SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

GEODETSKI FAKULTET



Dino Grizelj

Multimedijski kartografski prikazi na nestandardnim medijima

Diplomski rad



Zagreb, 2018.

UNIVERSITY OF ZAGREB FACULTY OF GEODESY



Dino Grizelj

Multi-media cartographic displays on non-standard media

Master's thesis



Zagreb, 2018.

I.	AUTOR			
Ime i prezime:	Dino Grizelj			
II. DIPLOMSKI RAD				
Naslov:	Multimedijski kartografski prikazi na nestandardnim medijima			
Broj stranica:				
Broj tablica:				
Broj slika:				
Broj bibliografskih podataka:				
Ustanova i mjesto gdje je rad izrađen:	Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu			
Znanstveno područje:	Tehničke znanosti			
Znanstveno polje:	Geoinformatika			
Znanstvena grana:	Kartografija i fotogrametrija			
Mentor:	Doc. dr. sc. Dražen Tutić			
Oznaka i redni broj rada:				
III. OCJI	ENA I OBRANA			
Datum prijave teme:	15. siječnja 2017.			
Datum obrane rada:	21. rujna 2018.			
	Doc. dr. sc. Dražen Tutić			
Sastav povjerenstva pred kojim je branjen diplomski rad:	Doc. dr. sc. Vesna Poslončec-Petrić			
	Dr. sc. Ana Kuveždić Divjak			

¢

Zahvala:

Prvenstveno i posebno se zahvaljujem mentoru Draženu Tutiću na pomoći tijekom izrade ovog diplomskog rada i svom vremenu, strpljenju, savjetima i povjerenju koje mi je pružio. Također se zahvaljujem asistentici Ani Kuveždić Divjak na podršci, savjetima i ukazanoj pomoći koju sam primio tijekom izrade diplomskog rada.

Zahvaljujem se svim prijateljima koji su zauvijek obilježili moj studentski život..

Najviše se zahvaljujem svojim roditeljima i obitelji na ljubavi, podršci i razumijevanju te brojnim odricanjima kako bi mi omogućili ovo studiranje.

SADRŽAJ

1. UVOD	1
2. TEORIJA	2
2.1. PROJEKCIJSKO PRESLIKAVANJE	2
2.2. SFERA	
2.2.1. SFERNE KOORDINATE	3
2.2.2. GEOGRAFSKE KOORDINATE NA SFERI	4
2.3. SOS – SCIENCE ON A SPHERE	6
2.4. PERSPEKTIVNA PROJEKCIJA	7
2.5. TRANSFORMACIJA SLIKE IZ EKVIDISTANTNE CILINDRIČNE PROJEKCIJE U PROJEKCIJU SFERE	I PERSPEKTIVNU 10
2.6. 2D PARAMETRIZACIJA 3D MREŽA	
2.6.1. 3D MREŽA	
2.6.2. PARAMETRIZACIJA	14
3. BLENDER	16
3.1. SUČELJE	16
3.2. FUNKCIJE I KRATICE TIPKOVNICE I MIŠA	
4. IZRADA MODELA SFERE ZA PROJICIRANJE	23
5. KONFIGURACIJA I PROJICIRANJE NA SFERU	
5.1. SPLASH	
5.2. KALIBRACIJA PROJEKTORA	
5.3. RADIOMETRIJSKA KOREKCIJA	
6. OSTALI PRIMJERI PROJEKCIJA U SVIJETU	
7. ZAKLJUČAK	
LITERATURA	
POPIS TABLICA	
POPIS SLIKA	

Sažetak

Cilj ovoga diplomskog rada je prikazati mogućnosti multimedijskih kartografskih prikaza na nestandardnim medijima. Za nestandardni medij se odabrala sfera (pilates lopta promjera 70 cm). Sfera i projektor su se postavili u određeni položaj (konfiguraciju) za projekcijsko preslikavanje, te se primijenila određena matematička osnova perspektivne projekcije. Korišteni su filmovi/slike Zemlje u ekvidistantnoj cilindričnoj projekciji i transformirani u perspektivnu projekciju sfere te uz pomoć jednog projektora dobiven je prikaz odabranih filmova/slika na jednom dijelu sfere. Model projekcije izrađen je u programskom alatu Blender te je pravilan prikaz projekcije na dijelu sfere izveden uz pomoć programskog alata Splash.

Ključne riječi: multimedijska kartografija, sfera, projekcijsko preslikavanje, perspektivna projekcija, Splash.

Abstract

The aim of this master thesis is to show the possibilites of multi-medial cartographic displays on non standard media. For non standard media a sphere is chosen (pilates ball 70cm in diameter). The sphere and the projector were placed in a certain position (configuration) for projection mapping and a certain mathematical basis was chosen regarding perspective projection. Films and images were taken in an equidistant cylindrical projection and afterwards were transformed in a perspective projection of a sphere and with the help of one of the projectors a display of the films and pictures showed up on on side of the sphere. The projection model was created in the Blender programming tool and a proper display of the projection on the sphere was performed using the Splash programming tool.

Key words: multimedia cartography, sphere, projection mapping, perspective projection, Splash.

1. UVOD

Karte su prikladan instrument za tematsku i topografsku vizualizaciju situacije određenog teritorija. Donedavno, karte su bile dostupne samo na ne-elektroničkim medijima u atlasima, na platnu, itd. U današnjem vremenu računala, karte su također dostupne u digitalnom obliku, kao što su računala, mobilni telefoni itd.

Međutim, kartografski prikazi i njene projekcije nisu uvijek bili samo na standardnim medijima u ravnini kao što je platno. Otkako su se projekcijskim preslikavanjem počeli projicirati razni oblici i prikazi na nestandardnim medijima, izumljeni su razni alati kao dizajnirani instrumenti za poboljšanje neformalnih obrazovnih programa u znanstvenim centrima, sveučilištima i muzejima diljem zemlje.

Povezivanjem kartografskih prikaza, projekcija i preslikavanja sa računalnim programima, odnosno posebno izrađenim grafičkim korisničkim sučeljima, otvara se niz mogućnosti za prikaz i vizualizaciju u sustavu znanosti o Zemlji te podiže razina razumijevanja i naučenosti javnosti (osoba svih životnih dobi) o njoj i njenom okolišu.

Zadatak ovoga diplomskog rada bio je izraditi takav dizajnirani instrument (cijela konfiguracija) u kojem bi se projektorom trebao prikazati dio odabranog dijela Zemlje na polovici našeg nestandardnog medija, odnosno sfere (pilates lopte). Odabrani dio Zemlje se trebao iz ekvidistantne cilindrične projekcije transformirati u perspektivnu projekciju, koja odgovara zakonima i formulama sfere. Model projekcije izrađen je u programskom alatu Blender te programskim alatom Splash izvršen je pravilan prikaz zadane projekcije na promatrani dio sfere.

2. TEORIJA

2.1. PROJEKCIJSKO PRESLIKAVANJE

Projekcijsko preslikavanje, također poznato kao video mapiranje i prostorno povećana stvarnost je projekcijska tehnologija koja se koristi za transformaciju objekata, često nepravilno oblikovanih, u površinski zaslon za video projekciju. Ti objekti mogu biti složeni industrijski krajolici kao što su zgrade, mali unutarnji objekti ili neke veće pozornice.

Koristeći specijalizirane softvere, 2D ili 3D objekt se prostorno mapira na virtualnom programu koji oponaša stvarni okoliš na kojem se projicira. Softver je u interakciji s projektorom kako bi površina bilo koje željene slike odgovarala površini željene projekcije (stvarnog okoliša na koji se projicira).

Ovu tehniku projiciranja koriste umjetnici, oglašivači, znanstveni centri, sveučilišta, muzeji, koncerti, kazališta, tematska događanja, "pametni domovi" itd. Koristeći ovakav način prikazivanja, dodaju se dodatne dimenzije, optičke iluzije i željene kretnje na prethodno statičnim objetkima.



Slika 1. Primjer projekcijskog preslikavanja (URL 1)

2.2. SFERA

Sfera (od grčke riječi σφαĩρα — sphaira, što znači "globus", ili "lopta") je savršeno okruglo geometrijsko tijelo u trodimenzionalnom prostoru koja ima oblik potpuno okrugle lopte. Slično definiciji kružnice, koja je dvodimenzionalna, sfera je matematički definirana kao skup svih točaka koje se nalaze na istoj udaljenosti (polumjer r) od određene točke u trodimenzionalnom prostoru (središta).



Slika 2. Perspektivna projekcija sfere (URL 2)

2.2.1. SFERNE KOORDINATE

Sferne ili prostorne polarne koordinate ρ , θ i ϕ povezane su s pravokutnim koordinatama x, y, z formulama

$$x = \rho \cos\varphi \sin\theta$$
, $y = \rho \sin\varphi \sin\theta$, $z = \rho \cos\theta$,

gdje je $0 \le \rho < \infty$, $0 \le \phi < 2\pi$, $0 \le \theta \le \pi$ (slika sfere). Koordinatne plohe: koncentrične sfere sa središtem O (ρ =const.); poluravnine koje sadrže os Oz (ϕ =const.); kružni stošci s vrhom O i osi Oz (θ =const.). Sustav sfernih koordinata je ortogonalan.

Poopćene sferne koordinate u, v, w povezane su s pravokutnim koordinatama x, y, z formulama

 $x = au \cos v \sin \omega$, $y = bu \sin v \sin \omega$, $z = cu \cos \omega$

gdje je $0 \le u < \infty$, $0 \le v < 2\pi$, $0 \le w \le \pi$, a > 0, b > 0, c > 0. Koordinatne plohe: elipsoidi (u = const.), poluravnine (v = const.) i eliptički stošci (w = const.) (Frančula 2004.).



Slika 3. Sferni (prostorni polarni) koordinatni sustav (Frančula 2004.)

2.2.2. GEOGRAFSKE KOORDINATE NA SFERI

Često se za model Zemljine plohe uzima sfera. Jednadžba sfere sa središtem u ishodištu pravokutnoga Kartezijevog sustava Oxyz i s polumjerom R glasi:

$$x^2 + y^2 + z^2 = R^2$$

Takva se sfera naziva Zemljinom sferom. Točka s koordinatama (0, 0, R) naziva se Sjevernim polom, a ona s koordinatama (0, 0, -R) Južnim polom. Kružnica na sferi koja je jednako udaljena od polova naziva se ekvatorom ili polutarom i ona dijeli sferu na dvije polusfere – polutke. Pravac koji prolazi polovima naziva se os Zemljine sfere, a ravnina u kojoj se nalazi ekvator – ekvatorskom ravninom.

Kut koji zatvara normala (ujedno i radijus-vektor) proizvoljne točke M na Zemljinoj sferi s ekvatorskom ravninom naziva se geografskom širinom i označava s φ . Sve točke na Zemljinoj sferi koje imaju istu geografsku širinu leže na kružnici koja se naziva paralelom ili usporednicom.

Polukružnice na Zemljinoj sferi koje spajaju Sjeverni i Južni pol nazivaju se meridijanima ili podnevnicima. Jedan među njima naziva se nultim ili početnim meridijanom. To je obično meridijan koji leži u ravnini y = 0. Geografska duljina proizvoljne točke M na Zemljinoj sferi označava se s λ , a to je kut između meridijana koji prolazi točkom M i nultog meridijana. Prema tome, sve točke koje leže na istom meridijanu imaju istu geografsku duljinu.

Geografska širina mjeri se u intervalu – $2\pi \le \phi \le 2\pi$, a geografska duljina najčešće u intervalu – $\pi \le \lambda \le \pi$. Geografske koordinate ϕ i λ čine krivolinijski koordinatni sustav na sferi. Koordinatne krivulje su paralele i meridijani.

Geografski koordinatni sustav može se interpretirati i kao restrikcija sfernog prostornog koordinatnog sustava na sferu polumjera R. Pritom se u geodeziji i kartografiji uvode drugačije oznake od onih u matematici: umjesto φ dolazi λ – geografska duljina, a umjesto zenitne daljine θ – geografska širina φ , točnije vrijedi:

$$\lambda = \varphi, \qquad \varphi = \frac{\pi}{2} - \theta$$

gdje su s lijeve strane jednadžbi geografske koordinate, a s desne strane koordinate sfernog prostornog koordinatnog sustava (usporediti slike 3 i 4). Na slici 4 prikazane su geografske koordinate na Zemljinoj sferi.

Na temelju izloženoga i slike 4 mogu se izvesti veze pravokutnih Kartezijevih prostornih koordinata x, y, z proizvoljne točke M na sferi i njenih geografskih koordinata φ , λ :

$$x = R \cos\varphi \cos\lambda, \quad y = R \cos\varphi \sin\lambda, \quad z = R \sin\varphi.$$
 (Frančula 2004.)



Slika 4. Geografske koordinate na Zemljinoj sferi (Frančula 2004.)

2.3. SOS – SCIENCE ON A SPHERE

Poseban slučaj projekcijskog preslikavanja, u kojem se za postupak transformacije odnosno usklađivanja projicirane slike i videa koristi objekt oblika sfere naziva se Science On a Sphere (znanost na sferi). Iako tehnološki napredniji, SOS ima istu tematiku i namjeru kao i konfiguracija koja je izvršena u ovom radu.

Science On a Sphere (SOS) je prostorni sustav globalnog prikaza koji koristi računala i video projektore za prikazivanje planetarnih podataka na sferi promjera šest stopa, odnosno veliki animirani globus. Znanstvenici iz NOAA-e razvili su Science On a Sphere kao obrazovni alat koji pomaže prikazati i ilustrirati znanost Zemljinog sustava ljudima svih dobnih skupina. Na sferi se mogu prikazati animirane slike o atmosferskim olujama, klimatskim promjenama i temperaturi oceana, koje se koriste za objašnjavanje i lakšu predodžbu sadržaja na način koji je istodobno intuitivan i zanimljiv.



Slika 5. Science On a Sphere (URL 3)

Science On a Sphere proširuje ciljeve obrazovnih programa NOAA jer su dizajnirani na takav način da povećavaju javno razumijevanje okoliša. Koristeći zajedničko iskustvo i znanje Zemlje, oceana i atmosfere, NOAA koristi Science On a Sphere kao instrument za unapređenje neformalnih obrazovnih programa u znanstvenim centrima, sveučilištima i muzejima širom zemlje. Science On a Sphere konfiguracija dostupna je bilo kojoj ustanovi i trenutno je u funkciji na brojnim objektima u SAD-u (URL 4).

2.4. PERSPEKTIVNA PROJEKCIJA

Perspektivna projekcija je način na koji određeni geometrijski prikaz izgleda ljudskom oku prikazan na određenom objektu. U ovoj projekciji dimenzije se ne mogu skalirati jer su različiti dijelovi prikazanog objekta u različitim mjerilima.

Jednadžbe i formule perspektivne projekcije su esencijalne za računalnu grafiku. Za slikovno razumijevanje scene, potrebno je inverzno preslikavanje: Koje su koordinate objekta/scene vidljive na slici?

Da se izvrši cijela perspektivna projekcija, trebaju se provesti tri najvažnija koraka transformacije:

- 1.) Koordinate objekta => Koordinate kamere
- 2.) Projekcija koordinata kamere u ravninu slike
- 3.) Koordinate kamere => Koordinate slike

Često je korisno opisivati globalne koordinate, geometriju kamere i slikovne koordinate u odvojenim koordinatnim sustavima. Glavni opis perspektivne projekcije uključuje transformacije između ta tri koordinatna sustava.



Slika 6. Odnos između kooridnatnih sustava scene, kamere i slike (URL 5)

Novi koordinatni sustav je definiran sa translacijom i rotacijom s obzirom na stari (globalni) koordinatni sustav:

$$v' = R(v - v_0)$$

$$R = R_x R_y R_z$$

Za $R_x R_y R_z$ vrijedi:

$$R_{x} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\alpha & \sin\alpha \\ 0 & -\sin\alpha & \cos\alpha \end{bmatrix} \qquad \qquad R_{y} = \begin{bmatrix} \cos\beta & 0 & -\sin\beta \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin\beta & 0 & \cos\beta \end{bmatrix} \qquad \qquad R_{z} = \begin{bmatrix} \cos\gamma & \sin\gamma & 0 \\ -\sin\gamma & \cos\gamma & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Ako su rotacije obavljene zadanim redom tada vrijedi:

- 1.) α = rotacijski kut oko x-osi
- 2.) β = rotacijski kut oko y-osi
- 3.) $\gamma = rotacijski kut oko z-osi$

Kad se zadane matrice Rx, Ry i Rz pomnože vrijedi da je:

$$R = \begin{bmatrix} \cos\beta\cos\gamma & \cos\beta\sin\gamma & -\sin\beta\\ \sin\alpha\sin\beta\cos\gamma - \cos\alpha\sin\gamma & \sin\alpha\sin\beta\sin\gamma + \cos\alpha\cos\gamma & \sin\alpha\cos\beta\\ \cos\alpha\sin\beta\cos\gamma + \sin\alpha\sin\gamma & \cos\alpha\sin\beta\sin\gamma - \sin\alpha\cos\gamma & \cos\alpha\cos\beta \end{bmatrix}$$

Globalni koordinatni sustav služi za bolje razumijevanje cijele situacije konfiguracije. S obzirom da su bitni koordinatni sustavi kamere i slike, uklanja se globalni koordinatni sustav te se dobije:





Transformacija iz koordinata kamere u koordinate slike je potrebna zbog:

- optička os možda neće prolaziti kroz željeno ishodište koordinatnog sustava ravnine slike
- prijelaz u diskretne koordinate će možda zahtjevati mjerilo

$$x_p'' = (x_p' - x_{p0}')m$$

 $y_p'' = (y_p' - y_{p0}')m$

Kombiniranjem početna tri koraka transformacije:

- 1.) Koordinate objekta => Koordinate kamere,
- 2.) Projekcija koordinata kamere u ravninu slike,
- 3.) Koordinate kamere => Koordinate slike;

dobiju se slikovne koordinate:

$$x_{p}'' = \{\frac{f}{z'} [\cos\beta\cos\gamma(x-x_{0}) + \cos\beta\sin\gamma(y-y_{0}) + \sin\beta(z-z_{0})] - x_{p0}\}m$$

$$y_{p}'' = \{\frac{f}{z'} [(-\sin\alpha\sin\beta\cos\gamma - \cos\alpha\sin\gamma)(x-x_{0}) + (-\sin\alpha\sin\beta\sin\gamma + \cos\alpha\cos\gamma)(y-y_{0}) + \sin\alpha\cos\beta(z-z_{0})] - y_{p0}\}m$$

pri čemu je:

$$z' = (-\cos\alpha\sin\beta\cos\gamma + \sin\alpha\sin\gamma)(x - x_0) + (-\cos\alpha\sin\beta\sin\gamma - \sin\alpha\cos\gamma)(y - y_0) + \cos\alpha\cos\beta(z - z_0).$$

S obzirom na to da je:

- objekt sfera
- jednostavnije računati sa središtem sfere, odnosno da formula ovisi o udaljenosti do središta
- udaljenost do središta konstanta

uz formule za geografske koordinate na sferi vrijedi:

$$x = R \cos\varphi \cos\lambda + x_s, \quad y = R \cos\varphi \sin\lambda + y_s, \quad z = R \sin\varphi + z_s.$$

Iz toga slijedi:

$$x_{p}'' = \{\frac{f}{z'} [\cos\beta\cos\gamma(R\cos\varphi\cos\lambda + x_{s} - x_{0}) + \cos\beta\sin\gamma(R\cos\varphi\sin\gamma + y_{s} - y_{0}) + \sin\beta(R\sin\varphi + z_{s} - z_{0})] - x_{p0}\}m$$

$$y_{p}'' = \{\frac{f}{z'} [(-\sin\alpha\sin\beta\cos\gamma - \cos\alpha\sin\gamma)(R\cos\varphi\cos\lambda + x_{s} - x_{0}) + (-\sin\alpha\sin\beta\sin\gamma + \cos\alpha\cos\gamma)(R\cos\varphi\sin\gamma + y_{s} - y_{0}) + \sin\alpha\cos\beta(R\sin\varphi + z_{s} - z_{0})] - y_{p0}\}m$$

$$z' = (-\cos\alpha\sin\beta\cos\gamma + \sin\alpha\sin\gamma)(R\cos\varphi\cos\lambda + x_s - x_0) + (-\cos\alpha\sin\beta\sin\gamma - \sin\alpha\cos\gamma)(R\cos\varphi\sin\gamma + y_s - y_0) + \cos\alpha\cos\beta(R\sin\varphi + z_s - z_0)$$

Dobivene formule se mogu pojednostaviti ovisno o konfiguraciji projektora i objekta. Ako os projekcije prolazi kroz središte sfere tada vrijedi:

$$\alpha = 0, \qquad \beta = 0, \qquad \gamma = 0, \qquad x_{p0} = 0, \qquad y_{p0} = 0,$$

pojednostavljeno se dobije:

$$x_{p}'' = \left[\frac{f}{z'} (R \cos \varphi \cos \lambda + x_{s} - x_{0})\right] m$$
$$y_{p}'' = \left[\frac{f}{z'} (R \cos \varphi \sin \lambda + y_{s} - y_{0})\right] m$$

$$z' = R \sin \varphi + z_s - z_0$$

2.5. TRANSFORMACIJA SLIKE IZ EKVIDISTANTNE CILINDRIČNE PROJEKCIJE U PERSPEKTIVNU PROJEKCIJU SFERE

Nakon uspostavljanja slikovnih koordinata s obzirom na objekt (sferu), cilj je željenu sliku transformirati u perspektivnu projekciju sfere.

Odabrana slika ima karakteristike ekvidistantne cilindrične projekcije:

- Zemlju obično smatramo sferom i postavljamo uvjet da se meridijani preslikaju bez deformacija
- nema deformacija na ekvatoru ($\varphi_0 = 0$)

- mreža meridijana i paralela čini mrežu kvadrata (kvadratična projekcija)
- karta ima omjer stranica 2:1

Odabrana slika u ekvidistantnoj cilindričnoj projekciji ima isti omjer rezolucije slike u pikselima sa geografskom dužinom i širinom:



Slika 8. Povezanost geografskih koordinata ekvidistantne cilindrične projekcije sa rezolucijom slike u pikselima

Kako bi se dobili traženi podaci (pikseli) potrebno je izvršiti linearnu transformaciju iz geografskih koordinata u piksele. U računalnoj grafici važno je primijetiti početni postav koordinatnog sustava koji je na zaslonu monitora s ishodištem u gornjem lijevom kutu.



Slika 9. Linearna transformacija iz geografskih koordinata u piksele s obzirom na koordinatni sustav u računalnoj grafici

Nakon dobivenih slikovnih koordinata (x'',y'') i koordinata od zadane slike (x_z,y_z), računaju se korekcije piksela po x-osi i y-osi:

$$c_x = x_p'' - x_z$$
$$c_y = y_p'' - y_z$$

odnosno:

$$x_p'' = x_z + c_x$$
$$y_p'' = y_z + c_y$$

Krajnjim formulama dobivena je slika koja se ispravno projicira na naš zadani objekt, odnosno sferu.

2.6. 2D PARAMETRIZACIJA 3D MREŽA

Stvaranje vizualno uvjerljivog trodimenzionalnog modela je umjetnički problem, ali koristeći djela umjetnika u aplikaciji u realnom ili nerealnom vremenu grafike problem je za programere. Kako su definirani modeli? Kakve informacije sadrže?

2.6.1. 3D MREŽA

Pojam 3D mreža označava strukturnu gradnju 3D modela koji sadržava poligone. 3D mreže koriste referentne točke u X, Y i Z osima. One definiraju visinu, širinu i dubinu oblika. Da mreža bude što realnija potreban je veliki broj poligona. Poligoni su relativno jednostavni oblici koji omogućuju brzi proces obrade, s obzirom na ostale tehnike kao NURBS (Non-Uniform Rational B-Spline) koji koristi glatke krivulje. Za poligone se tipično koriste četverokuti ili trokuti koji prikazuju oblik i teksturu mape. Oni definiraju karakteristike površine modela. Ti oblici se mogu nadalje "slomiti" na vrhove sa X,Y,Z koordinatama i linijama.



Slika 10. Prikaz 3D mreže na 3D modelu definiran X, Y i Z osima u programskom alatu Blender

Ponekad, kad je podjela mreže na poligone zadovoljavajuća, dovoljno je osigurati određene karakteristike površine na vrhovima s linearnom interpolacijom između istih. Većina aplikacija koje koriste suvremeni hardver da bi definirali veći broj vrhova imaju veći trošak nego aplikacije koje koriste ekvivalentne mape teksture. Ovo je normalno s obzirom da točka u 3D prostoru treba više informacija nego točka u 2D prostoru.

Prilikom izrade modela za animaciju, isti zahtijevaju pažljivu konstrukciju prilikom koje može doći do pojave čudnih deformacija, osim ako su poligoni pažljivo postavljeni za neprekidne rubne petlje (sustav koji povezuje sve rubove) oko područja koja će se premjestiti.

Modeliranje u 3D prostoru zna nekada biti jednostavan i "glatki" proces kao rad sa glinom. Međutim, nužnost rubnih petlji često uključuje metodičko i naporno postavljanje poligona. Neki softveri za modeliranje uključuju proces za definiranje poligonskog izgleda odvojeno od izrade općeg oblika. Većina 3D mreža je napravljeno od strane umjetnika koristeći sofverske pakete kao što su Maya, 3D Studio Max ili besplatni open source Blender. Za potrebe ovog diplomskog rada, korišteno je programsko sučelje Blender koje će kasnije biti detaljnije interpretirano.

2.6.2. PARAMETRIZACIJA PLOHE U RAČUNALNOJ GRAFICI

Parametrizacija je izomorfno preslikavanje područja 3D plohe u dio ravnine. Dio ravnine se može povezati sa rasterskom slikom koja sadrži teksturu. Izomorfnost ovdje znači da u mreži kojom se dijeli ploha postoji isti broj vrhova s istim vezama (rubovi) na 3D plohi i dijelu ravnine tj. ne dodajemo niti uklanjamo niti mijenjamo vrhove i rubove, već samo pomičemo vrhove.



Slika 11. Prikaz 2D izmoforne mreže definirane X i Y osima u programskom alatu Blender

Postoji nekoliko karakteristika i zahtjeva koji definiraju kvalitetnu parametrizaciju plohe u računalnoj grafici:

- Rotacijska i translacijska neovisnost => orijentacija ili pozicija modela u programskom alatu mora biti neovisna o zadanim parametrima
- Rezolucijska neovisnost => preslikavanje treba funkcionirati za bilo koju rezoluciju mreže; korištenje niske poligonske aproksimacije ili podjela na manje dijelove mreže ne bi trebala praviti razliku
- Neovisnost o uzimanju uzoraka => uzimanje uzoraka koji definiraju mrežu mogu biti nejednaki, pogotovo ako je mreža optimizirana, te su korišteni veći poligoni; korisno je kada parametrizacija ne ovisi o uniformnom uzorkovanju već se sama "prilagođava" neuniformnim situacijama

- Kontinuiranost => pogreška mjerenja koju dobijemo treba biti kontinuirana tako da kad god se triangulacija promijeni za malu vrijednost, mjerenja se isto promjene za malu vrijednost. Rezultiranjem postepeno kvalitetnijih triangulacija znači da se dolazi do nekih kontinuiranih mjerenja
- Aditivnost => mjerenja trebaju biti aditivna tako da kada god se dvije mreže spajaju, krajnji rezultati mjerenja mreže trebaju biti suma odvojenih početnih mreža umanjeno za bilo koji podijeljeni dio
- Očuvanje orijentacije => trokuti održavaju svoju orijentaciju preslikavanjem. Bez toga, na stranicama 3D plohe bi se pojavljivale deformacije, zato jer bi preslikavanje mijenjalo smjer između trokuta



Slika 12. Neovisnost o rezoluciji i uzimanju uzoraka kod parametrizacije plohe u računalnoj grafici (Rontu 2003.)

3. BLENDER

Da bi se prikazala željena projekcija, potrebno je konstruirati željeni model. Za potrebe konfiguracije odgovarajućeg modela, korišten je programski alat Blender. U nastavku su opisane samo neke karakteristike i opcije potrebne za dizajniranje željenog modela.

Blender je profesionalni, besplatni i open source 3D računalni softverski alat koji se koristi za stvaranje animiranih filmova, vizualnih efekata, 3D tiskanih modela, interaktivnih 3D aplikacija i video igara.

Značajke programa Blender uključuju 3D modeliranje, UV skidanje, teksturu, raster grafičku obradu, manipulaciju i skinning, simulaciju tekućine i dima, simulacija čestica, soft body simulacija, skulptura, animiranje, podudaranje pokreta, praćenje fotoaparata, renderiranje, motion grafika, video uređivanje i kompozitiranje.

3.1. SUČELJE

Sučelje programskog alata Blender se sastoji od 5 prozora. Svaki prozor ima svoju funkciju. Svakim prozorom se može koristiti samo onda kada je pokazivač miša trenutno na tom prozoru.



Slika 13. Prikaz sučelja programskog alata Blender (URL 6)

INFORMACIJSKI PROZOR (crvena boja):

- sadrži standardne značajke poput datoteke, otvori, spremi, zatvori i druge stvari.
- sadrži informacije o tome koliko je vrhova, odnosno koliko je lica prisutno na konkretnoj sceni

GLAVNI PROZOR 3D PRIKAZA (zelena boja):

- pokazuje trodimenzionalni pogled na objekte koji su prisutni na sceni
- služi za interakciju s 3D objektima

PROZOR VREMENSKE TRAKE (ljubičasta boja):

- poput vremenske tablice koja sadrži brojeve okvira počevši od 1 do 250
- prozor gdje se većina animacije stvara
- mogućnost dodavanja, gledanja i mijenjanja okvira

PROZOR IZGLEDA (žuta boja):

- svojevrsna zbirka ili popis objekata koji su prisutni na konkretnoj sceni
- cjelovit pregled svih prisutnih predmeta

PROZOR SVOJSTVA (plava boja):

• mogućnost mijenjanja svojstava odabranih objekata pomoću parametara u istoimenom prozoru

3.2. FUNKCIJE I KRATICE TIPKOVNICE I MIŠA

Kao i većina programskih alata, za Blender se koristi miš i određene tipke na tipkovnici kojima obavljamo određene radnje u programu.

Dio miša	Slikovni prikaz	Radnja	Reakcija na zaslonu
Desna tipka miša		Klik	Odabir objekta
		Prema unutra	Približiti prikaz
Srednja tipka miša		Prema van	Udaljiti prikaz
	Držati i pomicati	Orbit 3D pogled	
		Tipka Shift + držati i pomicati	Pan 3D pogled
Lijeva tipka miša		Klik	Pomicanje 3D pokazivača

Tadiica T. Prikaz junkcija misa u programskom atatu bienaer

Tablica 2. Prikaz dijela kratica na tipkovnici za obavljanje različitih funkcija u programskom alatu Blender

Tipke	Radnja	
Shift + C	Shift + C Postavljanje 3D pokazivača na početno mjesto	
А	Odabir svih objekata	
X ili Delete	Brisanje objekta	
Ctrl + Z	Poništi radnju	

Numpad tipke na tipkovnici funkcioniraju samo u glavnom prozoru 3D prikaza. Radi jednostavnijeg objašnjavanja funkcija tipki, za primjer je uzet model kocke sa označenim stranama:

- F(front) prednja strana
- T(top) gornja strana
- S(side) bočna strana



Slika 14. Prikaz primjera modela kocke sa označenim karakterističnim stranama u programskom alatu Blender (URL 6)

Pritiskom tipke 1 na numpad tipkovnici dobije se kut gledanja modela sa prednje strane vidljiv na slici 15.



Slika 15. Prikaz gledanja prednje strane modela u programskom alatu Blender (URL 6)

Pritiskom tipke 3 na numpad tipkovnici dobije se kut gledanja modela sa bočne strane vidljiv na slici 16.



Slika 16. Prikaz gledanja bočne strane modela u programskom alatu Blender (URL 6)

Isto tako, pritiskom tipke 7 na numpad tipkovnici, dobije se kut gledanja modela sa gornje strane vidljiv na slici 17.



Slika 17. Prikaz gledanja gornje strane modela u programskom alatu Blender (URL 6)

Postoje dvije vrste prikaza. Jedan je tipičan pogled koji je vrlo uobičajen na kojeg su korisnici naviknuti jer nam oči pružaju takav pogled. Takva vrsta pogleda se naziva perspektivni pogled. Drugi pogled koji je više tehničke naravi naziva se ortografski pogled.

Razlika je u tome što je perspektivni prikaz lako prepoznati jer se objekti čine manjima dok ih gledamo u daljinu, dalje od naših očiju. Ortografski pogled se koristi više u tehničkom crtanju jer nam daje preciznost u pogledu veličine (tehnički ispravno nacrtan) dok je perspektivni pogled više ljudske naravi i prirodniji za gledati, odnosno vidi se divergentnost objekta koji je udaljen od ljudskog oka.

Po primjerima sa prednjom, bočnom i gornjom stranom, Blender ima opciju gledanja modela ortografski i perspektivno. Pritiskom na tipku 5 na numpad tipkovnici dobije se perspektivni pogled modela vidljiv na slici 18.



Slika 18. Prikaz gledanja perspektivne pogleda modela u programskom alatu Blender (URL 6)

 Num Lock
 Capis Lock
 Soroil lock

 Num Lock
 Capis Lock
 Soroil lock

 Num Lock
 PgUp
 +

 1
 2
 3

 PgDn
 Endr

 1
 2
 3

 PgDn
 Endr

 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0

Ponovnim pritiskom numpad tipke 5 ortografski pogled modela vidljiv je na slici 19.

Slika 19. Prikaz gledanja ortografskog pogleda modela u programskom alatu Blender (URL 6)

Da bi se prikazala željena scena na zaslonu, moguće je definirati određeni okvir koji će biti "okvir fotoaparata". Njime se služimo da bi izolirali dio scene u Blenderu. Dobije se pritiskom tipke 0 na numpad tipkovnici kojom se dobije crni okvir koji definira granicu aktivnog i neaktivnog područja vidljiv na slici 20.



Slika 20. Prikaz gledanja modela preko kamere u programskom alatu Blender (URL 6)

Ostale su tipke 2, 4, 6 i 8 koje rotiraju model u određenom smjeru:



Slika 21. Prikaz numpad tipki za rotiranje modela u programskom alatu Blender (URL 6)

4. IZRADA MODELA SFERE ZA PROJICIRANJE

Za potrebe projekta korištena je pilates lopta promjera 70 centimetara. Kako je već spomenuto, za potrebe izrade modela projekcije, korišten je programski alat Blender.

Potrebno je definirati sferu za potrebe našeg projekta. Sferu unutar programa učitavamo naredbama:

ADD -> MESH -> UV SPHERE

Blender novu UV sferu definira sa 32 meridijana i 16 paralela. Da bismo imali precizniji i kvalitetniji prikaz postavili smo 56 meridijana i 28 paralela te dobili prikaz vidljiv na slici 22.



Slika 22. Prikaz konstruirane UV sfere u programskom alatu Blender

Napravljenu sferu potrebno je ručno modelirati oko polova jer kad se sfera bude "razmotavala", neće se dobiti jasan prikaz i dobiju se neželjene deformacije. Zato se brišu polovi (2 točke) kao što je vidljivo na slici 23, označavaju se zadnje dobivene paralele kod polova te izvršavaju naredbe:

- *SCALE* pritiskom tipke S na tipkovnici te ručnim pomicanjem segmenta vidljivo na slici 24 te,
- *GRAB* pritiskom tipke G na tipkovnici te ručnim pomicanjem segmenta do vidno ispravnog izgleda sfere u smjeru Z osi vidljivo na slici 25.



Slika 23. Prikaz brisanja jedne točke pola na UV sferi



Slika 24. Prikaz skaliranja paralele na UV sferi



Slika 25. Prikaz pomicanja paralele po Z osi na UV sferi

Razlog tomu je dobivanje N točaka sjevernog i južnog pola te prirodniji izgled sfere. Glavni prikaz je kasnije podijeljen na 2 prikaza. Na lijevom je odabran *UV / IMAGE EDITOR* te definiran u alatnoj traci *UV EDITING*. Nakon toga je učitan željeni medij. Na desnom prikazu modela namješten je *FRONT PERSPECTIVE VIEW* te se postavlja *EDIT MODE*. Nakon pripremanja sfere i namještanja pogleda sfere, slijedi "odmotavanje" naredbama:

MESH -> UV UNWRAP -> SPHERE PROJECTION

što rezultira 2D mrežom 3D sfere na učitanom mediju. Pomoću naredbe *SCALE* (os X) skaliramo tu mrežu da se podudara sa slikom kao što je vidljivo na slici 26.



Slika 26. Prikaz odmotavanja 3D mreže u 2D prostoru

Zatim je potrebno vratiti se u *DEFAULT MODE* na lijevom prozoru te spojiti nazad prikaze. Prebacujemo se na *TEXTURE MODE* te dobijemo gotov model prikazan na slici 27.

Slika 27. Završeni model sfere u programskom alatu Blender

Dobiveni model je potrebno izvesti i spremiti kao *.obj datoteku te ga prebaciti u *.json datoteku. Razlog tome je kako bi se dobivena datoteka mogla dalje učitati i koristiti u programskom alatu Splash.

5. KONFIGURACIJA I PROJICIRANJE NA SFERU

Kako bi se cijela konfiguracija ostvarila i projekcija realizirala potreban je adekvatan programski alat. Postoji više vrsta aplikacija za potrebe projekta, a testirano je programsko sučelje Splash.

5.1. SPLASH

Splash je besplatni softver za preslikavanje videozapisa (za Linux i OSX), koji je namijenjen za više projektorske instalacije, ali radi uglavnom i za manje instalacije.

Usredotočuje se na preslikavanje videozapisa, stoga prepušta stvaranje sadržaja drugim softverima putem raznih kanala komunikacije.

Slika 28. Prikaz programskog alata Splash

Glavne karakteristike:

- gotovo neograničen broj izlaza: Splash može podnijeti bilo koji broj grafičkih kartica, kao i video djelitelji
- visoka performansa: uspješno testiran s 6144 × 6144 pri 30 Hz video označen kroz 8 izlaza
- poluautomatska kalibracija video projektora
- automatsko kalibriranje miješanja boja
- automatska kolorimetrijska kalibracija

- čita ulazne kartice i kamere kompatibilne s V4L2 standardom na Linuxu ili bilo koji fotoaparat kompatibilan s OpenCV-om na Linuxu
- kompatibilan sa Sifonom na OSX

Korisnik stvara 3D model s UV kartiranjem površine projekcije. Vodi brigu o kalibraciji videoprojektora (unutarnji i vanjski parametri, miješanje i boja) te ih nadopunjuje ulaznim izvorima videa. Može upravljati sa više ulaza, mapiranih na više 3D modela. Testiran je do osam izlaza na dvije grafičke kartice.

Splash je prvenstveno bio usmjeren na mapiranje generiranih trodimenzionalnih slika koje izgledom okružuju korisnika zasnovanom na kupoli. Daljnjim razvijanjem, počeo se koristiti za gotovo bilo koju površinu pod uvjetom da je dostupan 3D model geometrije.

V Splash Control Panel		
🔻 General commands		
General	Color calibration	
Compute blending map	Calibrate camera response	
Flash background	Calibrate displays / projectors	
Wireframe / Textured	Activate correction	
Configuration file		
work.json		
Project file		
	Save Load	
Media directory		
/home/manu/src/splash/data/		
► Shortcuts		
► Timings		
► Controls		
▶ Media		
▶ Filters	A PARTICIPAL PARTICIPAL	
► Meshes		
► Cameras	WILLIAM STREET	
► Warp	ALL A CALLER	

Kontrolna ploča Splash-a je podijeljena u nekoliko izbornika:

Slika 29. Prikaz glavnog izbornika programskog alata Splash

- Glavne postavke (General commands): sadrže uobičajene naredbe kao što su spremanje i upravljanje postavkama cijelog programa,
- Kratice (Shortcuts): lista kratica unutar programa,
- Vremenski raspored (Timings): pokazuje nekoliko vremenskih perioda u vezi s izvedbom Splasha, kao što je framerate,

- Kontrole (Controls): daju kontrolu nad globalnim parametrima,
- Medij (Media): mogućnost mijenjanja ulaznih datoteka,
- Filteri (Filters): prikazuju sve filtere za slike; korisno kada se koristi više filtera uzastopno na jednom ulaznom mediju,
- Mreže (Meshes): mogućnost mijenjanja 3D modela,
- Kamere (Cameras): prikazuju globalni prikaz površine projekcije koji se može prebaciti na bilo koji konfiguriranu kameru. Ova se ploča također koristi za postavljanje geometrijske kalibracije,
- Izbočenje / Iskrivljenje (Warp): izbornik izmjene izbočenja projekcije; u slučajevima gdje površina projekcije nije savršeno reproducirana 3D modelom.

5.2. KALIBRACIJA PROJEKTORA

Cijela projekcija, kao već rečeno, provodi se u programskom alatu Splash. U glavnim postavkama se učitava novonastala konfiguracijska datoteka napravljena u Blenderu.

Glavni izbornik u Splash-u se otvara naredbom *CTRL+TAB*. Poslije toga se otvara podizbornik "*Kamere*" i odabire kamera napravljenog modela. Ono što se prikazuje u 3D prikazu je točno ono što se projicira kroz video projektor.

Učitava se naredba *CTRL+W*, što mijenja pogled modela na "žičani okvir". Sada će se postaviti sedam točaka kalibracije (program traži točno 7 točaka) kao što je prikazano na slici 30. Slijede naredbe koje se izvršavaju unutar GUI prikaza:

- odabiranje točke na žičanom modelu sfere lijevim klikom miša,
- odabrana točka sada ima crvenu sferu oko sebe te se pojavljuje križić u sredini prikaza,
- križić se pomiče držanjem tipke SHIFT i lijevim klikom miša na željeno mjesto prikaza,
- za vrijeme gledanja projekcije na stvarni objekt (pilates lopta), križić na projekciji se postavlja tako da korespondira sa odabranom točkom sfere,
- križić se može kvalitetnije namjestiti strelicama na tipkovnici,
- proces se ponavlja još šest puta. Ako se odabrala kriva točka, moguće ju je obrisati lijevim klikom za vrijeme držanja tipke CTRL na tipkovnici.

Slika 30. Sedam postavljenih točaka za kalibraciju kamere u programskom alatu Splash

Nakon što se postavilo sedam točaka, kalibrira se kamera u Splash-u; pritišće se tipka C dok se pokazivač miša nalazi iznad prozora 3D pogleda sfere. Dobila se projekcija žičanog modela sfere koja odgovara sferi (pilates lopti) u stvarnosti.

Prikaz se vraća nazad na teksturu naredbom *CTRL+T* te se sve sprema naredbom *CTRL+S*. Ovim postupkom se završio postupak kalibracije kamere projektora. Ulazi se u izbornik *"Medij"* te učitava željena slika/video koji odgovara cijeloj konfiguraciji (ekvidistanta cilindrična projekcija) te se dobiva konačni rezultat:

Slika 31. Konačni rezultat konfiguracije kartografske projekcije na nestandardnom mediju (1)

Slika 32. Konačni rezultat konfiguracije kartografske projekcije na nestandardnom mediju (2)

5.3. RADIOMETRIJSKA KOREKCIJA

Cilj projekcije je postići jednolikost osvijetljenja na objektu gdje se vrši prikaz. S obzirom da se radi o sferi, zrake svjetlosti ne padaju pod istim kutom i objekt neće bit jednolično osvjetljen po cijeloj površini projekcije. Najbliže točke će se najviše osvjetliti (središte osi projektora). Udaljavanjem od te točke, osvjetljenost se proporcionalno smanjuje. Radiometrijskom korekcijom se taj problem korigira.

Radiometrijska korekcija se bavi popravljanjem spektralne kvalitete reflektirane sunčeve energije, unutrašnje emitirane energije ili povratnog signala nekog aktivnog senzora.

Primjenjena na osnovnim snimkama uključuje: relativni radiometrijski odgovor između detektora (uklanja razlike na snimci za vrijeme varijacije osjetljivosti između piksela), popunjavanja prazne vrijednosti detektora (popunjava null vrijednosti na snimci za vrijeme detektora koji više ne prikuplja podatke), konverzija za apsolutnu radiometriju (kalibrira ukupni odaziv detektora od nepoznatih radiometrijskih signala).

Radiometrijska korekcija daje skalu vrijednostima piksela, tj. monokromatska skala od 0 do 255 bit će izmijenjena u aktualne vrijednosti radijancije (sjaja).

6. OSTALI PRIMJERI PROJEKCIJA U SVIJETU

U sljedećim primjerima vidljive su realizacije različitih projekcija na svakodnevne objekte.

Slika 33. Primjer korištenih projekcija u svijetu (1) (URL 7)

Slika 34. Primjer korištenih projekcija u svijetu (2) (URL 8)

Slika 35. Primjer korištenih projekcija u svijetu (3) (URL 9)

Slika 36. Primjer korištenih projekcija u svijetu (4) (URL 10)

7. ZAKLJUČAK

Zadatak ovoga diplomskog rada bio je izraditi projekciju odabranog dijela Zemlje na sferi kao nestandardnom mediju (pilates lopti) korištenjem projektora, te programskih alata Blender i Splash. Model projekcije izrađen je u programskom alatu Blender, te programskim alatom Splash izvršen je pravilan prikaz zadane projekcije na promatrani dio sfere.

Na isti je način, uz dovoljan broj i snagu projektora, moguće ostvariti projekcije na znatno veće površine kao što su pročelja zgrada, velike kipove i ostalo u svrhu određenih prezentacija, zabava i sličnih događaja. Nepravilne plohe zahtjevaju znatno veći broj radnji samog korisnika kako bi se što točnije definirala sama ploha i izvela projekcija.

Radiometrijsku korekciju bi se moglo navesti kao važnije svojstvo za dobivanje u potpunosti ugodnog pregleda zadane projekcije od strane nestručnog gledatelja. Ukoliko cijela projekcija nije u potpunosti zadovoljavajuće vidljiva (osvjetljena), tada ista kod gledatelja (publike) neće izazvati očekivanu reakciju, odnosno zadovoljstvo promatranja, te može na taj način umanjiti sami cilj, odnosno svrhu postavljanja projekcije.

Povezivanjem kartografskih prikaza, projekcija i preslikavanja sa računalnim programima, odnosno posebno izrađenim grafičkim korisničkim sučeljima, otvara se niz mogućnosti za prikaz i vizualizaciju u sustavu znanosti o Zemlji te podiže razinu razumijevanja i naučenosti javnosti (osoba svih životnih dobi) o njoj i njenom okolišu. Najveću primjenu pogotovo ima u obrazovanju kako bi se mladima prenijeli utjecaji čovjeka na Zemlju u obliku klimatskih promjena, promjene vegetacije tijekom vremena, migracije tokom povijesti i slično.

Upotrebom današnjih različitih softverskih rješenja znatno je pojednostavljen postupak izrade određenih projekcija, koji ne zahtjevaju od korisnika velika razumijevanja odnosa različitih projekcija s obzirom da su programi prilagođeni "user friendly" te omogućuju korisniku trenutni uvid u rezultate obrade te eventualne potrebne promjene dok se ne postigne željeni prikaz.

LITERATURA

Ciceli, T. (2004.): Primjena digitalne kamere u terestričkoj fotogrametriji, Zagreb, magistarski rad

Frančula, N. (2004.).: Kartografske projekcije, Zagreb, skripta predavanja

Popis URL-ova

- URL 1: http://knowyourmeme.com/memes/cultures/3d-projection-mapping/videos
- URL 2: https://bs.wikipedia.org/wiki/Sfera
- URL 3: https://sos.noaa.gov/ images/heros/education slideshow.jpg
- URL 4: <u>https://sos.noaa.gov/What_is_SOS/</u>
- URL 5: https://kogs-www.informatik.uni-hamburg.de/
- URL 6: https://courses.edx.org/courses/course-v1:IITBombayX+SKANI101x+1T2018/course/

URL 7: <u>http://www.colinreedmiller.com/wordpress/wp-content/uploads/2011/07/ceo_coke-940x1413.jpg</u>

- URL 8: https://i.vimeocdn.com/video/506713295_1280x720.jpg
- URL 9: https://i.ytimg.com/vi/XSR0Xady02o/maxresdefault.jpg
- URL 10: http://iliketowastemytime.com/sites/default/files/3d-projection-mapping_0.jpg
- URL 11: http://lumitrix.eu/?gclid=CL2e9b-rjtMCFRYW0wod3vUODQ
- URL 12: http://projection-mapping.org/whatis/
- URL 13: http://projection-mapping.org/spheree/
- URL 14: https://www.youtube.com/watch?v=bvvy86zvoX4
- URL 15: https://www.behance.net/gallery/27112063/Sphere-Projection-Mapping
- URL 16: https://andrewlogie.co.uk/2013/06/26/spherical-projection-mapping/
- URL 17: <u>http://projection-mapping.org/whatis/</u>
- URL 18: https://en.wikipedia.org/wiki/Projection_mapping
- URL 19: http://www.businessdictionary.com/definition/perspective-projection.html

URL 20:

http://www.geoservis.ftn.uns.ac.rs/downloads/ISP/ZbornikStudRadova/14/Quickbird%20o37 2.pdf URL 21: https://hr.wikipedia.org/wiki/Daljinska_istra%C5%BEivanja

- URL 22: <u>https://www.ntf.uni-lj.si/igt/wp-</u> content/uploads/sites/8/2015/09/3D_9predavanje1516.pdf
- URL 23: http://rg.c-hip.net/2013/seminari/orsolic/uv.html
- URL 24: http://whatis.techtarget.com/definition/3D-mesh
- URL 25: https://kogs-www.informatik.uni-hamburg.de/~neumann/BV-WS-2007/BV-3-07.pdf

URL 26: https://www.youtube.com/watch?v=dBc3VS0RbB8

POPIS TABLICA

Tablica 1. Prikaz funkcija miša u programskom alatu Blender

Tablica 2. Prikaz dijela kratica na tipkovnici za obavljanje različitih funkcija u programskom alatu Blender

POPIS SLIKA

Slika 1. Primjer projection mapping-a

Slika 2. Dvodimenzionalna perspektivna projekcija sfere

Slika 3. Sferni (prostorni polarni) koordinatni sustav

Slika 4. Geografske koordinate na Zemljinoj sferi

Slika 5. Science On A Sphere

Slika 6. Odnos između kooridnatnih sustava scene, kamere i slike

Slika 7. Odnos koordinatnog sustava kamere i slike s obzirom na objekt

Slika 8. Povezanost geografskih koordinata ekvidistantne cilindrične projekcije sa rezolucijom slike u pikselima

Slika 9. Linearna transformacija iz geografskih koordinata u piksele s obzirom na koordinatni sustav u računalnoj grafici

Slika 10. Prikaz 3D mreže na 3D modelu definiran X, Y i Z osima u programskom alatu Blender

Slika 11. Prikaz 2D izmoforne mreže definirane X, Y i Z osima u programskom alatu Blender

Slika 12. Neovisnost o rezoluciji i uzimanju uzoraka

Slika 13. Prikaz sučelja programskog alata Blender

Slika 14. Prikaz primjera modela kocke sa označenim karakterističnim stranama u programskom alatu Blender

Slika 15. Prikaz gledanja prednje strane modela u programskom alatu Blender

Slika 16. Prikaz gledanja bočne strane modela u programskom alatu Blender

Slika 17. Prikaz gledanja gornje strane modela u programskom alatu Blender

Slika 18. Prikaz gledanja perspektivne pogleda modela u programskom alatu Blender

Slika 19. Prikaz gledanja ortografskog pogleda modela u programskom alatu Blender

Slika 20. Prikaz gledanja modela preko kamere u programskom alatu Blender

Slika 21. Prikaz numpad tipki za rotiranje modela u programskom alatu Blender

Slika 22. Prikaz konstruirane UV sfere u programskom alatu Blender

Slika 23. Prikaz brisanja jedne točke pola na UV sferi

Slika 24. Prikaz skaliranja paralele na UV sferi

Slika 25. Prikaz pomicanja paralele po Z osi na UV sferi

Slika 26. Prikaz odmotavanja 3D mreže u 2D prostoru

Slika 27. Završeni model sfere u programskom alatu Blender

Slika 28. Prikaz programskog alata Splash

Slika 29. Prikaz glavnog izbornika programskog alata Splash

Slika 30. Sedam postavljenih točaka za kalibraciju kamere u programskom alatu Splash

Slika 31. Konačni rezultat konfiguracije kartografske projekcije na nestandardnom mediju (1)

Slika 32. Konačni rezultat konfiguracije kartografske projekcije na nestandardnom mediju (2)

Slika 33. Primjer korištenih projekcija u svijetu (1)

Slika 34. Primjer korištenih projekcija u svijetu (2)

Slika 35. Primjer korištenih projekcija u svijetu (3)

Slika 36. Primjer korištenih projekcija u svijetu (4)