Ekstrakcija čvorova iz 3D modela statističkim ocenjivanjem njihove geometrijske važnosti

Bata Vasić, *Elektronski fakultet u Nišu*

Sadržaj — **Ovaj rad prezentuje novi metod ocenjivanja geometrijske važnosti čvorova trodimenzionalnog (3D) modela korišćenjem skupa ocena ključnih topoloških kriterijuma. Na osnovu statistički obrađenih ocena naš metod formira jedinstveni kriterijum ocenjivanja geometrijske važnosti svih tačaka diskretnog žičanog modela, pri čemu je geometrijska važnost čvorova modela definisana kao mera njihove invarijantnosti u odnosu na proces simplifikacije. Rezultat ekstrakcije čvorova je vektor rednih brojeva čvorova, poređanih po opadajućoj vrednosti njihove geometrijske stabilnosti. Pozicija čvora u tako generisanom nizu odgovara stepenu njegove invarijantnosti u odnosu na brisanje pri upotrebi nemalicioznih procesa optimizacije 3D geometrijske mreže.**

Ključne reči —**3-D model, 3D mreža, ekstrakcija čvorova, geometrijska stabilnost, otpornost na brisanje.**

I. Uvod

Noviji period u oblasti ispitivanja i obrade trodimenzionalnih (3D) modela pokazuje neprestanu težnju naučnika i istraživača ka preciznom definisanju trodimenzionalnih oblika. U tom smislu se nastavljaju napori da se jednostavnim diskretnim žičanim modelima predstave kompleksne figure i oblici dobijeni na primer iz specijalizovanih 3D skenera. Diskretizacija ovakvih oblika sama po sebi pojednostavljuje kontinualnost pa se već na početku postavlja pitanje izbora "važnih" tačaka koji će "nositi" diskretnu geometrijsku strukturu. Međutim, hardverska rešenja pomenutih skenera definišu izbor čvorova za predstavljanje izborom koraka diskretizacije i tako aproksimacijom rizikuju brisanje tačaka koje nose informaciju o obliku. Ipak, mogućnost izbora veoma malih koraka diskretizacije omogućava prilično verno mrežno predstavljanje kontinualnih oblika, ali istovremeno doprinosi enormnom povećanju kompleksnosti mreže. Pojednostavljenje takvih mreža je logičan naredni korak i ujedno tema mnogih naučnih istraživanja.

Dobro poklapanje diskretne 3D mreže sa kontiunalnim modelom uz korišćenje što manjeg broja čvorova je cilj optimizacionih procesa, bilo da su procesi namenjeni rekonstrukciji oblika iz neorganizovanog skupa tačaka ili pojednostavljenju složenog modela brisanjem tačaka koje ne učestvuju u kreiranju oblika. Greg Turk nam, na primer, u svom radu [1] pokazuje metod smanjenja broja čvorova ponovnim popločavanja površine. Raspoređujući novi skup čvorova po kriterijumu veće gustine u područjima veće zakrivljenosti on praktično čuva geometrijski važne čvorove od brisanja. Minimizacijom funkcije energije diskretnog 3D mrežnog modela Hoppe sa saradnicima [2] prezentuje metod uspešnog smanjenja broja čvorova i površi, uvodeći ovim radom pojam optimizacije mreže. Kasniji radovi prezentuju razne algoritme optimizacije, kao što su *Progressive Meshes* [3], *Simplification Envelopes v1.1* [4], *JADE v2.1* [5] i *QSlim v2.0b* [6]. Ovi algoritmi upravo daju smernice za izdvajanje i razvrstavanje različitih kriterijuma ocenjivanja čvorova, od kojih je nesumnjivo najvažniji kriterijum zakrivljenosti površine. Ipak, podrobnijim posmatranjem suština navedenih metoda dolazimo do zaključka da pomenuti kriterijum, iako najznačajniji, nije jedini. Određivanje, izdvajanje i razvrstavanje pojedinih kriterijuma, kao i određivanje njihovog procentualnog učešća (*rejtinga*) u ocenjivanju geometrijske i topološke važnosti čvorova je tema ovog rada.

Još jedan takođe veoma važan aspekt primene rezultata ocenjivanja važnosti čvorova kao osnovnih elemenata geometrije jeste u povećanju robusnosti *vodenog žiga* prilikom skrivanja podataka unutar geometrijske strukture 3D modela. Tako ovaj rad detaljnije opisuje principe statističkog formiranja i rangiranja kriterijuma za ocenu geometrijske važnosti čvorova koristeći Ordered Statistics Vertex Extraction and Tracing Algorithm (OSVETA) [7]. Rezultat našeg algoritma je vektor rednih brojeva čvorova poređanih po opadajućoj vrednosti njihove geometrijske važnosti. Ilustracija upotrebe rezultata ovog istraživanja pri skrivanju vodenog žiga u geometrijsku strukturu diskretne 3D mreže modulacijom kvantizovanih indeksa u kombinaciji sa kodovima za ispravljanje grešaka može se videti u našem radu [8].

O značaju stepena važnosti ili stabilnosti čvorova govore dva pomenuta pravca istraživanja, ali se takođe može govoriti o širokom spektru upotrebe u raznim analizama geometrije i topologije diskretnih 3D modela. Postignuti rezultati su primenjivi i u oblastima specijalnih efekata nad 3D mrežama s obzirom da upravo rezultujući čvorovi učestvuju u opisima oblika modela i najistaknutijih zakrivljenosti.

Rad je organizovan na sledeći način: U odeljku II govorimo o preliminarnim definicijama i oznakama, osvrćući se na važna relevantna istraživanja. U odeljku III definišemo i opisujemo kriterijume za ocenjivanje važnosti tj. stabilnosti čvorova. U istom odeljku takođe statistički upoređujemo značaj pojedinih kriterijuma. Rangiranje kriterijuma, konkretne numeričke rezultate kao i napomene o ograničenjima u merenjima dajemo u odeljku IV. Na kraju, odeljak V iznosi zaključke istraživanja, razmatranjem postignutih rezultata.

Bata Vasić, Elektronski fakultet u Nišu, Aleksandra Medvedeva 14, 18000 Niš, Republika Srbija (telefon: +381-63-417-696, e-mail: bata.vasic@elfak.ni.ac.rs).

II. Preliminarnosti

Ukoliko sve procese na zadatom diskretnom 3D objektu podelimo na konstruktivne (korisne) i destruktivne (maliciozne), procesi optimizacije i simplifikacije spadaju u prvu grupu i osnovni su korisni procesi. Druga grupa procesa, međutim može obuhvatati široku paletu raznih organizovanih ili pojedinačnih malicioznih dejstava. Ipak, ako je cilj dejstava druge grupe procesa zloupotreba modela, možemo ponovo govoriti o važnim tačkama koje ni u tom slučaju ne bi smele biti uklonjene. Dakle, postoje tačke (čvorovi) mrežnog diskretnog modela koje učestvuju u formiranju oblika i čijim bi brisanjem ili translacijom 3D model izgubio osobenost, odnosno upotrebnu vrednost. Dalje se u ovom radu bavimo takvim tačkama. Destruktivna dejstva, koja za cilj imaju topološko uništavanje objekta, nam nisu predmet interesovanja.

Definišimo na početku nekoliko osnovnih osobina važnih tačaka. Na osnovu njih ćemo kasnije formirati nekoliko osnovnih kriterijuma ocenjivanja važnosti ili stabilnosti.

A. Procena zakrivljenosti

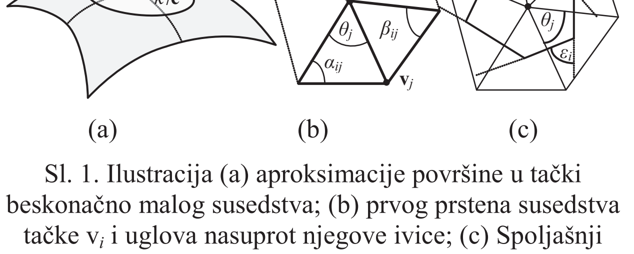
Zakrivljenost površi je još od vremena Fridriha Gausa i njegovih radova [9] jedna od glavnih naučnih i istraživačkih tema višedimenzonalne geometrije. Precizna procena zakrivljenosti je ključ definisanja oblika trodimenzionalnog objekta. Još 1954. godine Fred Atniv je objavio rad [10] u kome je primetio da ekstremum zakrivljenosti duž konture pruža najviše informacija neophodnih za prepoznavanje objekta iz crteža. Izabrao je tačke maksimalne vizualne zakrivljenosti i povezao pravim linijama. Dokazao je da je to dovoljno za prepoznavanje oblika.

Međutim, sa diskretne tačke gledišta ne možemo govoriti o tačnom izračunavanju zakrivljenosti već o njenoj proceni, koja nije trivielan proces. Dakle, neophodno je utvrditi najbolji način za procenu zakrivljenosti površine u čvoru, kako bi se što tačnije odredila njegova topološka važnost.

Naš rad [7] daje šira objašnjenja odabira i izračunavanja procene diskretne zakrivljenosti, odakle izvodimo najznačajnije metode:

1) Diskretna Diferencijalna Geometrija

Osnove ovog metoda leže u Gausovom radu iz diferencijalne geometrije [9], odakle se za diskretna izračunavanja izvode dalji izrazi. Slika Sl. 1. [7] ilustruje veličine korišćene u narednim izvođenjima.



Sl. 1. Ilustracija (a) aproksimacije površine u tački beskonačno malog susedstva; (b) prvog prstena susedstva tačke v$_i$ i uglova nasuprot njegove ivice; (c) Spoljašnji uglovi Voronoi regiona.

Naime, svaka tačka zadate *mnogostruke površine M* može se lokalno aproksimirati svojom tangentnom ravni, ortogonalnoj na *vektor normale* **n**. Za svaki *jedinični pravac* **e** u tangentnoj ravni, *normalna zakrivljnost* **K** je definisana kao zakrivljenost krive koja pripada samoj površini i ravni koja sadrži **n** i **e**. Ekstremnu vrednost **K** definišu dve *glavne zakrivljenosti* κ_1 i κ_2 sa svojim pripadajućim ortogonalnim pravcima $\mathbf{e}_1$ i $\mathbf{e}_2$ (Sl. 1. [7]). *Srednja zakrivljenost* i *Gausova zakrivljenost* su izračunate kao $\kappa_H=(\kappa_1+\kappa_2)/2$ i $\kappa_G=\kappa_1\kappa_2$. respektivno.

Koristeći prethodna označavanja veličina izvodimo formulu za izračunavanje *normale srednje zakrivljenosti* i Gausove zakrivljenosti diskretne površine u zavisnosti samo od pozicije čvorova i uglova susednih trouglova [11]:

$$\mathbf{K}(\mathbf{v}_i)=\frac{1}{2\mathcal{A}_{Mixed}}\sum_{j\in N_1(i)}\left(cot\alpha_j+cot\beta_j\right)\left(\mathbf{v}_j-\mathbf{v}_i\right) \quad (1.1)$$

$$\kappa_G(\mathbf{v}_i)=\frac{1}{\mathcal{A}_{Mixed}}\left(2\pi-\sum_{j=1}^{f}\theta_j\right) \quad (1.2)$$

gde je f broj susednih trougaonih površi u čvoru $\mathbf{v}_i$ a θ_j je ugao j-tog susednog trougla u čvoru $\mathbf{v}_i$. $\mathcal{A}$ je područje prvog prstena susednih trouglova oko čvora $\mathbf{v}_i$.

Majer i saradnici [11] sugerišu opotrebu mešovitog regiona, pa $\mathcal{A}_{Mixed}$ predstavlja kombinaciju Voronoi regiona za oštrougle trouglove i polovine (ili četvrtine) celog regiona tupouglih trouglova:

$$\mathcal{A}_{Voronoi}=\frac{1}{8}\sum_{j\in N_1(i)}\left(cot\alpha_{ij}+cot\beta_{ij}\right)\left\|v_i-v_j\right\|^2 \quad (1.3)$$

$$\mathcal{A}_{non-Voronoi}=\begin{cases}\dfrac{1}{4}\displaystyle\sum_{j\in N_1(i)}\left(\cot\theta_{ij}+\cot\alpha_{ij}\right)\left\|v_i-v_j\right\|^2\sin^2\theta_{ij}\\[2ex] \dfrac{1}{8}\displaystyle\sum_{j\in N_1(i)}\left(\cot\theta_{ij}+\cot\alpha_{ij}\right)\left\|v_i-v_j\right\|^2\sin^2\theta_{ij}\end{cases} \quad (1.4)$$

2) Poklapanje kvadrika

Drugi metod je danas u široj upotrebi a ideja se zasniva na činjenici da se glatka površi nekog objekta lokalno može aproksimirati kvadratnom polinomalnom površinom. Praktičnu aplikaciju ovog metoda dao je Pjer Alez sa saradnicima u radu [12]. Metod poklapa svaku tačku kvadrika sa susednim tačkama izabrane tačke u lokalnom koordinantnom okviru. Okvir je postavljen u izabranoj tački sa Z koordinantnom osom koja je poravnata duž procenjene normale površine u toj tački. Zakrivljenost poklopljenog kvadrika predstavlja procenu zakrivljenosti diskretne površine.

Za jednostavni kvadrik $z' = ax'^2+bx'y'+cy'^2$ rešenje sistema linearnih jednačina za zadate vrednosti a',b',c'

$$\begin{bmatrix}x_1^2 & x_1y_1 & y_1^2\\ \vdots & \vdots & \vdots\\ x_n^2 & x_ny_n & y_n^2\end{bmatrix}\begin{bmatrix}a'\\ b'\\ c'\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}z_1\\ \vdots\\ z_n\end{bmatrix} \quad (1.5)$$

vodi ka izračunavanju glavnih zakrivljenosti κ_1 i κ_1 kao:

$$\begin{aligned}\kappa_1&=a'+c'+\sqrt{(a'-c')^2+b'^2}\\ \kappa_1&=a'+c'-\sqrt{(a'-c')^2+b'^2}\end{aligned} \quad (1.6)$$

Na osnovu izračunatih glavnih zakrivljenosti dolazimo do izraza za izračunavanje Gausove zakrivljenosti i srednje zakrivljenosti date respektivno u sledećem izrazu:

$$\kappa_G = 4a'c' - b'^2, \quad \kappa_H = a' + c' \qquad (1.7)$$

B. Optimizacija i simplifikacija

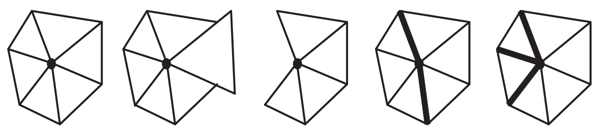
Drugu važnu grupu karakteristika čvorova diskretnog 3D modela predstavljaju osobine koje procesi optimizacije i simplifikacije respektuju prilikom izbora čvorova za uklanjanje iz mreže. I ovde se takvi čvorovi mogu generalno razvrstati po stepenu važnosti, međutim, moramo upozoriti da ovi procesi vrednuju osobine suprotne pomenutim karakterističnim zakrivljenostima.

U ovom odeljku navodimo najvažnije metode koje procesi optimizacije koriste prilikom dejstva, a time dolazimo i do novih važnih kriterijuma koje pridodajemo ranije definisanim. Naime, iz našeg rada [7] uočavamo i izdvajamo osnovni pravac procesa optimizacije [13]:

1) Desetkovanje čvorova

Ovaj proces se odvija preko svoja tri koraka: karakterizacija lokalne geometrije i topologije čvorova, procena kriterijuma desetkovanja sa brisanjem i trouglizacija (popunjavanje) rupa nastalih brisanjem odabranih čvorova.

Osnova karakterizacije lokalne geometrije i topologije čvorova se sastoji u proceni prirode čvora i utvrđivanju njegovog eventualnog učešća u formiranju oblika. Zbog toga se u ovom koraku čvorovi razvrstavaju u nekoliko grupa, čije su glavne osobenosti ilustrovane na Sl. 2:



(prost) (kompleksan) (granični) (ivični) (ugaoni)

Sl. 2. Klasifikacija čvorova po lokalnim geometrijskim i topološkim osobinama.

U slučaju našeg istraživanja klasifikacija čvorova po geometrijskim i topološkim osobinama ističe važnost čvorova koji formiraju lokalne unutrašnje ivice i uglove, nasuprot manje važnosti onih koji su svrstani u grupu prostih. Kompleksni i granični čvorovi mogu istovremeno predstavljati topološke greške, te je u tom smislu nužno njihovo ocenjivanje, tj. neophodno je respektovati kriterijume koji ocenjuju ove osobenosti čvorova u slučaju kada oni predstavljaju topološke greške.

Drugi korak desetkovanja čvorova je razmatranje osobina onih koji su već na spisku za brisanje. Osobine prostih čvorova ponovo bivaju razmatrane u smislu lokalne geometrije kada se neki od njih izbacuju iz spiska za brisanje. Velika udaljenost čvora od srednje ravni koju formiraju njegovi susedi na pr. može ukazivati na čvor velike lokalne zakrivljenosti. Ista logika važi i kod razmatranja udaljenosti čvora od lokalne granične ivice.

2) Minimizacija energetske funkcije kod optimizacije

Različiti metodi u pristupu razmatranja optimizacionih procesa definišu i razne kriterijume za ocenjivanje čvorova, ali je suština dejstva procesa optimizacije i simplifikacije ipak za sve metode definisana minimizacijom energetske funkcije koju možemo napisati izrazom [14]: $E(K,V)=E_{dist}(K,V)+E_{rep}(K)$, gde set pozicija čvorova V i simplifikujući kompleks K definišu mrežu $M=(K,V)$. Mreža M minimizuje datu energetsku funkciju, pri čemu je energetska distanca E_{dist} jednaka zbiru kvadrata rastojanja između tačaka $X+\{x_1, ...,x_n\}$ i mreže.

$$E_{dist}\left(K,V\right) = \sum_{i=1}^{n} d^2\left(x_i, \phi_V\left(\left|K\right|\right)\right) \qquad (1.8)$$

Energetska zastupljenost $E_{rep}(K)=c_{rep}m$ je podešena tako da bude proporcionalna broju čvorova m od K. Optimizacija omogućava čvorovima da budu dodati ili uklonjeni iz mreže, pa će se u stvari najbolji rezultat dobiti kada je E_{rep} smanjeno, a E_{dist} povećano onoliko da je njihov zbir minimizovan. Parametar koji definiše korisnik c_{rep} omogućava kontrolisani kompromis između preciznosti geometrijskog poklapanja i štedljivosti reprezentovanja.

III. Statističko ocenjivanje geometrijske i topološke važnosti čvorova

Uzimajući u obzir sve do sada pomenuto dolazimo do ideje da kriterijumi ocenjivanja moraju biti rangirani po važnosti ocene kojom ocenjuju lokalnu geometriju u čvoru. Važnost ocene je istovremeno i rejting određenog kriterijuma, pa tako svaki od kriterijuma mora imati svoj težinski indeks. Težinski indeks je brojna vrednost u rasponu od 0 do 1, koja odgovara procentu stabilnih čvorova izdvojenih tim kriterijumom u odnosu na ukupan broj čvorova.

Sve rezultate i numeričke vrednosti koje prezentujemo u ovom radu odnose se na upotrebu 3D modela "Naissa by Bata" [15], dok sledeća tabela daje spisak rejtinga svih kriterijuma koje smo ovim radom obuhvatili. Težinski indeksi su dati za različite vrednosti FT optimizacije (Face threshold), pri korišćenju algoritma datog u [16].

TABELA 1 REJTING KRITERIJUMA OCENJIVANJA ZA RAZLIČITE VREDNOSTI FT OPTIMIZACIJE

Kriterijumi	**Vrednost FT optimizacije**					
	2	4	6	8	10	13
$\kappa_G > 0$	0.544	0.347	0.239	0.178	0.146	0.107
$\kappa_G < 0$	0.456	0.301	0.192	0.124	0.087	0.055
$\kappa_H > 0$	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
$\kappa_H < 0$	0.999	0.648	0.430	0.302	0.233	0.162
$\kappa_{Max} > 0$	0.007	0.006	0.005	0.004	0.003	0.002
$\kappa_{Min} < 0$	1.000	0.648	0.431	0.302	0.233	0.162
$\kappa_{G1} > 0$	0.567	0.367	0.254	0.185	0.148	0.107
$\kappa_{G1} < 0$	0.433	0.281	0.177	0.117	0.085	0.055
$\kappa_{H1} > 0$	0.702	0.432	0.298	0.226	0.184	0.132
$\kappa_{H1} < 0$	0.298	0.216	0.133	0.076	0.049	0.030
$el_{Coeff} >$	0.362	0.241	0.184	0.144	0.121	0.099
$el_{Coeff} <$	0.638	0.406	0.247	0.158	0.112	0.063
$Bdis > 0$	0.557	0.379	0.263	0.192	0.155	0.114
$SBDis > 0$	0.557	0.379	0.263	0.192	0.155	0.114
$SBDis < 0$	0.443	0.269	0.168	0.110	0.078	0.048
$VIS > mean(VIS)$	0.274	0.183	0.137	0.109	0.087	0.067
$TUP > 90$	0.717	0.461	0.314	0.227	0.182	0.136
$DUG < mean(DUG)$	0.604	0.401	0.268	0.182	0.138	0.087
$H_{Grad} > mean(H_{Grad})$	0.449	0.324	0.228	0.155	0.112	0.072
$H_{Grad} < mean(H_{Grad})$	0.551	0.324	0.202	0.147	0.121	0.090
$G_{Grad} > mean(G_{Grad})$	0.150	0.113	0.088	0.061	0.053	0.034
$G_{Grad} < mean(G_{Grad})$	0.850	0.535	0.343	0.241	0.180	0.128
$\psi_{max} > 0$	1.000	0.648	0.431	0.302	0.233	0.162
$\psi_{min} > 0$	1.000	0.648	0.431	0.302	0.233	0.162
$\Theta > 360$	0.456	0.301	0.192	0.124	0.087	0.055
$\Theta < 360$	0.544	0.347	0.239	0.178	0.146	0.107

Prva grupa kriterijuma je vezana za procenu zakrivljenosti: Gausova i srednja zakrivljenost (κ_G i κ_H), kao i glavne zakrivljenosti (κ_{max} i κ_{min}) izračunata metodom opisanom u odeljku II.A.1), kao i Gausova i srednja zakrivljenost (κ_{G1} i κ_{H1}) izračunata metodom opisanom u odeljku II.A.2).

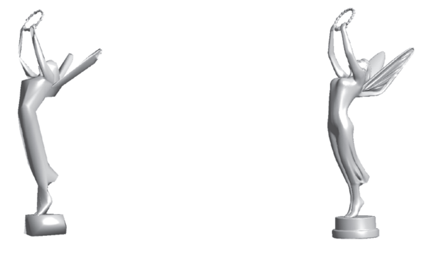
Druga grupa kriterijuma ocenjuje osobine koje respektuje proces optimizacije a tu spadaju: Koeficijent elongacije trouglova (el_{Coeff} koeficijent odnosa najduže i najkraće stranice susednog trougla), udaljenost čvora od centra mase (*Bdis*) i od srednje mase (*SBDis*), udaljenost čvora od srednje površine koju grade susedi (*VIS*), najveći ugao svih susednih trouglova (*TUP*) i najduža ivica kojoj pripada čvor (*DUG*).

Treća grupa kriterijuma ocenjuje unutrašnje lokalne ivice preko gradijenta srednje i Gausove zakrivljenosti u čvoru (H_{Grad} i G_{Grad}), kao i najvećeg i najmanjeg dihedralnog ugla ($\boldsymbol{\psi}_{max}$ i $\boldsymbol{\psi}_{min}$). U istu grupu spadaju i kriterijumi ocenjivanja čvora po veličini zbira uglova u njemu (θ_i).

IV. Numerički rezultati i ograničenja

Rezultati rejtinga kriterijuma dokazuju našu pretpostavku da grupa kriterijuma koja ocenjuje osobine zakrivljenosti ima znatno veći rejting od kriterijuma lokalne topologije. Međutim, izuzetak su lokalne osobine dihedralnih uglova $\boldsymbol{\psi}$ kao i zbira uglova Θ, koje imaju veći zbirni rejting od pomenute prve grupe. Ostale kriterijume zbog niskog rejtinga izbacujemo iz spiska koji smo pomenuli, ali ih koristimo za kreiranje spiska irelevantnih čvorova po pitanju stabilnosti (na pr. za *VIS* manje od neke zadate vrednosti), a neke čak za eliminaciju topoloških grešaka (na pr. *TUP*=180, el_{Coeff} >2).

Jedino ograničenje u eksperimentalnom radu sa navedenim 3D modelom je njegova perceptualna degradacija prilikom upotrebe velikih vrednosti FT optimizacije što pokazuje naredna slika:



Sl. 3. Perceptualna degradacija 3D modela Naissa by Bata za FT = 26 (levo) u odnosu na originalni model (desno).

V. Zaključci

Izdvajanjem čvorova statističkim ocenjivanjem njihovih osobina, započeli smo novi pravac u oblasti obrade geometrijskih podataka 3D modela. Akcenat smo stavili na izdvajanje čvorova zarad obezbeđivanja robustnosti vodenog žiga u užem kontekstu ovog naučnog pravca, ali je širi značaj metode takođe neosporan, imajući u vidu širinu opsega mogućih upotreba.

Sa druge strane smo pokazali da ograničenja u vidu nestabilnih rezultata pri visokim vrednostima optimizacije nisu relevantna jer prateća perceptualna degradacija dovodi u pitanje upotrebljivost optimizovanog 3D modela.

Literatura

[1] G. Turk, "Re-Tiling Polygonal Surfaces," in *Proc SIGGRAPH 92, ACM SIGGRAPH Computer Graphics*, Vol. 26, No. 2, pp. 55-64, 1992.

[2] H. Hoppe, T. DeRose, T. Duchamp, J. McDonald and W. Stuetzle, "Mesh Optimization," in *Proc. SIGGRAPH 93, ACM SIGGRAPH*, pp. 19–26, 1993.

[3] H. Hoppe, "Progressive Meshes," in *Proc. SIGGRAPH 96, ACM SIGGRAPH*, pp. 99-108, 1996.

[4] J. Cohen, D. Manocha and M. Olano, "Simplifying Polygonal Models Using Successive Mappings," in *Proc. Visualization '97, IEEE Computer Soc. Press*, Oct. 1997, pp. 395–402.

[5] M. Garland and P.S. Heckbert, "Surface Simplification using Quadric Error Metrics, " in *Proc. SIGGRAPH 97, ACM SIGGRAPH*, pp. 209–216, 1997.

[6] P. Lindstrom and G. Turk, "Fast and Memory Efficient Polygonal Simplification," in *Proc. Visualization '98, IEEE Computer Soc. Press*, pp. 279–286, 1998.

[7] B. Vasic, "Ordered Statistics Vertex Extraction and Tracing Algorithm (OSVETA)," Technical report No 324 - 2012 - III 30., Nis, April, 2012, [Online]. Available: http://www.batavasic.com/research/OSVETA.pdf

[8] B. Vasic and B. Vasic, "Simplification Resilient LDPC-Coded Sparse-QIM Watermarking for 3D-Meshes," Submitted to IEEE Transactions on Multimedia, [Online]. Available: http://arxiv.org/abs/1204.2214

[9] Dombrowski, "150 years after Gauss - Carl Friedrich Gauss 'Disquisitiones generales circa superficies curvas," *asterisque*, 62 (with the original text of Gauss and an English translation by A. Hiltebeitel and J. Morehead), 1979.

[10] F. Attneave. "Some aspects of visual perception.", *Psychology Review,* 61:183 193, 1954.

[11] M. Meyer, M. Desbrun, P. Schroder and A. H. Barr, "Discrete Differential-Geometry Operators for Triangulated 2-Manifolds mesh," *In Proc. VisMath'02*, Berlin, Germany, 2002.

[12] P. Alliez, D. Cohen-Steiner, O. Devillers, B. Levy and M. Desbrun, "Anisotropic Polygonal Remeshing," *in Proc ACM Transactions on Graphics,* SIGGRAPH '2003, Vol. 22, No 3, 2003.

[13] W.J. Schroeder, J.A. Zarge, and W.E. Lorensen, "Decimation of triangle meshes," *Proc. of the SIGGRAPH 92*, ACM SIGGRAPH , 26(2):65–70, 1992.

[14] B. Vasic and V. Pavlovic, "Effects of the 3D model geometric region curvature to a topological structure simplification," *in Proc. Conference Telecommunications Forum (TELFOR)-2011*. Book-19th -P. 1135-1138.

[15] Serbian Film Center, Naissa Trophy [Online Available:] http://www.batavasic.com/research/Naissa_by_Bata.zip.

[16] M. Kauffman, "Optimizing Your Autodesk® 3ds Max® Design Models for Project Newport", Autodesk University 2009,[Online Available], http://au.autodesk.com/?nd=material&session_material_id=6296, pp:6.

Abstract

This paper presents a new method for assessment of geometric importance of vertices in three-dimensional (3D) mesh, using a set of grades as assessment results of most important topological criteria. Using obtained statistical results our method forms a unique assessment criterion of the geometric iportance for all vertices of the discrete model. The geometric importance of vertices is then defined as a measure of their invariance in relation to the process of simplification. The result of the vertex extraction is a vector of geometric stability values arranged in decreasing order, whereas an each vertex position index corresponds to the value of its invariance in relation to deletion.

3-D MESH VERTEX EXTRACTION BY STATISTICAL ASSESSMENT OF GEOMETRIC IMPORTANCE

Bata Vasic