

УДК 514.18

СИСТЕМА ДЕФОРМАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ НА ОСНОВІ КРИВИХ БЕЗЬЄ

Сидоренко Ю.В., к.т.н.,

suliko3@ukr.net, ORCID: 0000-0002-1953-0410

Залевська О.В., к.т.н.,

Zalevska_O_V@i.ua, ORCID: 0000-0002-3163-1695

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»(Україна)

У статті приводяться результати роботи комп'ютерної системи деформаційного моделювання тривимірних об'єктів. В основу системи покладено апарат деформування об'єктів на основі застосування кривих Безьє.

В зв'язку з розвитком сучасних технологій та нарощуванням потужності комп'ютерів все більше набувають актуальності задачі, пов'язані з моделюванням деформації складних тіл та їх поведінки в режимі реального часу.

Функціонал деформаційного моделювання має велика кількість середовищ роботи з 3D графікою, такі як Autodesk 3ds Max, Autodesk Maya, StechUp, Blender та інші. Ці системи є прикладом професійного програмного забезпечення, яке призначене для різноманітних цілей. В більшості випадків конкретні утиліти для деформаційного моделювання входять в платний набір інструментів, які потрібно завантажувати окремо, та часто не використовують весь арсенал можливостей своїх програм-середовищ. Деякі з даних систем мають безкоштовні пробні версії з обрізаним функціоналом, які підійдуть тільки для ознайомчих цілей конкретної задачі деформаційного моделювання об'єктів.

Метою створення системи було автоматизувати процес проведення деформації тривимірних об'єктів з реалізацією алгоритму на основі використання кривих і поверхонь Безьє, що дозволило б наочно відслідковувати зміну даних об'єктів, та оптимізувати роботу даного методу.

В результаті роботи було досліджено властивості кривих Безьє і поліномів Бернштейна, та поверхонь Безьє на основі поліномів Бернштейна від двох змінних. На основі досліджень було розроблено програмний продукт на мові програмування JavaScript для відтворення геометричного контуру тривимірної моделі об'єкта. Система є кроссплатформенною браузерною програмою, що візуалізує деформування 3D-об'єктів в режимі реального часу.

Ключові слова: деформаційне моделювання, тривимірний об'єкт, крива Безьє, поверхня Безьє, поліном Бернштейна.

Постановка проблеми. Існуючі системи, такі як AutoDesk 3ds Max, Autodesk Maya, StechUp, Blender та інші, мають потужний арсенал засобів для роботи з 3D графікою, моделюванням та анімацією. Але тривимірні графічні редактори, зазвичай, громіздкі, ресурсозатратні та мають високу ціну, а також не виконують ряд специфічних завдань. З недоліків, крім дорожнечі, можна назвати й те, що у більшості з них діє система підписок. Ці системи займають багато місця на комп'ютері, а тому робота всіх додатків проходить дуже повільно. В деяких програмах засіб для деформаційного моделювання (плагін) необхідно купляти та встановлювати окремо. Тому виникла необхідність створити систему деформаційного моделювання об'єктів на основі застосування кривих Безьє, що дозволило б наочно відслідковувати зміну тривимірних об'єктів, та оптимізувати роботу даного методу, уникаючи цих недоліків.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У попередніх публікаціях було розглянуто розв'язання задач деформаційного моделювання із використанням апарату політочкових перетворень, показано способи полікоординатного моделювання складних об'єктів на основі політочкових відображень відрізків прямих [1], шляхи удосконалення політочкового способу відображення деформацій [2], розглянуто питання підвищення точності алгоритму політочкових перетворень [3], наведено приклади застосування систем деформаційного моделювання [4]. У роботі [5] було розглянуто способи побудови кривих Без'є при моделюванні тривимірних об'єктів. Розширення варіативності функціоналу відстеження процесів деформування об'єктів є важливою проблемою у наш час.

Формулювання цілей статті. Метою дослідження є удосконалення апарату деформаційного моделювання за рахунок розробки алгоритму побудови деформації зображень за допомогою кривих та поверхонь Безьє. Для відстеження результатів аналізу властивостей деформації об'єктів необхідно створити комп'ютерну систему з реалізацією даного апарата.

Основна частина. Питанням деформаційного моделювання у наш час приділяється багато уваги, оскільки методи побудови зміни форми об'єкта набули широкого використання в різноманітних галузях, від дизайну та архітектури до комп'ютерних ігор.

До методів деформаційного моделювання можна віднести способи побудови змінених об'єктів на основі полікоординатних відображень [1], зокрема, за допомогою апарату політочкових перетворень [2-3]. Ці методи отримали широке впровадження, наприклад, у медицині [4].

У даній роботі буде розглянуто способи відображення тривимірних об'єктів із застосуванням кривої Безьє.

Раніше були розглянуті способи та підходи при роботі з тривимірними об'єктами за допомогою кривих Безьє [5].

Розглянемо математичний апарат системи моделювання процесів деформації геометричних об'єктів на основі кривих Безьє та поліномів Бернштейна.

Крива Безьє — параметрична крива вигляду:

$$\mathbf{B}(t) = \sum_{i=0}^n b_{i,n}(t) \mathbf{P}_i, \quad t \in [0, 1]$$

де \mathbf{P}_i — опорні вершини,

$b_{i,n}(t) = \binom{n}{i} t^i (1-t)^{n-i}$ - поліноми Бернштейна, які є базисними для кривої Безьє.

Кубічні криві Безьє мають вигляд:

$$\mathbf{B}(t) = (1-t)^3 \mathbf{P}_0 + 3t(1-t)^2 \mathbf{P}_1 + 3t^2(1-t) \mathbf{P}_2 + t^3 \mathbf{P}_3, \quad t \in [0, 1].$$

Для розуміння розробки застосування потрібно навести алгоритм де Кастельжо. Отже, його можна записати так. Спочатку необхідно отримати ламану, послідовно проходячи всі опорні точки $\mathbf{P}_0, \dots, \mathbf{P}_1$ кривої Безьє. Всі відрізки отриманої ламаної необхідно поділити у певному співвідношенні, за рахунок чого ламана буде мати на один відтинок менше. Цю процедуру необхідно повторювати поки точка не стане однією (рис. 1).

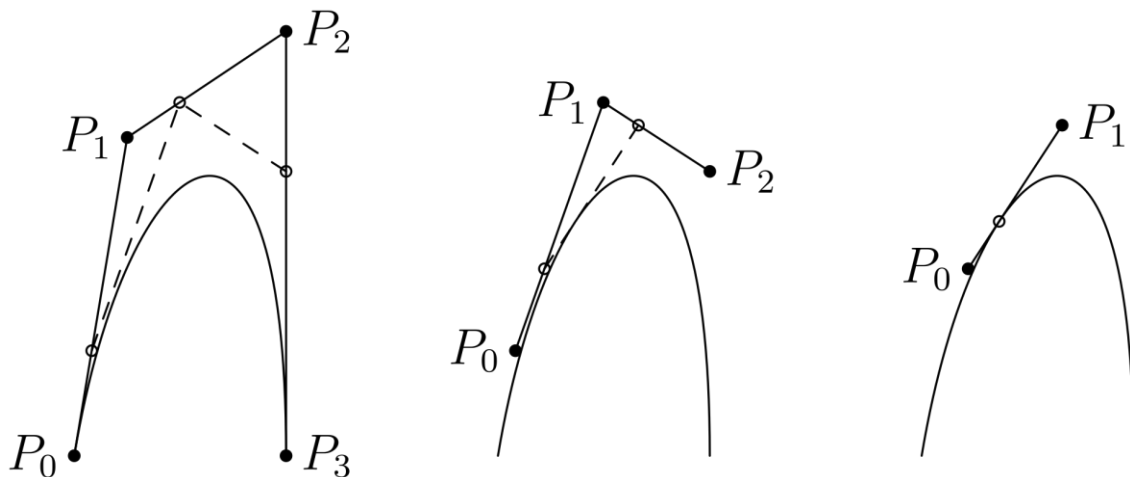


Рис. 1. Алгоритм де Кастельжо

Для наочного представлення результатів роботи алгоритмів деформації було створено систему деформаційного моделювання на мові програмування JavaScript. За допомогою цієї системи можна змінювати 3D-об'єкти методом деформаційного моделювання в реальному часі.

Насамперед, було створено вибірку об'єктів. Об'єкти мають різну кількість вершин, відповідно, мають різну геометричну складність. Всі об'єкти мають розширення .obj. Після вибору об'єкта зі списку, він з'являється на робочій зоні зі стандартною текстурою, обраною за замовчуванням.

Для демонстрації роботи програмного додатку для прикладу візьмемо сферу (рис. 2)

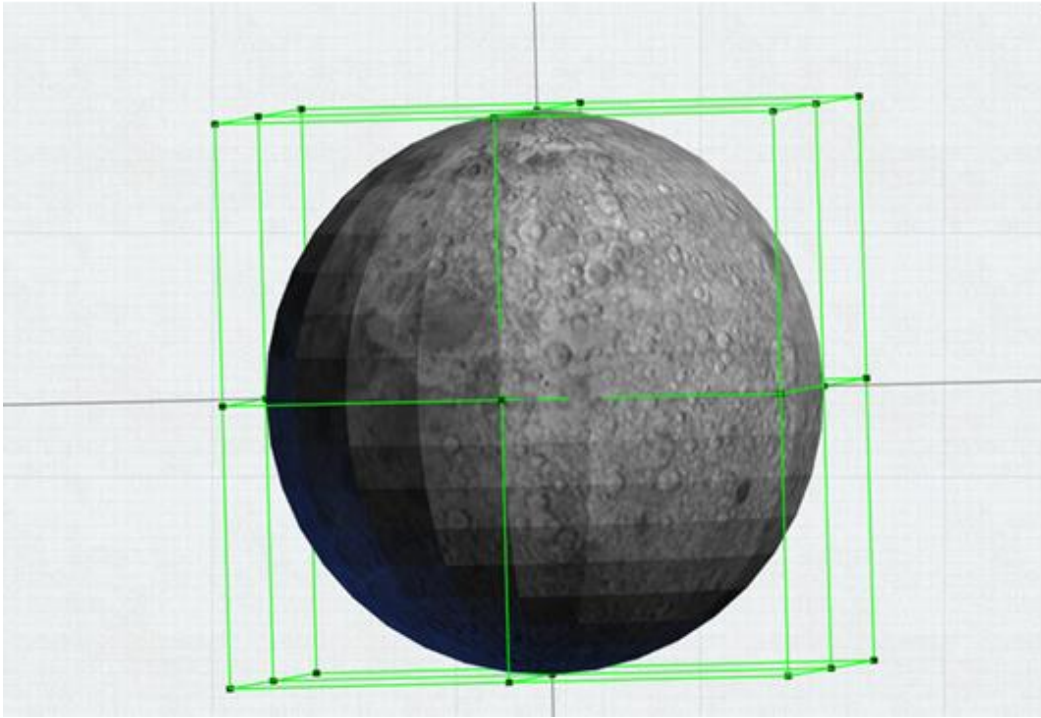


Рис. 2. Обраний об'єкт деформації

Сфера має близько 300 вершин та є складним об'єктом. Система дає можливість обирати не тільки об'єкт, а і текстуру, колір моделі та розмір деформуючої сітки.

Для деформування об'єкта необхідно обрати вершину й напрям деформації, та тягнути в обрану сторону.

Результати роботи системи представлено на рисунках 3-4.

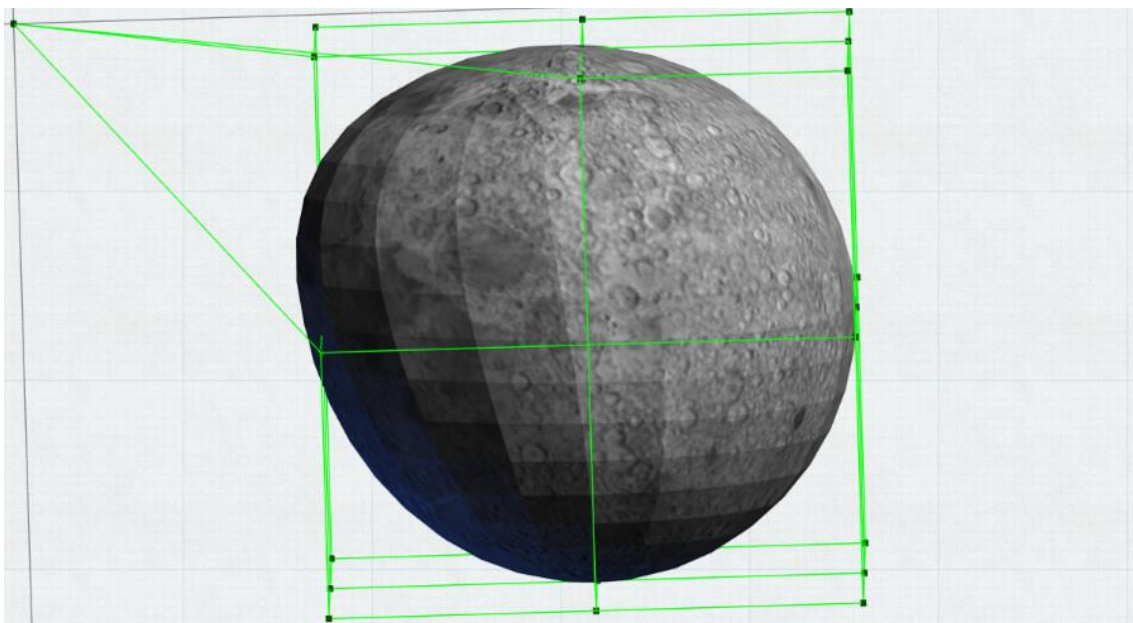


Рис. 3. Витягування сфери

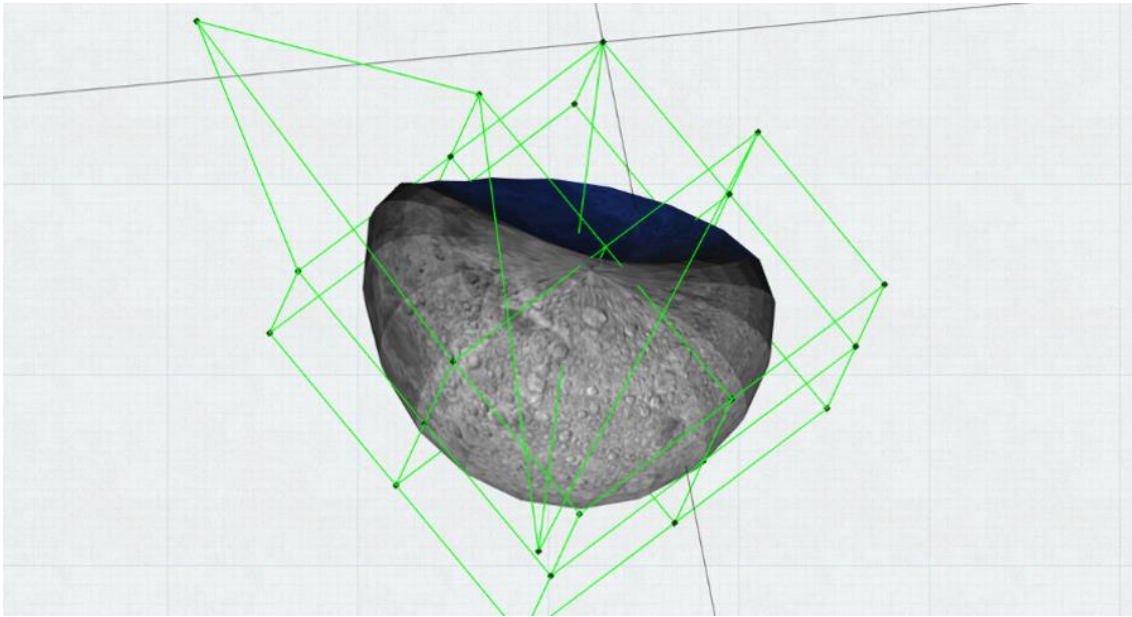


Рис. 4. Стискання сфери

Задача застосунку полягає у виконанні інтерполяції по осі Z точок 3D- моделі, координати якої отримані на основі головних точок кривих Безьє (точок, що лежать на гранях кожної ґратки). Далі необхідно з'єднати вершини, щоб скласти з них трикутники (полігони). 3D-модель складається з полігонів. У підсумку маємо головний список, що складається зі списків координат кожної точки.

Похибки обчислень багато в чому залежать від самого зображення клітин. Також частина інформації втрачається в ході аналізу. Це другий за значимістю етап. Його статистичні помилки залежать від методу кластеризації. Похибка при використанні кривих Безьє мінімальна, якщо йдеться про об'єкт з великою кількістю вершин. Криві Безьє потрібні для спрощеного створення самої 3D-моделі. Побудова моделі не вносить практично жодної помилки по осях X і Y (осі самого зображення), тому що будується модель по точках, отриманих в результаті виконання попередніх етапів.

Для роботи з програмою підійде будь який комп'ютер, смартфон або планшет, що має встановлений сучасний браузер.

Висновки. В даній роботі було описано спосіб деформування тривимірних об'єктів за допомогою кривих Безьє, описано алгоритм роботи створеної системи деформаційного моделювання геометричних об'єктів, розроблено програмний засіб геометричного моделювання в режимі реального часу, виявлені причини появи похибок та їх значимості, наведені приклади комп'ютерної реалізації деформування об'єкта.

Література

1. Бадаєв Ю.І., Сидоренко Ю.В. Геометричне моделювання складних об'єктів на основі політочкових відображень відрізків прямих. *Сучасні проблеми моделювання. Технічні науки*. Мелітополь, 2019. Вип. 16. С. 17-24.
2. Бобер Е.О. Особливості побудови кривих Безье при геометричному деформуванні 3d-об'єктів. Актуальні досягнення та проблеми сучасної освіти та науки: XXXVI Міжнародна науково-практична інтернет-конференція: тези доповідей, Чернівці, 12 жовтня 2020 р. Дніпро, 2020. С. 18-20.
3. Сидоренко Ю.В., Дудник В.Ю. Удосконалення моделі регулювання водостоку водосховищ за допомогою деформаційного моделювання. *Сучасні проблеми моделювання. Технічні науки*. Мелітополь, 2017. Вип. 9. С. 130-135.
4. Сидоренко Ю.В., Залевська О.В. Підвищення точності алгоритму політочкових перетворень. *Прикладна геометрія та інженерна графіка. Технічні науки*. Київ, 2020. Вип. 97. С. 129-135.
5. Сидоренко Ю.В., Шалденко О.В. Вагові політочкові перетворення при моделюванні можливих результатів пластичної хірургії. *Сучасні проблеми моделювання. Технічні науки*. Мелітополь, 2019. Вип. 15. С. 151-160.

СИСТЕМА ДЕФОРМАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ НА ОСНОВЕ КРИВЫХ БЕЗЬЕ

Сидоренко Ю.В., Залевская О.В.

В статье приводятся результаты работы компьютерной системы деформационного моделирования трехмерных объектов. В основу системы положен аппарат деформирования объектов на основе применения кривых Безье.

В связи с развитием современных технологий и наращиванием мощности компьютеров все больше приобретают актуальность задачи, связанные с моделированием деформации сложных тел и их поведения в режиме реального времени.

Функционал деформационного моделирования реализован в большом количестве пакетов работы с 3D графикой, таких как AutoDesk 3ds Max, Autodesk Maya, StechUp, Blender и других. Эти системы являются примером профессионального программного обеспечения, предназначенного для различных целей. В большинстве случаев конкретные утилиты для деформационного моделирования входят в платный набор инструментов,

которые нужно загружать отдельно, и часто не используют весь арсенал возможностей своих программ-сред. Некоторые из данных систем имеют бесплатные пробные версии с обрезанным функционалом, которые подойдут только для ознакомительных целей конкретной задачи деформационного моделирования объектов.

Целью создания системы было автоматизировать процесс проведения деформации трехмерных объектов с реализацией алгоритма на основе использовании кривых и поверхностей Безье, что позволило бы наглядно отслеживать изменение данных объектов, и оптимизировать работу данного метода.

В результате работы были исследованы свойства кривых Безье, полиномов Бернштейна и поверхностей Безье на основе полиномов Бернштейна от двух переменных. На основе исследований был разработан программный продукт на языке программирования JavaScript для воспроизведения геометрического контура трехмерной модели объекта. Система является кроссплатформенной браузерной программой, которая визуализирует деформирование 3D-объектов в режиме реального времени.

Ключевые слова: деформационное моделирование, трехмерный объект, кривая Безье, поверхность Безье, полином Бернштейна.

DEFORMATION MODELING SYSTEM BASED ON BEZIER CURVES

Iuliia Sydorenko, Olga Zalevska

The article presents the results of the work of a computer deformation modeling system for three-dimensional objects. The system is based on the apparatus for deforming objects based on using Bezier curves.

Due to the development of modern technologies and the increase of the computers' power, the tasks associated with modeling the deformation of complex bodies and their behavior in real time are becoming increasingly important.

The deformation modeling functionality is implemented in a large number of 3D graphics packages, such as AutoDesk 3ds Max, Autodesk Maya, StechUp, Blender and others. These systems are examples of professional software designed for various purposes. In most cases, specific deformation modeling utilities are included in a paid toolbox that must be downloaded separately, and often do not use the full arsenal of capabilities of their environment. Some of these systems have free trial versions with clipped functionality, which are suitable only for educational purposes of a specific deformation modeling problem.

The purpose of creating the system was to automate the process of deformation of three-dimensional objects with the implementation of an algorithm based on using Bezier curves and surfaces, which would visually track the changes

in these objects, and optimize the operation of this method.

As a result of the work, the properties of Bezier curves, Bernstein polynomials and Bezier surfaces were investigated on the basis of Bernstein polynomials in two variables. Based on the research, a software product using JavaScript programming language was developed to reproduce the geometric contour of a three-dimensional model of an object. The system is a cross-platform browser program that visualizes the deformation of 3D objects in real time.

Key words: deformation modeling, three-dimensional object, Bezier curve, Bezier surface, Bernstein polynomial.

References

1. Badaev, Y, Sidorenko, Y (2019) Geometric modeling of complex objects based on polyhedron mappings of line segments]. *Suchasni problemi modelyuvannya. - Modern problems of modeling*, 16, 17-24 [in Ukrainian].
2. Bober, E. (2020) Peculiarities of construction of Bézier curves at geometric deformation of 3d-objects/ *Proceeding of the XXXVI International scientific-practical Internet-conference "Actual achievements and problems of modern education and science"* (Ukraine, Chernivtsi, 12.10.2020) Dnipro: NGO "NOC", 18-20 [in Ukrainian].
3. Sidorenko, Y. Dudnik, V. (2017) Improving the model of reservoir gutter regulation by means of deformation modeling. *Suchasni problemi modelyuvannya*, 9, 130-136 [in Ukrainian].
4. Sidorenko, Y., Zalevskaya, O. (2020) Improving the accuracy of the algorithm of political transformation. *Applied geometry and engineering graphics*, 97, 129-135 [in Ukrainian].
5. Sidorenko, Y., Shaldenko, O. (2019) Weight political transformations in modeling the possible results of plastic surgery. *Suchasni problemi modelyuvannya*, 15, 151-160 [in Ukrainian].