r_u^{(2)}$  та  $r_v$  лежали в одній дотичній площині (рисунок 2) [4].

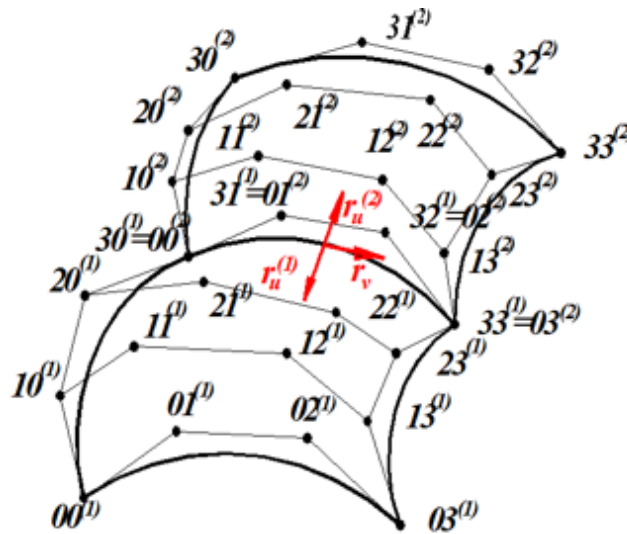


Рис. 2. Склеювання порцій Без'є

Для цього необхідно розраховувати дотичний вектор до другої порції на основі дотичних векторів до першої порції [1]:

$$r_u^{(2)}(0, v) = \lambda(v)r_u^{(1)}(1, v) + \mu(v)r_v^{(1)}(1, v), \tag{5}$$

де  $\lambda(v)$  та  $\mu(v)$  – деякі скалярні функції.

На основі загальної умови були виведені умови склеювання порцій Без'є через точки характеристичних чотирикутників [1]:

$$\begin{aligned} (r_{10}^{(2)} - r_{30}^{(1)}) &= \lambda(r_{20}^{(1)} - r_{30}^{(1)}) + 3\mu_0(r_{31}^{(1)} - r_{30}^{(1)}) \\ (r_{13}^{(2)} - r_{33}^{(1)}) &= \lambda(r_{23}^{(1)} - r_{33}^{(1)}) + 3\mu_1(r_{33}^{(1)} - r_{32}^{(1)}) \\ (r_{11}^{(2)} - r_{31}^{(1)}) &= \lambda(r_{21}^{(1)} - r_{31}^{(1)}) + 2\mu_0(r_{32}^{(1)} - r_{31}^{(1)}) + \mu_1(r_{31}^{(1)} - r_{30}^{(1)}) \\ (r_{12}^{(2)} - r_{32}^{(1)}) &= \lambda(r_{22}^{(1)} - r_{32}^{(1)}) + \mu_0(r_{33}^{(1)} - r_{32}^{(1)}) + 2\mu_1(r_{32}^{(1)} - r_{31}^{(1)}) \end{aligned} \tag{6}$$

При  $\lambda(v) = 0$  та  $\mu(v) = 0$  виконується умова колінеарності векторів при перетині граничної кривої (рисунок 3).

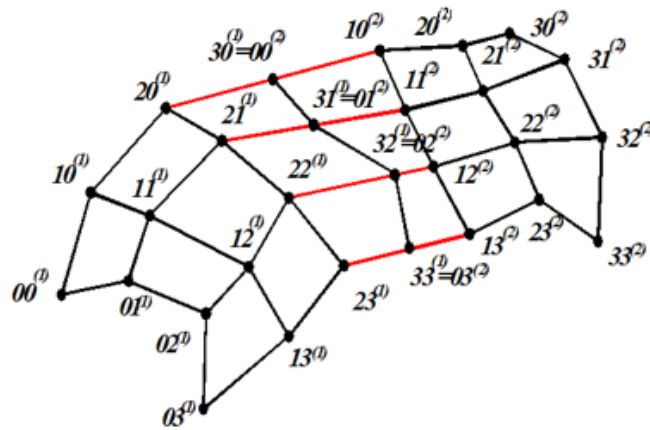


Рис. 3. Гладке склеювання порцій Без'є

Для керування поверхнями необхідно розробити зручний та інтуїтивно зрозумілий інтерфейс, що дозволить би маніпулювати геометричними об'єктами в інтерактивному режимі.

Інтерактивність – це поняття, що розкриває характер і ступінь взаємодії між об'єктами. В інформаційних системах інтерактивність – це здатність системи адекватно реагувати на дії користувача, виконуючи ту чи іншу операцію.

Інтерактивне керування геометричними об'єктами (або поверхнями) передбачає їх налаштування без прямої зміни параметрів, а за допомогою зрозумілих людині дій та жестів. Так, наприклад, для повороту об'єкту необхідно повернути пристрій вводу, а не налаштувати відповідний кут повороту.

Система інтерактивного керування складними геометричними об'єктами, заснована на використанні мобільних пристроїв, дозволить створити пульт дистанційного керування із мобільного телефону шляхом використання усіх видів інтерфейсу (графічного, сенсорного, multitouch тощо), що надає телефон [5].

Текстовий інтерфейс дозволяє керувати графічними даними лише у вигляді команд (набору літерно-цифрових символів). Графічний інтерфейс користувача надає більш потужні можливості при роботі з графічними даними, але не дозволяє у зручний спосіб маніпулювати тривимірними об'єктами. Сенсорний інтерфейс надає великі можливості для керування об'єктами у звичний для людини спосіб за рахунок використання природних жестів, але, з іншого боку, не надає засобів для керування поверхнями у тривимірному просторі.

Тому для інтерактивного керування поверхнями необхідно створити гібридний інтерфейс користувача, що об'єднав би можливості керування графічними даними існуючих інтерфейсів, а також додав би засоби інтерактивного керування тривимірними об'єктами.

Використання фізичних пристроїв позиціонування (гіроскопа та акселерометра) мобільного телефону дозволяє відстежувати зміну положення телефону у просторі та його орієнтацію, що надає можливість розширити способи взаємодії з користувачем на основі даних про ці маніпуляції. Такий підхід до побудову інтерфейсу користувача дозволяє зробити керування розміщенням об'єкта у просторі більш інтуїтивно зрозумілим та подібним людським рухам у реальному житті [6].

Об'єднання усіх наведених вище технологій, наявних майже у будь-якому сучасному мобільному пристрої, дозволяє створити гібридний інтерфейс для інтерактивної взаємодії користувача з системою керування геометричними об'єктами засобами мобільних телефонів. У такій системі multitouch-жести відповідають за керування камерою, гіроскоп – за обертання керованого об'єкта навколо своєї осі, а акселерометр – за переміщення об'єкта у просторі.

Графічний інтерфейс користувача використовується як основа для побудови механізмів взаємодії з програмним комплексом. Він надає базовий функціонал для керування системою, але залишає простір для розширення способів взаємодії користувача з програмним комплексом.

Для керування орієнтацією геометричного об'єкту у тривимірному просторі використовується гіроскоп, що дозволяє зробити керування розташуванням інтуїтивно зрозумілим та наближеним до маніпулювання об'єктами у реальному житті.

Програмний комплекс для інтерактивного керування поверхнями передбачає наявність двох основних складових: програмного забезпечення для побудови складних геометричних об'єктів та мобільного додатку для інтерактивного керування процесом побудови, маніпулювання отриманими поверхнями та їх віддаленого налаштування.

Програмне забезпечення для побудови гладких поверхонь було створене на базі Unity3D, а мобільний додаток був розроблений під мобільну платформу iOS. Взаємодія двох програм реалізована через

мережу. На рис. 4 зображена поверхня, створена засобами розробленого програмного забезпечення. Поверхня складатиметься з чотирьох порцій, гладко склеєних між собою.

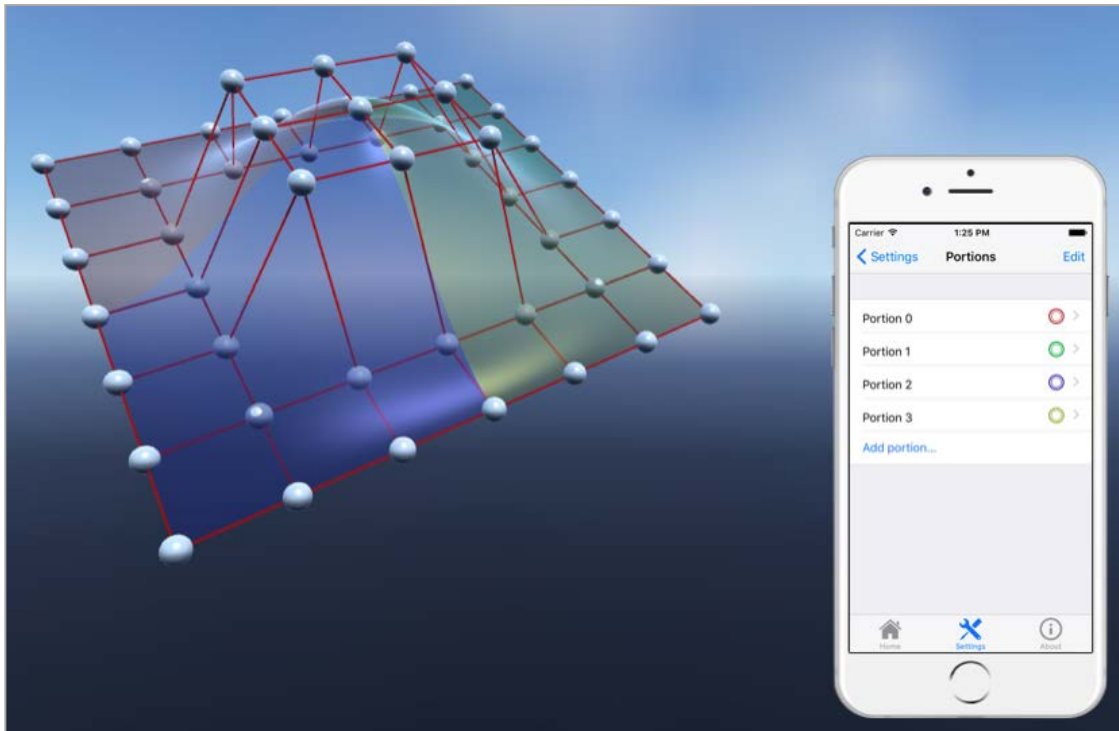


Рис. 4. Інтерфейс створеного програмного забезпечення

#### Висновки

Аналіз існуючих методів побудови геометричних моделей показав, що для побудови складних геометричних форм в системі інтерактивного керування поверхнями доцільно використовувати поверхні Без'є. Дослідження можливостей сучасних мобільних пристроїв стосовно засобів керування геометричними об'єктами дозволили розробити гібридний інтерфейс користувача за рахунок поєднання існуючих засобів людинно-машинної взаємодії, що надаються мобільними телефонами, та інструментів відстеження зміни положення мобільного пристрою у просторі. Таке поєднання дозволяє надати системі управління поверхнями інтуїтивно зрозумілих та звичних для людини засобів керування, а також досягається більш висока динамічність системи, необхідна для підтримки інтерактивного процесу проектування.

#### Список використаної літератури

1. Аушева Н.М. Інтерактивне конструювання криволінійних обводів та гладких поверхонь / Н.М. Аушева, Р.Б. Берлінський // Водний транспорт. Збірник наукових праць Київської державної академії водного транспорту. – К.: КДАВТ, 2001. – №2. – С. 155-159
2. Бляшке В. Дифференціальна геометрия и геометрические основы теории относительности Эйнштейна / В. Бляшке. М.: Наука – Главная редакция общетехнической литературы и номографии, 1935. – 330 с.
3. Ильин В.А. Аналитическая геометрия / В.А. Ильин, Э.Т. Позняк – Москва: Наука, 1981. – 232 с.
4. Роджерс Д. Математические основы машинной графики / Дж. Адамс, Д. Роджерс. – М.: Мир, 2001. – 604 с.
5. Педос Б.М. Система інтерактивного керування геометричними об'єктами за допомогою мобільних пристроїв / Б.М. Педос., Н.М. Аушева // Сучасні аспекти розробки програмного забезпечення: Збірник наукових праць III науково-практичної дистанційної конференції молодих вчених і фахівців з розробки програмного забезпечення (м. Черкаси, 15 квітня 2016 р). – Черкаси: видавець Чабаненко Ю.А., 2016. – 182 с.
6. Педос Б.М. Система інтерактивного керування геометричними об'єктами за допомогою мобільних пристроїв / Б.М. Педос., Н.М. Аушева // Сучасні проблеми наукового забезпечення енергетики: Матеріали XIV міжнародної науково-практичної конференції аспірантів, магістрантів і студентів, присвяченої 85 річчю теплоенергетичного факультету (м. Київ, 18-21 квітня 2016 р). – Том. 2. – НТУУ "КПІ", 2016. – С. 60.