

Medicīnisko objektu virsmu modelēšana, izmantojot triangulācijas un maršējošo kubu algoritmu

Mihails Kovalovs¹, Aleksandrs Glazs^{2, 1,2} *Riga Technical University*

Kopsavilkums. Darbs apraksta divas metodes, ar kuru palīdzību ir iespējams izveidot medicīnisko objektu trīsdimensiju virsmu. Pirmā metode apvieno divus piedāvātos algoritmus – kontrolpunktu izvēles un triangulācijas. Otrā metode ir viena no populārākajām metodēm šajā nozarē – maršējošie kubi. Abas metodes ir izmantotas, lai izveidotu pacienta galvas trīsdimensiju modeli, rezultāti tiek salīdzināti un aprakstīti katras metodes trūkumi un priekšrocības.

Atslēgas vārdi: medicīnas attēli, 3D vizualizēšana, poligonālais modelis, tomogrammas, maršējošie kubi.

I. IEVADS

Medicīniskā objekta modelis ir cilvēka ķermeņa vai orgāna daļas trīsdimensiju modelis. Šie modeļi palīdz ārstiem ātrāk un vieglāk diagnosticēt pacienta slimību, jo dod iespēju detalizēti apskatīt attiecīgo orgānu bez ķirurģiskām operācijām.

Lai izveidotu medicīniskā objekta trīsdimensiju modeli, vispirms ir nepieciešams iegūt vēlamā objekta tomogrammu. Tomogrammas parasti tiek iegūtas, izmantojot datortomogrāfiju vai magnētisko rezonansi.

Eksistē vairākas metodes, kas ļauj no tomogrammām izveidot trīsdimensiju virsmu. Dotajā rakstā tiek apskatīta agrāk piedāvātā metode [1], kas apvieno divus algoritmus: vienmērīgi izvietoto kontrolpunktu izvēles algoritmu un triangulācijas algoritmu. Tad piedāvātā metode tiek salīdzināta ar vienu no populārākajām metodēm – „Maršējošie Kubi” [2].

II. UZDEVUMU NOSTĀDNE

Nepieciešams izveidot galvas 3D modeli, balstoties uz medicīniskajiem attēliem (smadzeņu tomogrammām), kas tiek iegūti datortomogrāfijā.

Jāizmanto divas dažādas metodes un jāveic to salīdzināšanu:

1. Piedāvātā metode.

1.1. Vienmērīgi izvietoto kontrolpunktu meklēšanas algoritms;

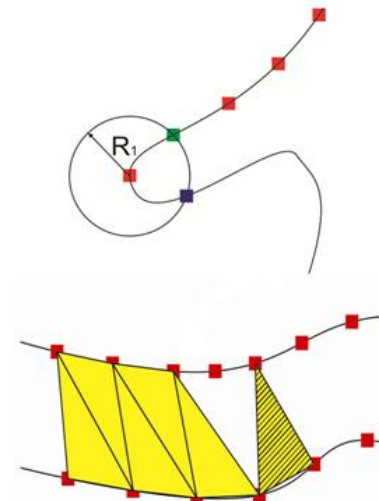
1.2. Triangulācijas algoritms.

2. Maršējošie kubi.

III. PIEDĀVĀTĀ METODE

Īsumā aprakstīsim agrāk piedāvāto metodi, kas sastāv no diviem algoritmiem. Pirmais ir vienmērīgi izvietoto kontrolpunktu meklēšanas algoritms. Šis algoritms apstrādā visas tomogrammas un uz katras tomogrammas izvēlas kontrolpunktus, kas apraksta kaut kāda objekta kontūru. Tālāk

šie kontrolpunkti savā starpā tiek savienoti ar trijstūriem, veidojot trīsdimensiju virsmu.



1. att. Kontrolpunktu meklēšanas algoritma (augšējais) un triangulācijas algoritma (apakšējais) piemēri.

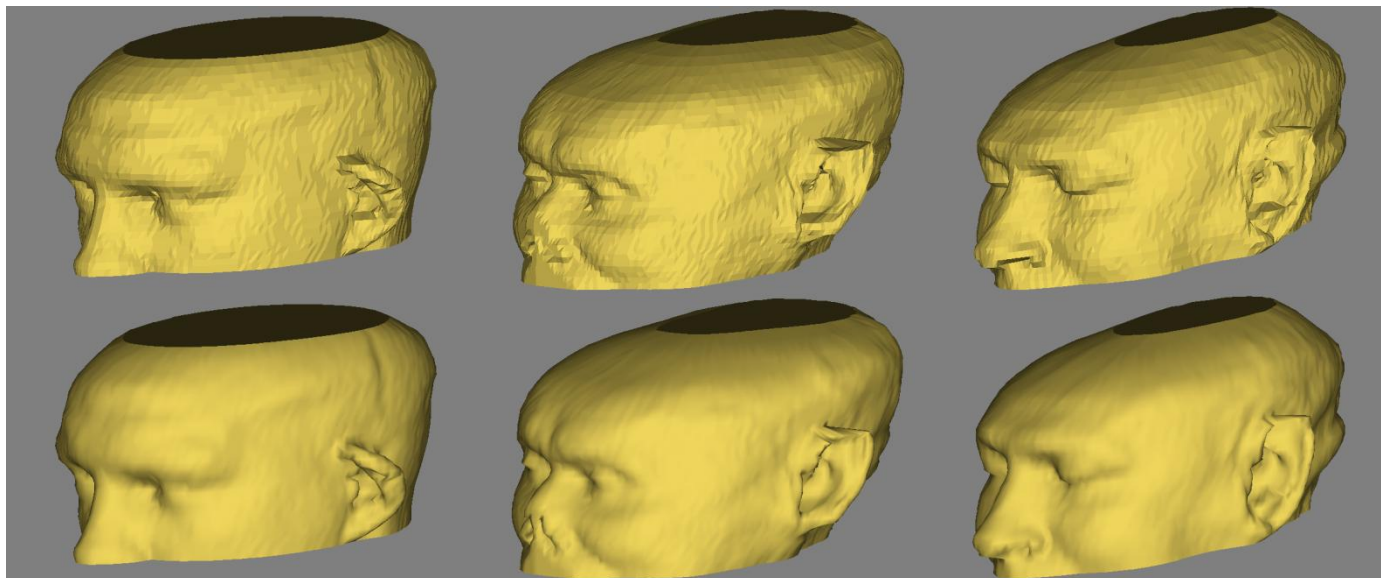
A. Vienmērīgi izvietoto kontrolpunktu meklēšanas algoritms

Šis algoritms strādā ar segmentētām tomogrammām, kur uz katras tomogrammas jau tiek apzīmēta vēlamā medicīniskā objekta kontūra. Tad tiek atrasti kontrolpunkti, kas apraksta šo kontūru ar uzdoto precizitāti.

Šis algoritms strādā šādā veidā: sākumā tiek atrasts objekta viduspunkts, tad uz katras tomogrammas tiek meklēts sākumpunkts. Sākumpunkts atrodas uz objekta kontūras un taisnes, kas ir perpendikulāra x - asij un iet caur objekta viduspunktu. Visi pārējie punkti tiek izvēlēti, veidojot aploci ar uzdoto rādiusu apkārt tekošajam punktam (sākot ar sākumpunktu), un tad tiek meklēti šīs aploces un kontūra krustojuma punkti, pie tam ir iespējami divi varianti:

1. Krustošanās rezultātā tiek atrasti vairāk nekā divi punkti. Tad aploces rādiuss tiek samazināts, kamēr tiek atrasts ne vairāk par diviem punktiem.
2. Krustošanās rezultātā tiek atrasti divi punkti. Tad par nākamo punktu kļūst tas punkts, kas atrodas tālāk no iepriekšējā punkta.

Kontrolpunktu meklēšana beidzas, kad attālums starp tekošo punktu un sākumpunktu ir mazāks vai vienāds par aploces rādiusu. Algoritma darbības piemēru var redzēt 1. attēlā.



2. att. Piedāvātās metodes pielietojanas piemēri (kontrolpunktu meklēšanas rādiuss - 5 pikseļi). Attēla augšpusē - attēlotas medicīnisko objektu trīsdimensiju virsmas, kas tiek iegūtas, izmantojot piedāvāto metodi; apakšpusē - tie paši objekti, tikai pielietojot virsotņu nogludināšanu.

B. Triangulācijas algoritms

Pēc iepriekšējā algoritma veikšanas, tiek atrasti kontrolpunkti, kas tiek sadalīti pa slāņiem (tomogrammām). Triangulācijas algoritms savieno tuvākos kontrolpunktus, veidojot trijstūrus. Trijstūra divi punkti tiek ņemti no viena slāņa un trešais punkts tiek ņemts no augšējā slāņa. Caurumi, kas var rasties starp trijstūriem, tiek aizpildīti ar trijstūriem, kuriem divi punkti ir augšējā slānī un viens punkts no tekošā slāņa. Algoritma darbības piemēru var redzēt 1. attēlā.

2. attēlā attēloti piedāvātās metodes pielietojanas piemēri.

IV. MARŠĒJOŠIE KUBI

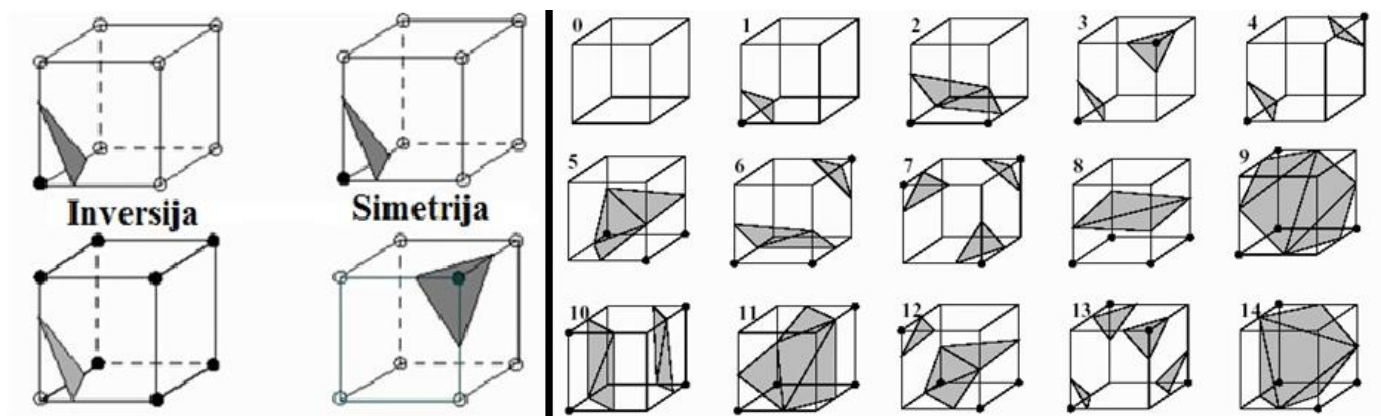
"Maršējoši kubi" ir datorgrafikas algoritms, kuru publicēja Lorensen un Kline 1987. gadā SIGGRAPH konferencē[2]. Šī algoritma mērķis ir izveidot izovirsmas poligonālo modeli no trīsdimensiju skalārā lauka (to bieži sauc par vokseļa modeli).

Šis algoritms apskata visu skalāro lauku (šī uzdevuma gadījumā tās ir tomogrammas jeb divdimensiju attēli),

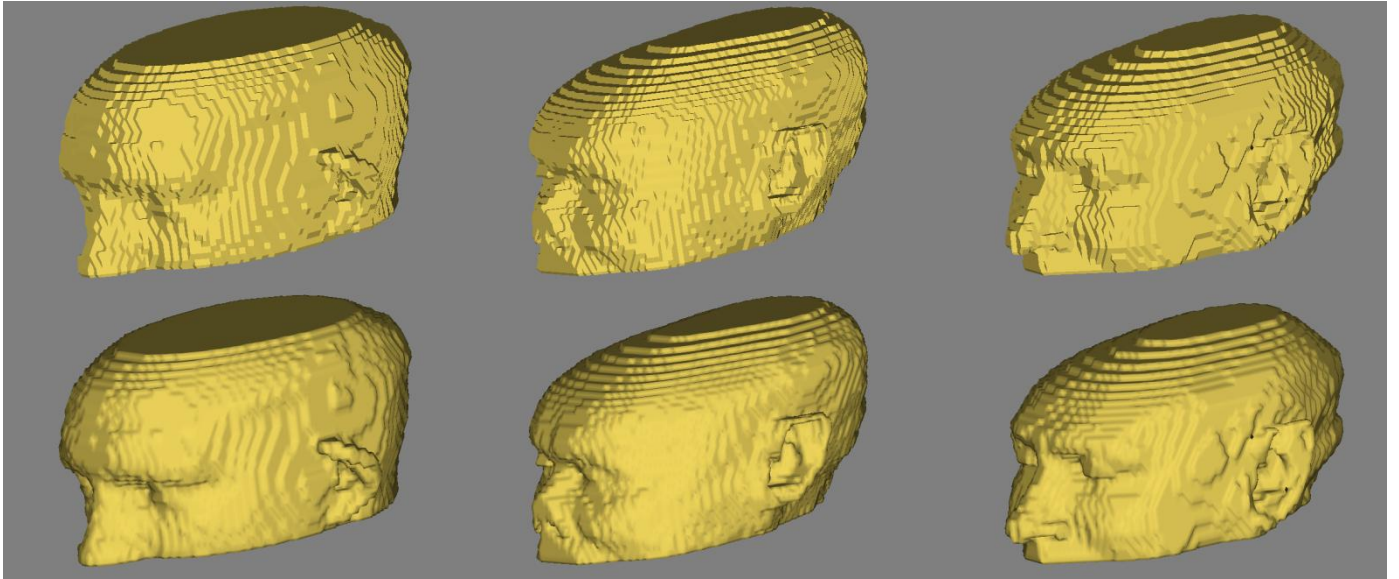
vienlaicīgi apstrādājot astoņus kaimiņvokseļus (veidojot kubu), tad tas nosaka, ar kādiem poligoniem var aprēķināt virsmu, kas atrodas kubā. Tad visi individuālie kubi tiek savienoti, lai izveidotu vēlamu virsmu.

Tas tiek darīts, veidojot iepriekš aprēķināto masīvu, kas sastāv no 256 iespējamām poligonu konfigurācijām ($2^8 = 256$) kubā. Veidojot kubu, tiek apskatīti visi astoņi kaimiņvokseļi, ja caur vokseļi iet virsma, tad šī vokseļa vērtība būs vienāda ar vieninieku, citādi vērtība būs nulle, tādā veidā tiek atrasta tekošā kuba konfigurācija. Tad, izmantojot šo konfigurāciju, tiek izveidoti attiecīgie poligoni un izveidotās poligonu virsotnes tiek izvietotas uz attiecīgajām vietām kubu malās.

Izmantojot simetriju un inversiju, var samazināt iespējamo konfigurāciju skaitu (256) līdz 14 unikālām konfigurācijām. 3. attēlā var redzēt simetrijas un inversijas piemēru, kā arī visas 14 unikālās konfigurācijas.



3. att. Maršējošo kubu inversijas un simetrijas piemēri (pa kreisi), Maršējošo kubu 14 unikālas konfigurācijas (pa labi).



4. att. Maršējošo kuba metodes pielietošanas piemēri (kuba izmērs - 5 pikseļi). Attēla augšpusē attēlotas medicīnisko objektu trīsdimensiju virsmas, kas tiek iegūtas, izmantojot maršējošo kuba metodi, un attēla apakšpusē - tie paši objekti, tikai pielietojot virsotņu nogludināšanu.

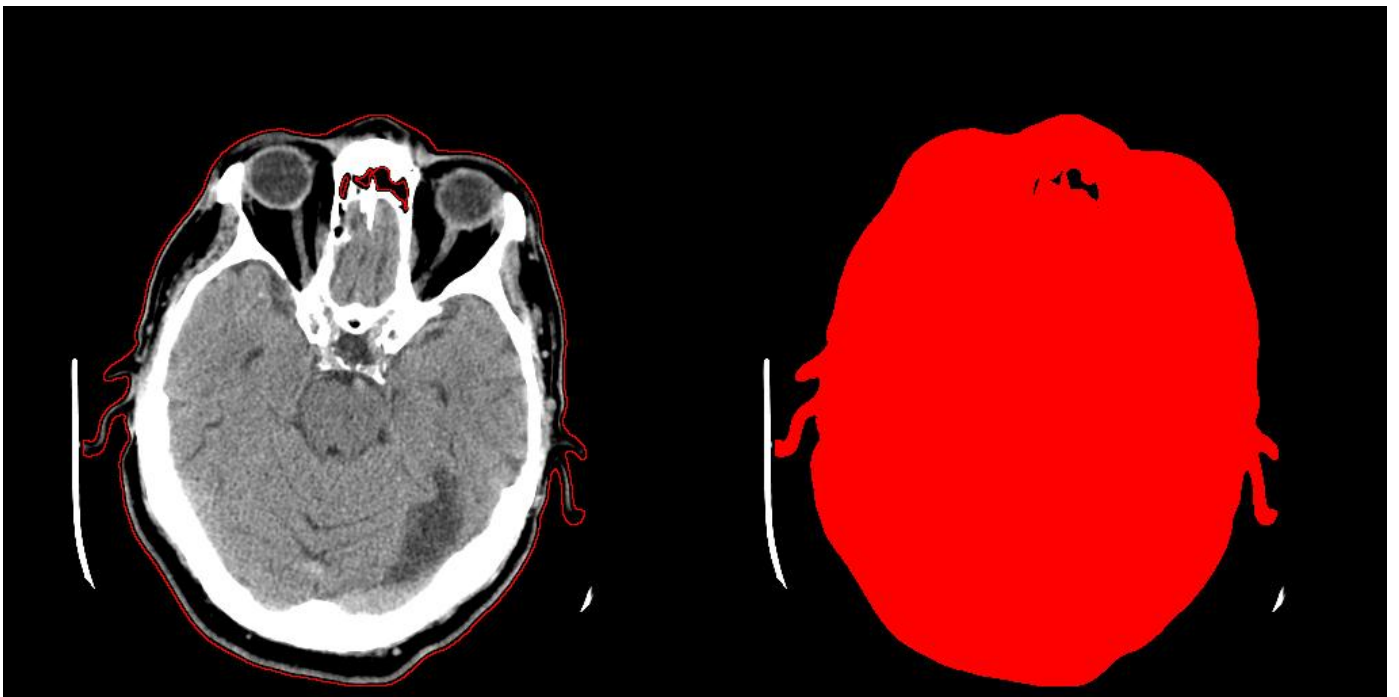
Vokseļa gradientu arī var pieņemt par normāles vektoru virsmi, kas iet caur šo vokseli. Tāpēc šīs normāles var interpolēt pēc kuba mālam, lai atrastu normāles vektorus poligonu virsotnēm. Tas ir ļoti lietderīgi, jo normāles vektorus izmanto, lai apgaismotu izveidoto virsmu.

V.METOŽU SALĪDZINĀŠANA

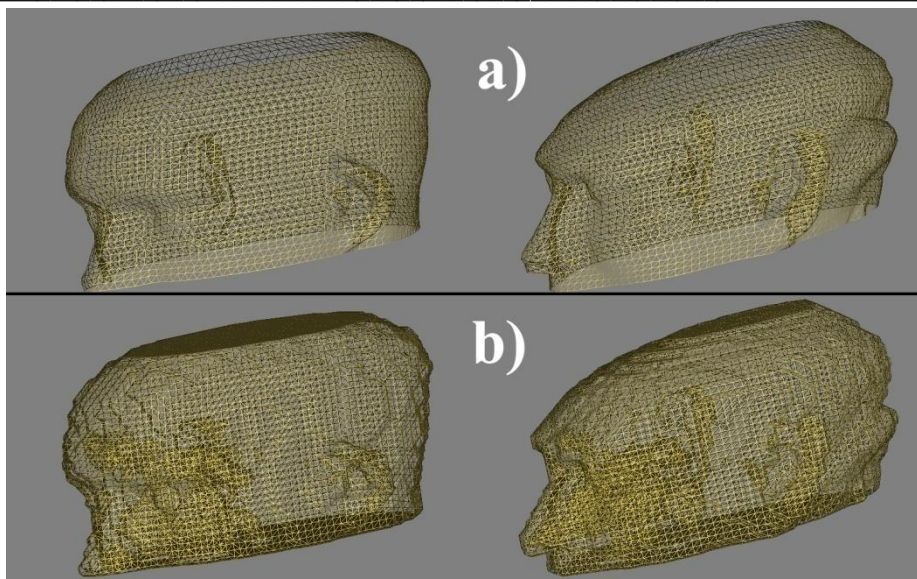
Abas metodes tiek salīdzinātas pēc trim kritērijiem, tie ir: ieejas dati, modeļa poligonālais režģis un trīsdimensiju virsma.

A. Ieejas datu salīdzināšana

Abas metodes kā ievaddatus izmanto pacienta tomogrammas (divdimensijas attēli), kas bija iepriekš segmentētas. Galvenā atšķirība, ka tiek izmantota mazliet atšķirīga segmentācija. Piedāvātā metode izmanto segmentāciju, kura nepieciešamo objektu apzīmē ar sarkanu kontūru, bet maršējošie kubi izmanto segmentāciju, kas apzīmē visu segmentu ar sarkano krāsu (ievaddatu melnbaltos piemērus var redzēt 5. attēlā).



5. att. Ieejas datu salīdzināšana. Pa kreisi - piedāvātās metodes ieejas dati, pa labi - Maršējošo kuba metodes ieejas dati.



6. att. Poligonālā režģa salīdzināšana. Piedāvātās metodes režģis atrodas augšā(a), Maršējošo kubu metodes režģis atrodas lejā(b).

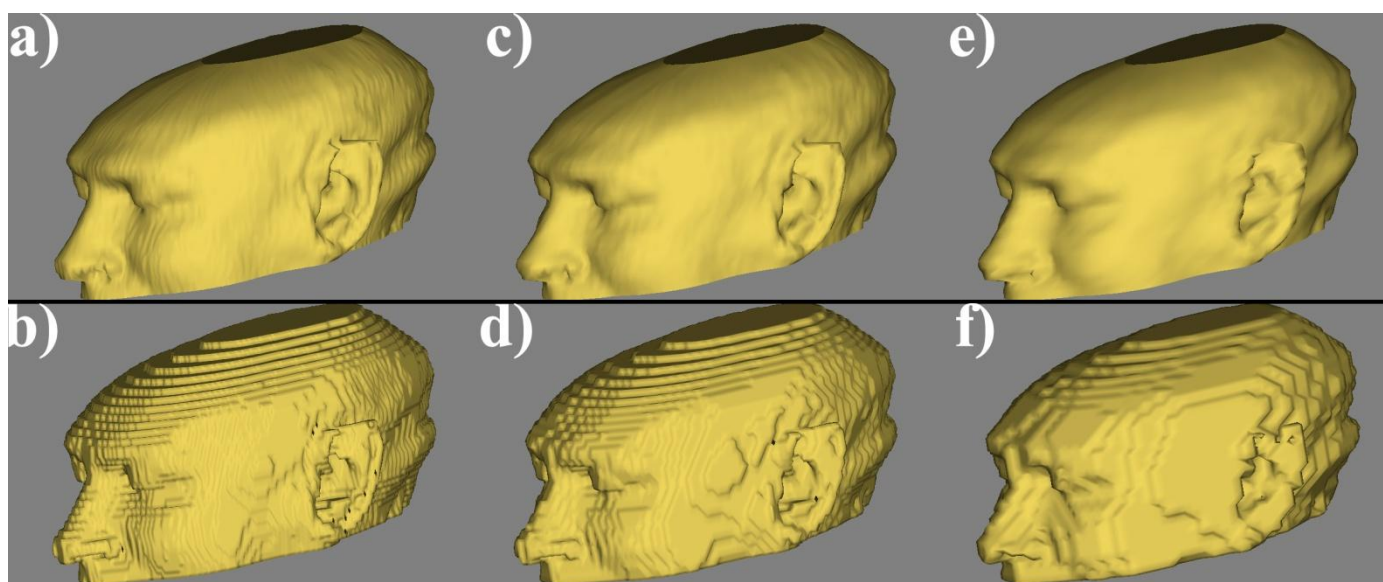
B. Poligonālā režģa salīdzināšana

6. attēlā var redzēt modeļu poligonālos režģus, kas tiek iegūti, izmantojot piedāvāto metodi un maršējošo kubu metodi. Lai labāk redzētu atšķirību starp metodēm, tiek izmantoti divi dažādi objekti, piedāvātā metode izmantoja meklēšanas rādiusu – 10 pikseli, un maršējošo kubu metodei kubu izmērs arī bija 10 pikseli. Galvenā atšķirība starp abām metodēm ir tāda, ka piedāvātā metode izveidoja vēlamo trīsdimensiju virsmu, izmantojot gandrīz trīskārt mazāk poligonus. Izmantojot piedāvāto metodi, pirmā objekta poligonālais režģis sastāv no 7202 poligoniem, bet, izmantojot maršējošo kubu metodi, tas pats objekts bija veidots no 18558 poligoniem. Ar otro objektu ir līdzīga situācija: piedāvātā

metode – 7521 poligons, maršējošo kubu metode – 20184 poligoni.

C. Trīsdimensiju virsmu salīdzināšana

Lai salīdzinātu piedāvāto metodi ar maršējošo kubu metodi, tika izveidotas viena objekta trīsdimensiju virsmas, izmantojot abas metodes ar dažādiem kontrolpunktu meklēšanas rādiusiem un maršējošo kubu izmēriem, rezultātu var redzēt 7. attēlā. Skatoties 7. attēlu ir viegli saskatīt, ka piedāvātā metode veido gludāku virsmu un ka neatkarīgi no kuba izmēriem, izmantojot maršējošo kubu algoritmu, vienmēr rodas kāpņu efekts.



7. att. Trīsdimensiju virsmas salīdzināšana. Attēla augšpusē ir piedāvātā metode un apakšpusē ir maršējošo kubu metode. Pa kreisi piedāvātajai metodei kontrolpunktu meklēšanas rādiuss ir 3 pikseli(a) un maršējošo kubu metodei kubu izmērs arī ir 3 pikseli(b). Pa vidu kontrolpunktu meklēšanas rādiuss ir 5 pikseli (c) un kubu izmērs ir 5 pikseli (d). Pa labi kontrolpunktu meklēšanas rādiuss ir 10 pikseli (e) un kubu izmērs ir 10 pikseli (f).

VI. SECINĀJUMI

Abas metodes tika salīdzinātas pēc trim kritērijiem: ieejas dati, modeļu poligonālais režģis un trīsdimensiju virsma. Iznāca, ka piedāvātā metode veido labāko rezultātu pēc diviem kritērijiem – poligonālais režģis un trīsdimensiju virsma.

Abām metodēm bija vienādi ieejas dati – tomogrammas, kas bija iepriekš segmentētas, lai izdalītu vēlamu medicīnisko objektu. Vienīgā atšķirība starp abām metodēm pēc ieejas datiem ir tāda, ka tās pieprasa mazliet dažādu segmentāciju. Piedāvātajai metodei ir nepieciešams, lai vēlamajam objektam būtu tikai iekrāsots kontūrs, bet maršējošie kubi prasa, lai viss objekts būtu iekrāsots ar vienu krāsu.

Poligonālie režģi abām metodēm ļoti atšķiras, galvenokārt ar to, ka, izmantojot maršējošo kubu metodi, tiek veidots gandrīz trīskārt lielāks poligonu skaits, lai aprakstītu objekta trīsdimensiju virsmu, nekā izmantojot piedāvāto metodi.

Piedāvātā metode vienmēr veido gludāko poligonālo virsmu, bet, izmantojot mazāko kontrolpunktu meklēšanas rādīšus, virsmas precizitāte kļūst mazāka. Izmantojot maršējošo kubu metodi, trīsdimensiju virsmai vienmēr rodas kāpņu efekts, izmantojot mazāko kubu izmēru, kāpņu efekts pa horizontāli kļūst mazāks, bet pa vertikāli tas kļūst lielāks.

Maršējošo kubu algoritma lielākā priekšrocība ir tā, ka tas nav atkarīgs no kontrolpunktiem un var izveidot brīvas formas objekta trīsdimensiju virsmu.

Maršējošo kubu algoritma galvenais trūkums ir tas, ka neatkarīgi no kuba izmēriem vienmēr rodas kāpņu efekts. Var

iegūt gludāku virsmu, izmantojot lielāku slāņu skaitu, tomēr tas ievērojami palielinās arī poligonu skaitu, kā arī pacients saņems lielāku radiācijas devu, jo būs nepieciešams veidot vairāk tomogrammu.

LITERATŪRAS SARAKSTS

- [1] Kovaļovs M. un Glazs A. „Par vienu pieeju medicīnas attēlu 3d modeļa izstrādāšanā.” Rīgas Tehniskās universitātes zinātniskie raksti, Datorzinātne, 5. sērija, 42. sējums, 2010. 19. – 24. lpp.
- [2] W.E. Lorensen un H.E. Cline. „Marching Cubes: a high resolution 3D surface reconstruction algorithm”. Computer Graphics, Vol. 21, No. 4, pp 163-169 (Proc. of SIGGRAPH), 1987.

Mihails Kovalovs was born in Riga, Latvia, on September 7, 1986. He is a PhD student at Riga Technical University, Faculty of Computer Science and Information Technology. He received the degree of Master of Technical Sciences from Riga Technical University in 2011.

Aleksandrs Glazs was born in Riga, Latvia, on April 7, 1939. He is a professor at Riga Technical University, Faculty of Computer Science and Information Technology, Vice-Director of Institute of Computer Control, Automation and Computer Engineering, Head of Image Processing and Computer Graphics professor's group. He received the degree of Candidate of Technical Sciences from the Riga Polytechnic Institute in 1971 and the degree of Doctor of Technical Sciences (Dr.habil.sc.ing.) from the Russian Academy of Science in Moscow in 1992. He has written more than 100 scientific publications in different areas, including: pattern recognition, images processing, computer vision and computer graphics. Address: Meza str. 1, LV-1048, Riga, Latvia E-Mail: glaz@egle.cs.rtu.lv

Mihails Kovalovs, Aleksandrs Glazs. Surface Modeling of a Medical Object Using Triangulation and Marching Cube Algorithm

This paper describes two methods that can be used to create three-dimensional surface of a medical object. The first method uses control points and a triangulation algorithm to create three-dimensional surface, the second method is based on the marching cubes algorithm. Then both methods are compared to one another, describing advantages and disadvantages of both methods.

The proposed method combines two algorithms: evenly placed control point selection algorithm and a triangulation algorithm. Because the proposed method consists of two algorithms it works in two stages. Firstly control point selection algorithm selects control points on segmented tomograms and then, using the triangulation algorithm the three-dimensional model is built based on these control points. The main advantage of proposed algorithm is that it creates a considerably smoother three-dimensional surface than the marching cube algorithm. Another advantage of the proposed method is that, in similar circumstances it uses almost three times less polygons to describe an object, than the marching cubes algorithm.

Marching cube algorithm is one of the algorithms, which is used to create three-dimensional models in medicine. The marching cube algorithm works by dividing the three-dimensional space into cubes of the same size, then the surface that goes through each cube is described, using one of fourteen polygon combinations. The main advantage of the marching cube algorithm is that it doesn't use control points to create a three-dimensional model, because of that, this method can be used to create model of an object of any form. The main disadvantage of the marching cube algorithm is that when creating three-dimensional models based on tomograms there will always be an aliasing effect present on the model.

Михаил Ковалёв, Александр Глаз. Моделирование поверхности медицинского объекта с использованием алгоритмов триангуляции и марширующих кубов

Данная работа описывает два метода, которые можно использовать для построения трехмерной поверхности медицинского объекта. Первый метод использует контрольные точки и алгоритм триангуляции для построения трехмерной поверхности, второй метод – это алгоритм марширующих кубов. Далее проводится сравнительный анализ обоих методов, и описываются их преимущества и недостатки.

Предложенный метод объединяет в себе два алгоритма: алгоритм равномерного выбора контрольных точек и алгоритм триангуляции. Так как предложенный метод состоит из двух алгоритмов, он работает в два этапа. Сначала на сегментированных томограммах выбираются контрольные точки и далее по этим точкам, при помощи алгоритма триангуляции, строится трехмерная поверхность. Главное преимущество данного алгоритма, заключается в том, что он создает значительно более гладкую поверхность, чем метод марширующих кубов. Еще одно преимущество предложенного алгоритма заключается в том, что для описания медицинского объекта при схожих условиях, он использует почти в три раза меньше полигонов, чем алгоритм марширующих кубов.

Метод марширующих кубов является одним из наиболее применяемых методов построения трехмерной модели в медицине. Принцип работы марширующих кубов заключается в том, что он делит трехмерное пространство на множество кубов одинакового размера и внутри каждого куба он описывает ту часть поверхности, которая проходит через данный куб, используя одну из четырнадцати комбинаций полигонов. Главное преимущество метода марширующих кубов заключается в том, что он не использует контрольные точки для построения трехмерной модели, поэтому этот метод можно использовать для построения модели объекта любой формы. Главный недостаток метода марширующих кубов заключается в том, что при построении трехмерной модели по томограммам, на модели всегда присутствует эффект ступенчатости.