

УДК 514.18

ВАГОВІ ПОЛІТОЧКОВІ ПЕРЕТВОРЕННЯ ПРИ МОДЕЛЮВАННІ МОЖЛИВИХ РЕЗУЛЬТАТІВ ПЛАСТИЧНОЇ ХІРУРГІЇ

Сидоренко Ю.В., к.т.н.,

Шалденко О.В. к.т.н.

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» (Україна)

В роботі розглядається удосконалення апарату політочкових перетворень для відображення зміни геометричного об'єкта під впливом деформаційних змін та застосування політочкових перетворень у медицині.

Розвиток методів деформаційного моделювання геометричних об'єктів останнім демонструє ефективність їх застосування в машинобудуванні, економіці, екології та інших сферах людського життя. Інтерактивне моделювання методами геометричних перетворень, такими як нелінійні перетворення, дає змогу в реальному часі отримувати результати моделювання і, в разі потреби, реагувати на ситуацію. До нелінійних перетворень відносяться полікоординатні відображення. Варіантом полікоординатних відображень є політочкові перетворення на площині та у тривимірному просторі.

Суть методу політочкових перетворень полягає у тому, що для простору, у якому знаходиться об'єкт (пряма), вводиться поняття базису перетворення. Тобто, точками створюється деяка область, в якій знаходиться пряма – об'єкт перетворення, а також вводиться політочкова система координат як система відстаней від точок базису до прямої. Кількість політочкових координат залежить від кількості точок базису. Таким чином, об'єкт (пряма), для якого треба здійснити перетворення, занурена у базис. Вигляд і розмір базису обирається в залежності від умов поставленої задачі. Для того, щоб здійснити перетворення, користувач змінює певним чином точки базису. Із зміною базису змінюється й об'єкт, який в нього занурений, тобто кожна точка об'єкта змінює свої декартові координати згідно проведеного перетворення.

У роботі розглянуто удосконалення способу політочкових перетворень за рахунок введення нового функціоналу перетворення, що призвело до більшої варіативності отриманих рішень та зменшення похибки обчислень при моделюванні.

На основі математичного апарату політочкових перетворень була створена система моделювання тривимірних об'єктів, необхідних

для проведення комп'ютерного аналізу перед пластичною операцією на носі.

Ключові слова: деформаційне моделювання, полікоординатні відображення, політочкові перетворення, пластична хірургія, ринопластика.

Постановка проблеми. Деформаційне моделювання є одним з напрямків моделювання об'єктів, коли динамічні зміни відбуваються під впливом деяких визначених процесів. У зв'язку з лавиноподібним зростанням потужності сучасних ЕОМ стає можливим створення систем САПР, здатних до моделювання деформацій елементів конструкцій та процесів практично необмеженої складності в реальному часі.

Зважені політочкові перетворення надають змогу інтерактивного деформування. Ефективність процесу деформування суттєво залежить від варіативності існуючих вагових коефіцієнтів, що зумовлює актуальність даної теми.

Одним з можливих варіантів застосування деформаційного моделювання є пластична хірургія. Зміна форми носа можлива шляхом збільшення або зменшення його розмірів, видалення горбинки, корекції форми і положення кінчика носа і ширини перенісся, а також кута між кінчиком носа і верхньою губою, звуження ніздрів. За допомогою цих маніпуляцій створюється нова форма носа у відповідності з естетичними вимогами пацієнта, а також з'являється можливість виправити деформації носа, що виникли в результаті травматичних ушкоджень, невдалого оперативного втручання або зумовлені віковими змінами.

Ринопластика (пластика носа, корекція форми носа), також як і інші естетичні операції може значно поліпшити зовнішній вигляд і самопочуття. Тому, перед тим як пацієнт зважиться на операцію, йому необхідно ретельно обміркувати свої побажання і очікуваний ефект.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У попередніх публікаціях було розроблено апарат полікоординатного методу перетворень та показано можливість його застосування в прикладній геометрії та комп'ютерній графіці [1], визначено коефіцієнти перетвореної прямої при політочкових перетвореннях, як виду полікоординатних відображень, описано види функціоналів та апарат зважених політочкових перетворень [2,3]. Аналіз джерел, що описують політочкові перетворення показує, насамперед, що вони застосовуються в проектуванні геометричних об'єктів складної форми, наприклад, в машинобудуванні [4]. Розширення можливостей політочкових перетворень є важливою проблемою в теперішній час.

Формулювання цілей статті. Метою дослідження є розробка

теоретичних і практичних засад геометричного моделювання поверхонь та створення програмного забезпечення для дослідження варіантів вагових коефіцієнтів при політочкових перетвореннях в залежності від умов поставлених задач.

Основна частина. Політочкові перетворення дозволяють створювати тривимірні об'єкти, які будуть застосовані при моделюванні можливої форми носа та відображенні можливих варіантів міміки пацієнта.

Суть перетворень полягає в наступному.

Задається об'єкт деформації, та каркас точок навколо об'єкта. Апарат політочкових перетворень дозволяє змінювати форму об'єкта, змінюючи положення каркасних точок. Початковий каркас точок називається початковим базисом, а змінений каркас – перетвореним базисом (рис.1).

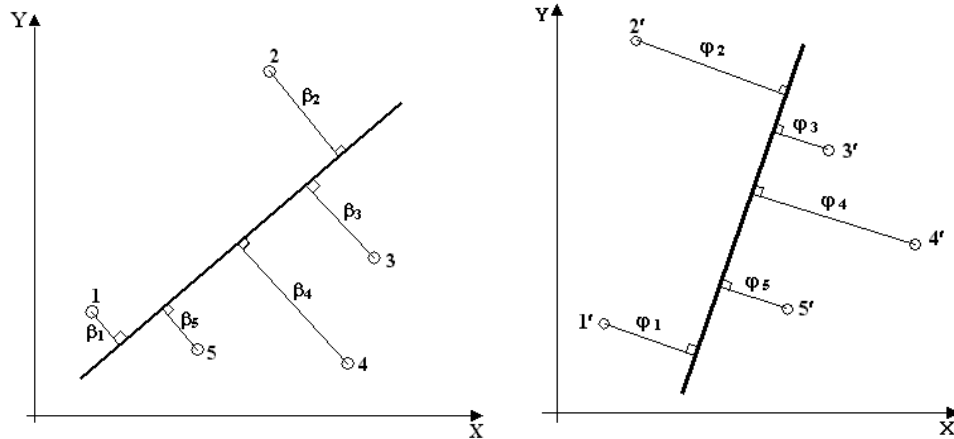


Рис. 1. Політочкові перетворення при багатоточковому базисі

Об'єктом деформації на даному рисунку є пряма с коефіцієнтами a , b , c . Початковий базис в однорідному просторі задається базисними точками з координатами x_i^n, y_i^n, z_i^n , $i=1,2,\dots,p$.

У цьому базисі пряма-прообраз визначається за допомогою рівнянь вигляду

$$ax_i^n + by_i^n + cz_i^n = \beta_i, \quad i = 1, \dots, p.$$

Тобто, точки каркасу задаються декартовими координатами, а прообраз-пряма - політочковими координатами β_i , які є відстанню зі своїм знаком від цих точок до прямої-образу, яка в свою чергу задається коефіцієнтами a , b , c , якщо ці коефіцієнти a , b , c є нормалізованими. Перетворений базис буде заданий у вигляді сім'ї

нових точок x_i, y_i, z_i . Нові “відстані” будуть визначатись за формулами:

$$\varphi_i = Ax_i + By_i + Cz_i,$$

де x_i, y_i, z_i - новий базис, A, B, C – невідомі координати нової прямої. Значення β_i та φ_i називаються політочковими координатами прямої.

Виникає необхідність отримання однозначного розв’язку задачі політочкового перетворення простору R^2 , тобто встановлення функціонального взаємозв’язку між координатами β_i та $\varphi_i, i=1,2,\dots,p$ в обох базисах.

Політочкове перетворення можна записати у вигляді:

$$\varphi_i = \omega_i \beta_i, \quad i = 1, 2, \dots, p.$$

Розв’язання задачі перетворення зводиться до мінімізації функціоналу такого вигляду:

$$S = \sum_{i=1}^p (\omega_i - 1)^2 \rightarrow \min.$$

Розв’язком системи будуть A, B, C , які є коефіцієнтами нової перетвореної прямої.

Такий підхід до розв’язання задачі площинних політочкових перетворень дає можливість відносно простого переходу до просторової задачі. У випадку тривимірного простору базисом політочкових перетворень буде множина точок, а об’єктом перетворень (за принципом двоїстості) буде площина.

Варіанти політочкових перетворень. Однозначну відповідність двох точкових полів образу й прообразу можливо досягти на основі застосування методів оптимізації з використанням функціоналів визначеного вигляду. Використання оптимізаційних функціоналів різного вигляду значно розширює можливості апарату політочкових перетворень.

Враховуючи вищезазначене, у процесі розробки алгоритму політочкових перетворень були проаналізовані різні види мінімізуючих функціоналів в залежності від умов, накладених на конкретну задачу.

Виникла необхідність враховувати вплив на об’єкт точок, в залежності від відстаней об’єкту до заданого каркасу, тобто вважається, що всі точки каркасу впливають на об’єкт, в залежності від того, до якої з точок об’єкт знаходиться ближче.

Тому у роботі був використаний функціонал такого вигляду:

$$S = \sum_{i=1}^p (\omega_i - \omega_j)^2, \quad 1 \leq j \leq p.$$

Також були введені вагові коефіцієнти, що дало змогу поширити можливості урізноманітнення варіантів відображення об'єкта перетворення. Вагові коефіцієнти вводяться на етапі обчислення політочкових координат прообразу. Це реалізується введенням деякого множника, який характеризує вплив кожної точки на пряму-прообраз, в залежності від відстаней до координатних точок.

Політочкові перетворення площини складають основу моделювання тривимірних об'єктів, які виникають при підготовці до зміни форми носа під час пластичної операції. Оскільки більшість реальних тривимірних об'єктів можна представити у вигляді множини площин (гранованого тіла), то за допомогою послідовного політочкового перетворення кожної з площини можна отримати перетворений тривимірний об'єкт.

Система відстеження деформації обличчя при пластичній операції на носі. Для реалізації поставленої задачі був обраний сучасний графічний пакет Houdini, який також виступає середовищем візуального програмування.

Для написання коду програми було обрано мову програмування Python, оскільки основою її перевагою є універсальність коду для всіх існуючих графічних пакетів.

Система працює таким чином. Для виконання деформації динамічного об'єкта, а саме динамічної моделі обличчя, необхідно імпортувати дані про положення точок (маркерів), на попередньо відзнятому обличчі (рис. 2).



Рис. 2. Попередньо відзняте обличчя

Після імпорту точок, на їх основі будується полігональна модель обличчя (рис. 3).

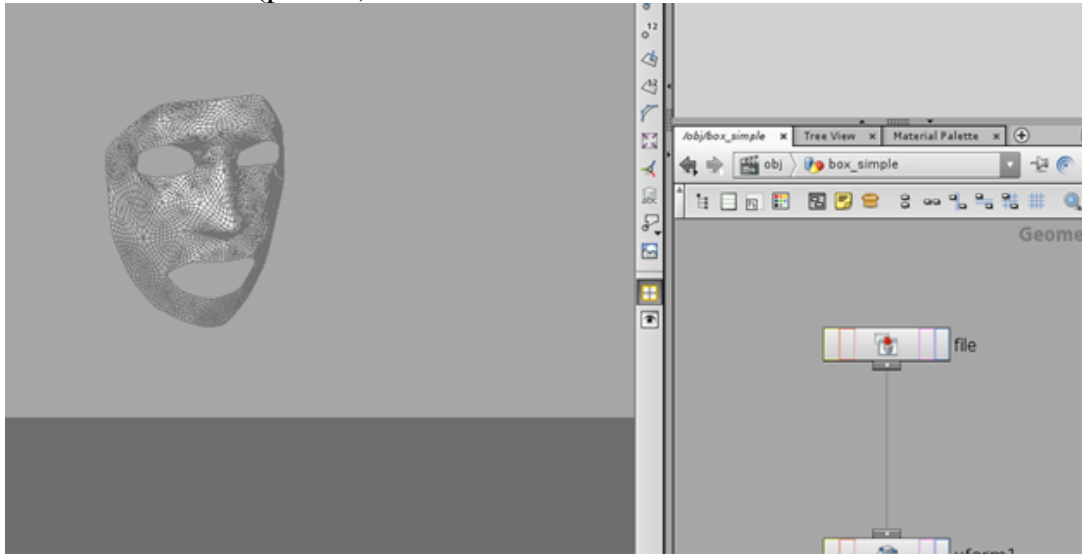


Рис. 3. Полігональна модель обличчя

З даним об'єктом проводяться політочкові перетворення для отримання можливих варіантів форми носа. Після проведення деформації проводиться текстурування і візуалізації фінального зображення(рис. 4).



Рис. 4. Пари зображень різних форм носа

Після обрання необхідної форми носа, результат накладається на відзняте зображення обличчя (рис.5).



Рис. 5. Накладення результатів деформації на зображення обличчя

Система також дозволяє простежити зміни міміки при обранні певної форми носа (рис.6).



Рис. 6. Можлива міміка людини при зміні форми носа

Дана система демонструє всі етапи роботи по отриманню бажаних візуальних результатів пацієнта перед проведенням операції зі зміни форми носа.

Висновки. В роботі було удосконалено спосіб політочкових перетворень за рахунок введення нового функціоналу перетворення, що призвело до більшої варіативності отриманих рішень та зменшення похибки обчислень при моделюванні. На основі математичного апарату політочкових перетворень була створена система моделювання тривимірних об'єктів, необхідних для проведення аналізу перед проведенням пластичної операції на носі.

Література

1. Бадаєв Ю.И. Поликоординатный метод в прикладной геометрии и компьютерной графике. [Монография]./ Бадаєв Ю.И.-К.: Просвіта, 2006. 173 с.
2. Бадаєв Ю.І., Сидоренко Ю.В. Визначення коефіцієнтів перетвореної прямої при політочкових перетвореннях. *Прикладна геометрія та інженерна графіка*. К:КДТУБА, 2001. Вип.68. С.45-47.
3. Бадаєв Ю.І., Сидоренко Ю.В. Політканинні перетворення в точковому визначенні. *Прикладная геометрия и инженерная графика. Труды Таврической государственная агротехническая академия*. Мелитополь, ТГАТА, 1998. Вып.4. Т.8. С.21-23.
4. Бадаєв Ю.І., Сидоренко Ю.В. Деформаційне конструювання об'єктів водного транспорту за допомогою політочкових перетворень. *Водний транспорт: Збірник наукових праць*, К.: КДАВТ, 2000. С.140-143.

ВЗВЕШЕННЫЕ ПОЛИТОЧЕЧНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ ВОЗМОЖНЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ХИРУРГИИ

Сидоренко Ю.В., Шалденко А.В.

В работе рассматривается усовершенствование аппарата политочечных преобразований для отображения изменения геометрического объекта под воздействием деформационных изменений и применение политочечных преобразований в медицине.

Развитие методов деформационного моделирования геометрических объектов последнее время является эффективным в применении их в машиностроении, экономике, экологии и в других сферах жизнедеятельности человека. Интерактивное моделирование методами геометрических преобразований, такими как нелинейные преобразования, дают возможность в реальном времени получать результаты моделирования и, в случае необходимости, реагировать на

ситуацию. К нелинейным преобразованиям относятся поликоординатные отображения. Вариантом поликоординатных отображений являются политочечные преобразования на плоскости и в трехмерном пространстве.

Суть метода политочечных преобразований состоит в том, что для пространства, в котором находится объект (прямая), вводится понятие базиса преобразования. То есть, точками образует некоторая область, в которой находится прямая – объект преобразования, а также вводится политочечная система координат, как система расстояний от точек базиса до прямой. Количество политочечных координат зависит от количества точек базиса. Таким образом, объект (прямая), для которого нужно осуществить преобразование, погружен в базис. Вид и размер базиса выбирается в зависимости от условий поставленной задачи. Для того, чтобы осуществить преобразование, пользователь изменяет определенным образом точки базиса. Со сменой базиса меняется и объект, который в него погружен, то есть, каждая точка объекта меняет свои декартовы координаты в соответствии с проведенным преобразованием.

В работе рассмотрено усовершенствование способа политочечных преобразований за счёт введения нового функционала преобразования, что привело к большей вариативности полученных решений и уменьшению ошибки вычислений при моделировании.

На основе математического аппарата политочечных преобразований была создана система моделирования трехмерных объектов, которая необходима для проведения компьютерного анализа перед пластической операцией носа.

Ключевые слова: деформационное моделирование, поликоординатные отображения, политочечные преобразования, пластическая хирургия, ринопластика.

WEIGHTED POLYPOINT TRANSFORMATIONS OF THE PLASTIC SURGERY'S POSSIBLE RESULTS MODELING

Sydorenko Iu., Shaldenko O.

The paper deals with the improvement of the apparatus of polypoint transformations for displaying changes in a geometric object under the influence of deformational changes and the application of polypoint transformations in medicine.

The development of methods of geometric objects deformation modeling has recently been effective in their application in mechanical engineering, economics, ecology, and other fields of human activity. Interactive modeling using geometric transformation methods such as nonlinear transformations makes it possible to obtain simulation results in real time and, if necessary, respond to the situation. Non-linear transformations include polycoordinate maps. A variant of polycoordinate maps are polypoint transformations in 2D and 3D spaces.

The essence of the method of polydot transformations is that for the space in which the object (line) is located, the concept of a transformation basis is introduced. That is, the points form a certain area in which the straight line is located — the object of transformation, and also a polypoint coordinate system is introduced, like a system of distances from the basis points to the straight line. The number of polypoint coordinates depends on the number of points of the basis. Thus, the object (direct) for which you want to carry out the transformation is immersed in the basis. The type and size of the base is selected depending on the conditions of the task. In order to carry out the transformation, the user changes the basis points in a certain way. With the change of the base, the object that is immersed in it changes, that is, each point of the object changes its Cartesian coordinates in accordance with the transformation.

The paper considers the improvement of the method of polypoint transformations due to the introduction of a new transformation functionality, which led to a greater variability of the obtained solutions and a decrease in the computation error in modeling.

A system for modeling three-dimensional objects was created on the basis of the mathematical apparatus of polypoint transformations, which is necessary for carrying out computer analysis before plastic surgery of the nose.

Key words: deformation modeling, polycoordinate maps, polypoint transformations, plastic surgery, rhinoplasty.