

TECHNOLOGIES OF COMPUTER
CONTROL

DATORVADĪBAS TEHNOLOĢIJAS

INTERPOLATION OF FREE – FORM SURFACES AND VISUALIZATION BY
STANDARD TOOLS OF COMPUTER GRAPHICSBRĪVO FORMU VIRSMU INTERPOLĀCIJA UN TO VIZUALIZĀCIJA AR
DATORGRAFIKAS STANDARTLĪDZEKĻIEM

Aleksandr Sisojev, PhD student
Riga Technical University
Faculty of Computer Science and Information Technologies,
Institute of Computer Control, Engineering and Technology
Address: Meza str. 1, LV-1048, Riga, Latvia
E-pasts: alexiv@inbox.lv

Aleksandr Glazs, Dr.habil,sc.ing., profesors
Riga Technical University
Faculty of Computer Science and Information Technologies,
Institute of Computer Control, Engineering and Technology
Address: Meza str. 1, LV-1048, Riga, Latvia
Phone: +371 67089542
E-Mail: glaz@egle.cs.rtu.lv

Atslēgas vardi: interpolācija, Bezjē virsma, Kunsas virsma, skulptūrvirsma, vizualizēšana

1. Ievads

Brīvo formu objektu vizualizēšanas problēma ar turpmāko objekta analīzi ir aktuāls uzdevums datorgrafikā. Šī uzdevuma risinājums ir svarīgs arī praktiskai izmantošanai (piemēram, biomedicīnā). Uz medicīna objekta piemērā, darbā tiek aprakstīta jauna un efektīva metode brīvo formu objekta rekonstrukcijai. Šī metode tiek pielietota biomedicīnas inženieru uzdevumu risināšanai. Metode tiek bāzēta uz interpolācijas modeļa izveidi. Modeļa izveide pamatojas uz Kunsas virsmas bāzes. Lai vizualizēt objektu ar grafiskās bibliotēkas OpenGL palīdzību, Kunsas virsmas modelis tiek transformēts uz Bezjē virsmas modeli. Piedāvātā metode tiek aprobēta praktiskā pielietošanā uz medicīnas objekta piemērā, bet metodi var izmantot dažādās sfērās (zinātnē, tehnikā, medicīnā utt.).

2. Uzdevumu nostādne

Apskatīsim gadījumu, kad ir nepieciešams izveidot objekta 3D matemātisko modeli, bet ir zināmi tikai kontrolpunkti uz objekta virsmas. Šajā gadījumā virsmai jāatbilst dažiem kritērijiem:

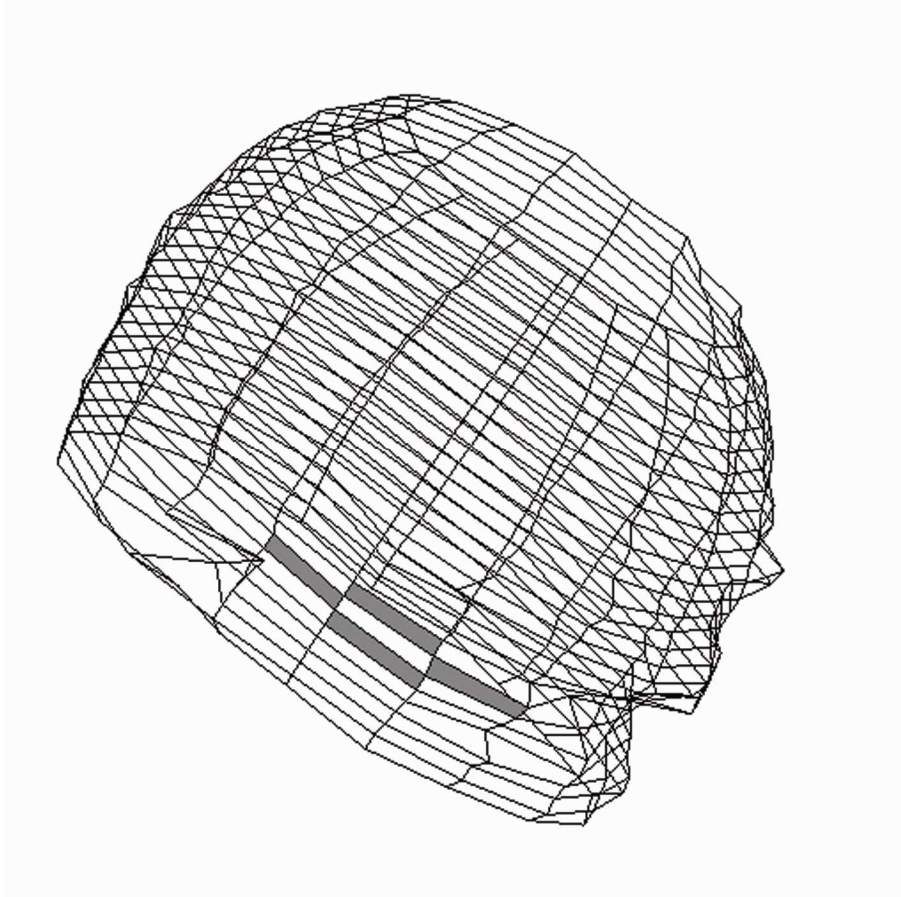
- virsmai jāiet caur visiem punktiem;
- virsmai jābūt perpendikularai iepriekš uzdotiem izliekuma vektoriem;

- virsmai jābūt pieskarta iepriekš uzdotiem pieskares vektoriem.

Līdz ar to rodas virsmu interpolācijas problēma. Pieņemsim, ka mums jāizveido 3D objektu no ieejas datiem, kurus var aprakstīt kontrolpunktu masīva (matricas) veidā.

Šajā gadījumā ir acīmredzama nepieciešamība izveidot objekta skulptūras virsmu, kur katrs elements (kas apraksta kādu virsmas fragmentu) interpolē objekta daļu starp blakus esošiem kontrolpunktiem. Šajā gadījumā uzdevumu noformulē šādi:

Izstrādāt matemātisko modeli objekta virsmas interpolācijai, tā lai katrs elements (katra gabala virsma) atbilstu augstāk minētiem kritērijiem.



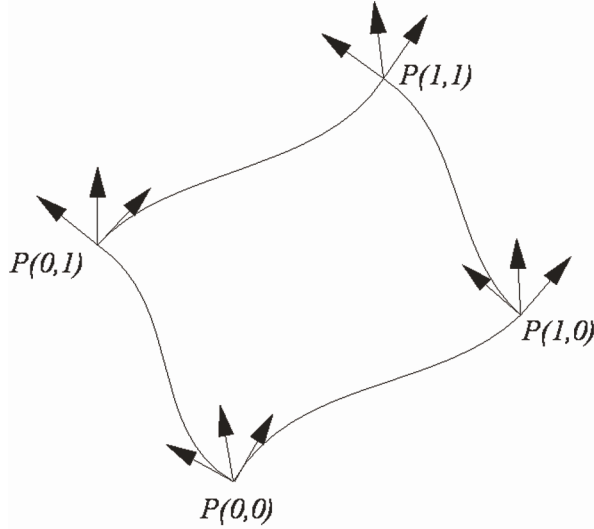
1.att. Objekta karkasa piemērs

Fig.1. Example of object's carcass

1. att. ir dots objekta piemērs. Šajā piemērā ir redzams objekta karkass, kurš iegūts no kontrolpunktu masīva. Kontrolpunkti tiek savienoti ar līnijām. Acīmredzams, ka objekts sastādīts no četrstūrveida elementiem (attēlā daži šie elementi ir nokrāsoti).

3. Interpolācija ar bikubisko Kunga virsmu palīdzību

Ieejas dati matemātiskā modeļa izstrādei ir kontrolpunktu masīvs, kas tiek iegūts no attēliem izmantojot segmentāciju. Šajā gadījumā vizualizēšanas uzdevumu var aprakstīt kā virsmu masīva izveidi. Gabalu virsmu aprakstīšanai darbā tiek izmantots bikubiskas Kunga virsmas modelis.



2.att. Kunsas gabalu virsma

Fig.2. Coons patch

Kunsa virsma matricas forma var būt aprakstīta sekojošā veidā [2]:

$$Q_{Coons}(u, v) = [U] \cdot [N_C] \cdot [P_{Coons}] \cdot [N_C]^T \cdot [V] \quad (1)$$

kur: $[U]$, $[V]$ – parametru matrica,
 $[N_C]$ – bāzes funkciju koeficientu matrica,
 $[P_{Coons}]$ – kontrolpunktu masīvs.

Šajā gadījumā kontrolpunktu masīvu vienā virsmas gabalā var izskaitļot šādā veidā:

$$[P_{Coons}] = \begin{bmatrix} P(i, j) & P(i, j+1) & P_u(i, j) & P_v(i, j+1) \\ P(i+1, j) & P(i+1, j+1) & P_v(i+1, j) & P_v(i+1, j+1) \\ P_u(i, j) & P_u(i, j+1) & P_{uv}(i, j) & P_{uv}(i, j+1) \\ P_u(i+1, j) & P_u(i+1, j+1) & P_{uv}(i+1, j) & P_{uv}(i+1, j+1) \end{bmatrix} \quad (2)$$

kur: $P(i, j)$ – kontrolpunkti virsmas gabala stūros (punkti no ieejas datu masīva),
 $P_u(i, j)$, $P_v(i, j)$ – pieskares vektori parametriskos virzienos u un v ,
 $P_{uv}(i, j)$ – izliekuma vektori.

Pieskares vektoru var izskaitļot šādā veidā:

$$P_u(i, j) = \frac{P(i, j+1) - P(i, j-1)}{2} \quad (3-a)$$

$$P_v(i, j) = \frac{P(i+1, j) - P(i-1, j)}{2}, \quad (3-b)$$

Savukārt izliekuma vektoru var izskaitļot, izmantojot formulu:

$$P_{uv}(i, j) = P_u(i, j) \times P_v(i, j), \quad (4)$$

Izliekuma vektoru var pieņemt par nulles-vektoru tālākos aprēķinos. Izliekuma vektora virziens ir nepieciešams objekta poligonālai vizualizēšanai.

4. Vizualizēšana ar standartlīdzekļiem

Lai vizualizēt 3D objektu ar datorgrafikas standartlīdzekļiem ir jātransformē Kunsas virsmu uz Bezjē virsmu. Bezjē virsmas matricas formā pieņem veidu [2]:

$$Q_{Bezier}(u, v) = [U] \cdot [N_B] \cdot [P_{Bezier}] \cdot [N_B]^T \cdot [V] \quad (5)$$

kur: $[U], [V]$ – parametru matrica,
 $[N_B]$ – bāzes funkciju koeficientu matrica,
 $[P_{Bezier}]$ – kontrolpunktu masīvs.

Lai transformēt Kunsas virsmu Bezjē virsmā mēs izmantojam attiecību starp $Q_{Bezier}(u, v)$ un $Q_{Coons}(u, v)$. Kā raksta Rogers et. al. [2], attiecību starp Kunsas virsmu un Bezjē virsmu var aprakstīt pielīdzinot šo divu virsmu vienādojumus (1) un (5). Matricas formā to var aprakstīt šādi:

$$[U] \cdot [N_B] \cdot [P_{Bezier}] \cdot [N_B]^T \cdot [V] = [U] \cdot [N_C] \cdot [P_{Coons}] \cdot [N_C]^T \cdot [V] \quad (6)$$

Kontrolpunktu masīvu ekvivalentai Bezjē virsmai var aprēķināt ar šādu formulu:

$$[P_{Bezier}] = [N_B]^{-1} \cdot [N_C] \cdot [P_{Coons}] \cdot [N_C]^T \cdot [[N_B]^T]^{-1}, \quad (7)$$

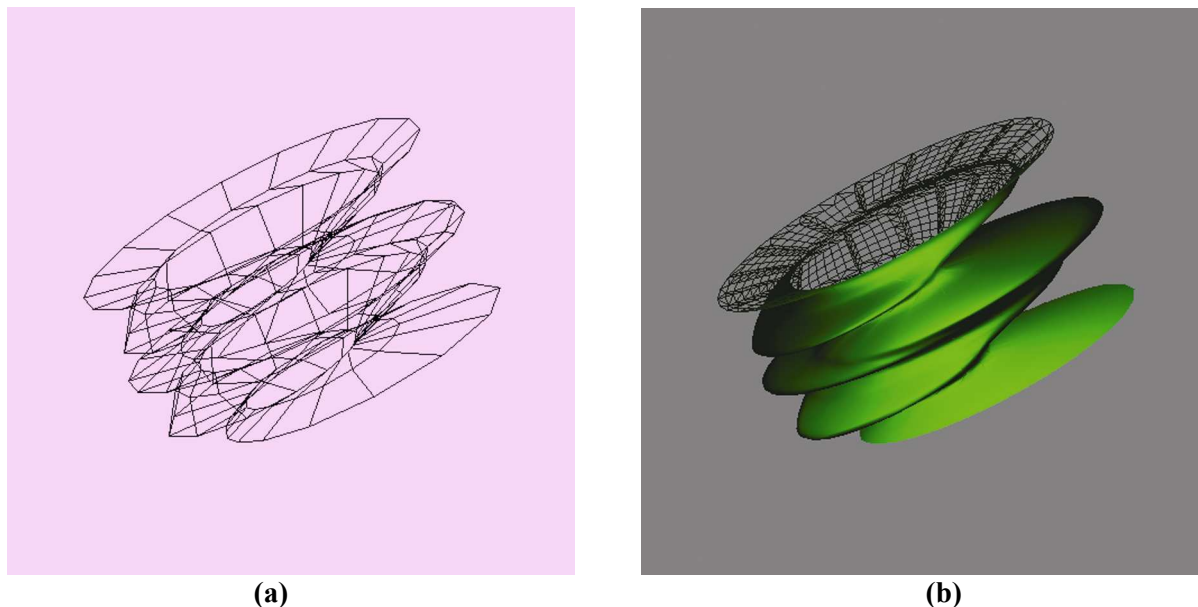
Formula (7) bikubiskas virsmas gadījumā pieņem veidu:

$$[P_{Bezier}] = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1/3 & 1 \\ 0 & 1/3 & 2/3 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 2 & -2 & 1 & 1 \\ -3 & 3 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} P(i, j) & P(i, j+1) & P_v(i, j) & P_v(i, j+1) \\ P(i+1, j) & P(i+1, j+1) & P_v(i+1, j) & P_v(i+1, j+1) \\ P_u(i, j) & P_u(i, j+1) & P_{uv}(i, j) & P_{uv}(i, j+1) \\ P_u(i+1, j) & P_u(i+1, j+1) & P_{uv}(i+1, j) & P_{uv}(i+1, j+1) \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 2 & -3 & 0 & 1 \\ -2 & 3 & 0 & 0 \\ 1 & -2 & 1 & 0 \\ 1 & -1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1/3 & 1 \\ 0 & 1/3 & 2/3 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad (8)$$

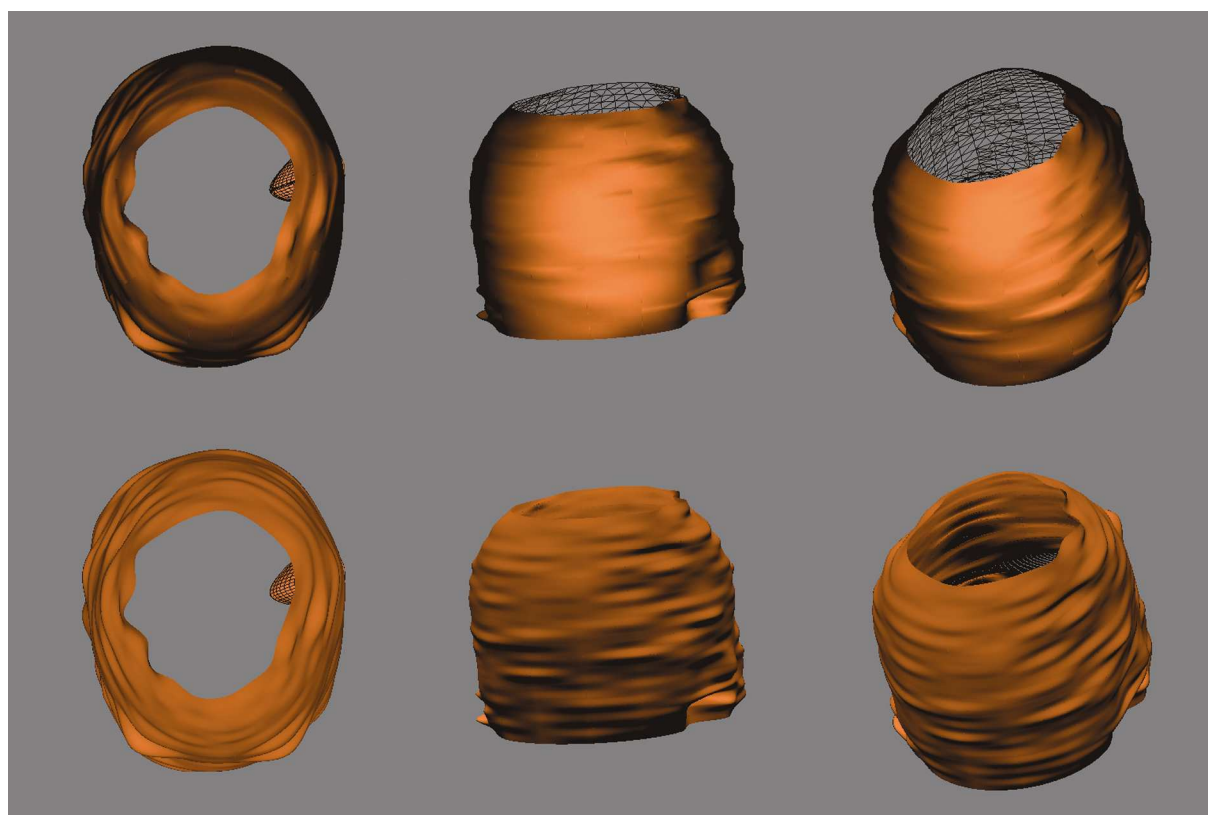
Rezultātā objekta matemātiskais modelis ir Bezjē gabalu virsmu masīvs. Šī pieeja dod iespēju lietot datorgrafikas standartlīdzekļus. Šajā darbā tiek lietota standarta grafiskā bibliotēka – OpenGL [3] un arī vizualizēšana ar staru trasēšanas palīdzību. Vizualizēšanas metode ar staru trasēšanu aprakstīta darbā [4].

4. Eksperimentāli rezultāti

Apskatīsim iegūtās metodes eksperimentālus rezultātus. 3.att. attēlā (a) parādīts kontrolpunktu masīva karkass un attēla (b) izveidotais virsmas objekts.



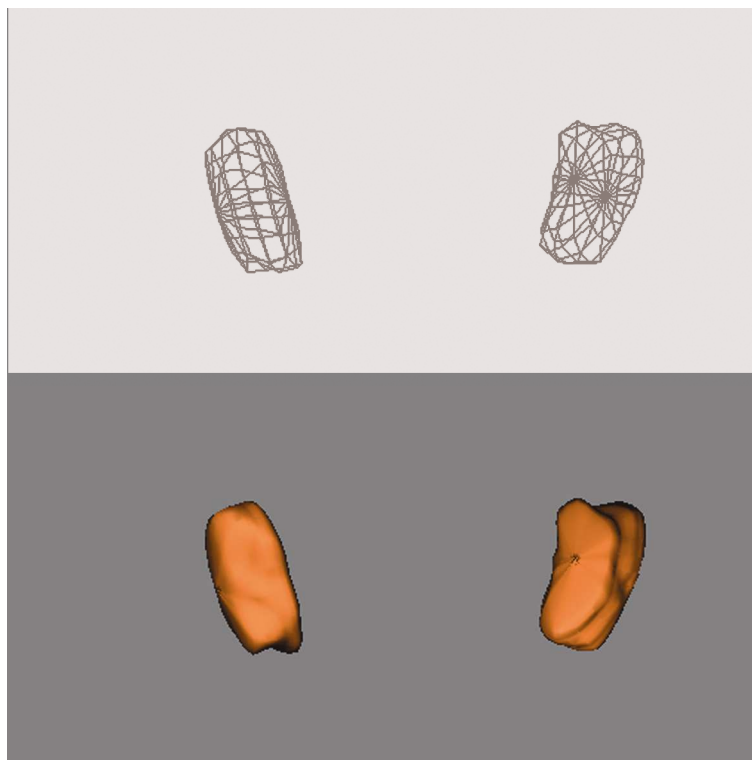
3.att. Kontrolpunktu masīva karkasa un izveidotais virsmas objekts
Fig.3. Object's carcass control points array and object's recreated surface



4.att. Objekta iegūtie attēli. Augša rinda vizualizēšana ar OpenGL, apakša rinda – ar staru trasēšanu
Fig.4. Images of medical object. Top row shows visualization by OpenGL library, bottom row shows visualization by ray tracing

4.att. parādīts medicīnas objekta piemērs. Attēla augšējā rindā parādīta 3D modeļa vizualizēšana ar grafiskās bibliotēkas OpenGL palīdzību. Attēla apakšējā rindā parādīta 3D modeļa vizualizēšana ar staru trasēšanas palīdzību. Kā var redzēt no 4. att. piedāvāta staru trasēšanas metode ļauj iegūt vizualizēšanu ar labāko detalizāciju, nekā bibliotēkas OpenGL izmantošana.

5.att. parādīti pataloģijas zonas vizualizēšanas rezultāti.



5.att. Patoloģijas objekta iegūtie attēli
Fig.5. Images of pathology object

5. Secinājumi

Galvenie darba rezultāti un secinājumi:

- Izstrādāta metode ar kuras palīdzību var izveidot brīvas formas virsmu izmantojot interpolācijas modeli. Interpolācija tiek bāzēta uz Kunsas virsmas;
- Izstrādāta metode ar kuras palīdzību var vizualizēt to modeli, izmantojot datorgrafikas standartlīdzekļus. Darbā vizualizēšana tiek veikta ar grafiskās bibliotēkas OpenGL palīdzību.
- Darbā tiek aprobēta arī staru trasēšanas metode, kura bija aprakstīta [4].
- Vizualizēšana ar staru trasēšanas metodi dod attēlu ar labāko detalizācijas līmeni.

Literatūra

1. Krechetova K., Glaz A. Development of a new segmentation method for medical images. Biomedical Engineering International conference proceeding, Kaunas Technology University, Lithuania, 2007, pp 133-136.
2. Rodgers D., Adams J. Mathematical Elements for Computer Graphic, 2nd Ed., McGraw-Hill, Boston, MA, 1990.
3. Хилл Ф. OpenGL. Программирование компьютерной графики. Для профессионалов. – СПб.: Питер, 2002. – 1088 с.
4. Sisojevs A., Glazs A. An new approach of visualization of free-form surfaces by a ray tracing method, The 14th IEEE Mediterranean Electrotechnical International Conference MELECON Proceedings, Ajaccio, France, 2008, pp 872-875.

Sisojevs A., Glazs A. Brīvo formu virsmu interpolācija un to vizualizācija ar datorgrafikas standartlīdzekļiem

Brīvo formu objektu vizualizēšanas problēma ar turpmāk sekojošo analīzi ir ļoti interesants uzdevums datorgrafikā. Šī uzdevuma risinājums ir ļoti aktuāls arī praktiskai izmantošanai (piemēram, biomedicīnā). Darba uzdevums ir 3D objekta interpolācijas un to vizualizēšanas metodes izstrāde. Uz medicīna objekta piemērā darbā tiek aprakstīta efektīva 3D objekta rekonstrukcijas metode. Šī metode pielietojas biomedicīnas inženieru uzdevumu risināšanai. Metode tiek bāzēta uz skulptūrvirsmas matemātisko modeļu izveidi.

Darba rezultātā ir izstrādāta metode ar kuras palīdzību var izveidot brīvas formas virsmu izmantojot interpolācijas modeli. Modeļu izveide pamatojas uz Kunsas virsmas bāzi. Tālākai implementācijai Kunsas virsmas modelis tiek transformēts Bezjē virsmas modeli. Ar izstrādātas metodes palīdzību var vizualizēt to modeli, izmantojot datorgrafikas standartlīdzekļus. Darbā gaita objekta vizualizēšana tiek veikta ar grafiskās bibliotēkas OpenGL palīdzību.

Darbā rezultātā iegūtais matemātiskais modelis var būt izmantots turpmākai objekta analīzei. Piedāvāto metodi var izmantot dažādās sfērās (zinātnē, tehnikā, medicīnā utt.). Piedāvāta metode tiek aprobēta praktiskā pielietošanā uz medicīnas objekta piemērā. Implementācijas gaitā tiek realizēta arī vizualizēšana izmantojot staru trasēšanas metodi.

Sisojevs A., Glazs A. Interpolation of free – form surfaces and visualization by standard tools of computer graphics

The problem of free-form surface visualization and analysis is a very interesting task of computer graphics. The solving of this task is also actual in practical implementations (for example, biomedical engineering). The goal of this work is to develop new methods of interpolation and visualization of 3D objects. An effective method of 3D reconstruction is describe in this work using medical images of a brain acquired by computer tomography as an example. The proposed method is implemented for solving biomedical task. The method is based on construction of a sculpture surface interpolation model.

In the result of this work a new method was developed. With the help of this method a free-form surface can be reconstructed using interpolation model. The reconstruction of the model is based on Coons surface. For further implementation the Coons surface model is transformed to Bezier surface. Using the proposed method, the model can be visualized with standard computer graphic tools. Standard computer graphics library OpenGL was used for visualization in this work. The acquired mathematical model can be used to analyze the object. The proposed method can be used in several spheres (science, medicine, engineering, etc.). Practical implementation of the proposed method is shown on the example of medical object. During implementation visualization using ray tracing was also realized.

Сысоев А., Глаз А. Интерполяция криволинейных поверхностей и их визуализация стандартными средствами компьютерной графики

Проблема визуализации криволинейных поверхностей с последующим анализом является очень интересной задачей компьютерной графики. Решение этой задачи так же очень актуально и для практического применения (например в биомедицине). Задачей работы является разработка методов интерполяции и визуализации 3D объекта. На примере медицинского объекта в работе описан эффективный метод реконструкции 3D объекта. Этот метод применен для решения биомедицинской задачи. Метод базируется на построении интерполяционной модели скульптурной поверхности.

В результате работы разработан метод, с помощью которого можно создать поверхность свободной формы используя интерполяционную модель. Построение модели основывается на базе поверхности

Кунса. При дальнейшей имплементации модель поверхности Кунса трансформируется в модель поверхности Безье. С помощью разработанного метода можно визуализировать данную модель используя стандартные средства компьютерной графики. В ходе работы визуализация объекта реализована с помощью стандартной графической библиотеки OpenGL. Полученную в результате работы математическую модель можно использовать для дальнейшего анализа объекта. Предложенный метод можно использовать в различных сферах (в науке, технике, медицине и т.д.). Показано практическое применение предложенного метода на примере медицинского объекта. В ходе имплементации так же реализована визуализация с помощью метода трассировки лучей.