

Smjernice za 3D digitalizaciju pokretnih kulturnih dobara metodom fotogrametrije

Željko Trbušić

Digitalizacija je proces bez kojeg je danas teško zamisliti bilo koji projekt i dugoročnu strategiju upravljanja baštinom. Ona istovremeno omogućava zaštitu kulturnih dobara od prekomjernog korištenja, diseminaciju na vrlo jednostavan i brz način te uključivanje u suvremene trendove upravljanja baštinom i povezivanje s brojnim informacijsko-komunikacijskim alatima koje poznajemo.

Digitalizacija trodimenzionalnih (3D) objekata i prostora razlikuje se od klasične (dvodimenzionalne, 2D) digitalizacije ponajprije u alatima koji se koriste i načinu na koji se odvija. Korištenje opreme, tehnologije, pa i diseminacija 3D objekata znatno su složeniji u usporedbi s digitalizacijom primjerice rukopisa ili fotografija. Krajnji rezultat 3D digitalizacije su 3D objekti koji se korištenjem računala mogu pregledavati u sve tri dimenzije, a to podrazumijeva njihovu rotaciju po x, y i z osi uz održavanje vizualnog identiteta objekta.

Istraživanje postupaka 3D digitalizacije metodom fotogrametrije dio je projekta izgradnje i unaprjeđenja portala Znameniti.hr koji „omogućava pretraživanje i pristup digitaliziranim djelima velikana hrvatske kulture, znanosti, umjetnosti i javnog života“ u kojem sudjeluju sljedeće institucije, udruge i tvrtke: ArhivPRO d.o.o., Centar za ženske studije, Državni arhiv u Varaždinu, Hrvatska akademija znanosti i umjetnosti, ICARUS Hrvatska, Institut za etnologiju i folkloristiku, Knjižnice grada Zagreba, Leksikografski zavod Miroslav Krleža, Muzej za umjetnost i obrt, Nacionalna i sveučilišna knjižnica u Zagrebu i Sveučilište u Zagrebu. Predmet iskorišten za ilustriranje postupka i prikazan u ovom radu je Orden narodnog oslobođenja koji se čuva na Odsjeku za povijest hrvatske književnosti Zavoda za povijest hrvatske književnosti, kazališta i glazbe HAZU kao dio arhivskog fonda Vladimira Nazora (HR-AHAZU-KN-159).

Fotogrametrijski postupak

Za obavljanje 3D digitalizacijskog postupka i stvaranje 3D računalne slike prostora ili objekta potrebno je koristiti specijalizirane uređaje i računalni softver. Najčešće se radi o LADAR (*LAser Detecting And Ranging*) ili LIDAR (*LIght Detecting And Ranging*) uređajima kojima se prikupljaju informacije o položaju točaka u prostoru i koje se nakon toga mogu računalno povezati u smisleni prikaz i vjernu reprodukciju 3D fenomena, no osim njih danas postoji i niz drugih načina kojima se može na pouzdan i manje zahtjevan način provesti ovaj proces. Metoda fotogrametrije popularna je zbog pristupačnosti uređaja koji su potrebni za njezino izvršavanje, ali i softverskih alata kojima se izrađuje 3D model. Sastoji se od dva glavna koraka – fotografiranje te računalno spajanje i obrada.

Fotografiranje

Metoda fotogrametrije uključuje fotografiranje objekta ili prostora na način da se pokrije sva njegova površina i da se fotografije međusobno preklapaju kako bi ih računalo moglo spojiti u smislenu cjelinu. Poželjno je korištenje profesionalnog digitalnog SLR (engl. *single-lens reflex*) fotoaparata, ali u određenim slučajevima zadovoljavajuće rezultate moguće je postići i mobilnim telefonom s ugrađenom digitalnom kamerom.

Kod izrade fotografija s ciljem dobivanja što boljeg 3D modela potrebno je obratiti pozornost na nekoliko stvari: postavke fotoaparata i osvjetljenje te tip objekta i način fotografiranja.

Fotografiranje se obavlja na način da objekt koji se želi 3D digitalizirati ispunjava većinu kadra te da je dobro osvijetljen i u fokusu. Objekt se fotografira iz najmanje udaljenosti pri kojoj ni jedan njegov dio nije izostavljen, a poželjno je koristiti fotografski



Primjer osvjetljenja kod fotografiranja rotiranjem objekta korištenjem jednog fotoaparata (Instructables. Shooting for Photogrammetry)

stativ koji će eliminirati mogućnost zamućenja do kojeg dolazi rukovanjem fotoaparatom bez oslonca. Pri izradi osvjetljenja potrebno je stvoriti kontrolirane uvjete te koristiti minimalno dva ili tri izvora svjetla jednake jakosti. Izvor svjetlosti trebao bi biti difuzan što se postiže uporabom mekane kutije (engl. *softbox*), a pozicija i udaljenost osvjetljenja od objekta ovisi o jačini izvora. Uvjeti bi trebali biti identični za svaku fotografiju istog objekta. Na ovaj način postiže se eliminacija sjena na objektu (objekt nepravilnog oblika u pravilu zahtjeva više izvora svjetlosti za potpunu eliminaciju sjena) i ravnomjerno osvjetljenje bez odsjaja (posebno važno kod objekata čija površina dobro reflektira svjetlo). Profesionalni SLR fotoaparati najčešće podržavaju nekoliko vrsta automatskog načina rada koji olakšavaju izradu fotografija i ubrzavaju proces fotografiranja, ali za najbolji rezultat fotogrametrijskog postupka poželjno je koristiti način rada koji dopušta ručno podešavanje svih postavki. Otvor blende (engl. *aperture*) postavka je kojom se određuje količina svjetlosti koja prolazi kroz objektiv i mjeri se F-brojem te je usko vezana uz brzinu zatvarača (engl. *shutter speed*). Ova dva parametra kod fotogrametrijskog postupka iznimno su važna jer se njima postiže željena dubina polja (engl. *depth of field*) – razmak između najbliže i najdalje točke koje su u oštrom fokusu. Fotografirani objekt mora na svakoj fotografiji biti u cijelosti u oštrom fokusu kako bi

računalo moglo pravilno spojiti fotografije, a pozadina treba biti, ili je poželjno da bude, van fokusa. Treća postavka na koju treba obratiti pažnju je ISO osjetljivost kojom kontroliramo količinu svjetlosti na koju reagira senzor fotoaparata. Poželjna je što manja vrijednost jer daje čišću fotografiju, dok više vrijednosti produciraju zrnati rezultat.

Preporučene početne postavke teško je fiksno odrediti i ovise o specifičnoj situaciji, ali okvirno se mogu pronaći u vrijednostima između:

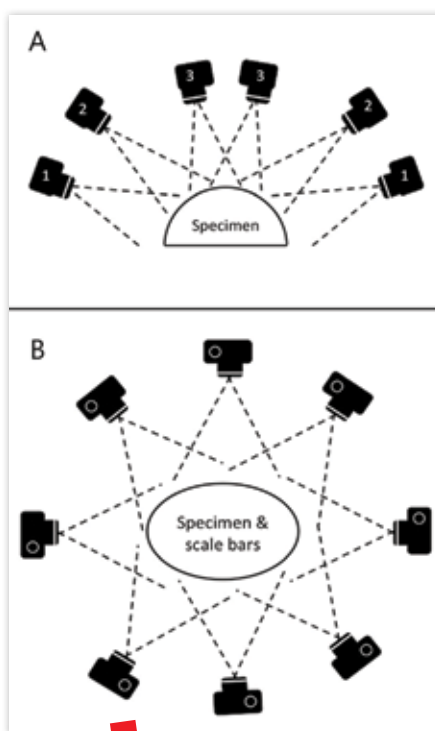
- ♦ otvor blende = F10 – F20,
- ♦ brzina zatvarača = 1/10 – 1/50,
- ♦ ISO vrijednost = 200 i manje.

Navedene postavke određuju tip objekta koji se fotografira; primjerice, ako fotografiramo objekt koji ima veliku relativnu udaljenost od najbliže do najdalje točke potrebno je prilagoditi otvor blende i brzinu zatvarača kako bi svaki njegov dio u određenom kadru bio u fokusu. Osim postavki fotoaparata, površina i izrada objekta određuju način osvjetljenja. Prvi zadatak kod postavljanja osvjetljenja je sagledati objekt iz svih kutova i utvrditi da je svaki njegov dio dobro osvijetljen i bez sjena ili tamnijih dijelova. Ovaj korak iznimno je važan ako kao izvor svjetlosti koristimo i sunce, jer bi tada ruke ili glava skulpture koju pokušavamo 3D digitalizirati mogli stvarati sjene na drugim dijelovima objekta. Osvjetljenje je također potrebno raspršiti kako ne bi došlo do odsjaja kod objekata sjajnije površine što u kasnijoj fazi izrade modela utječe na nedostatak pigmenta, ali i na smanjenu mogućnost softvera da pravilno spoji fotografije i generira model.

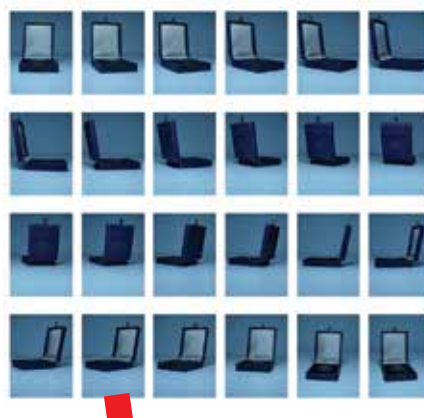
Kod samog postupka fotografiranja objekt se ne smije ni na koji način pomicati niti mu se smije mijenjati oblik. Izuzetak toga je rotacija objekta oko jedne osi u slučaju fotografiranja s fiksno postavljenim fotoaparatom. Za izradu modela malih objekata moguće je fotografirati na dva načina: rotiranjem objekta s fiksno postavljenim fotoaparatom ili kretanjem fotoaparatom oko statičnog objekta.

U oba slučaja važno je svakom fotografijom obuhvatiti objekt u cijelosti i osigurati da je na svakoj sukcesivnoj fotografiji vidljiv i dio objekta s prethodne fotografije. Prva metoda

omogućuje kontrolu vidljive pozadine kako bi se izbjegle komplikacije kod kasnijeg spajanja fotografija, dok je kod druge ovu kontrolu puno teže postići. Treća metoda uključuje korištenje velikog broja unaprijed postavljenih fotoaparata, ali zahtjeva veća ulaganja i pristup velikom broju fotoaparata istovremeno (oko 100) te, iako ima svoje prednosti za velike projekte i iznimno vrijednu kulturnu baštinu, njezina efikasnost i zahtjevi za ulaganjem ne pripadaju u okvir ovog projekta. Fotografirati treba iz svih kutova, a za uspješnu izradu modela potrebno je okvirno od 50 do 200 fotografija.



Pozicioniranje fotoaparata kod fotogrametrijskog postupka (House et al. (2018). Moving to 3D)



Sukcesivno fotografiranje objekta za potrebe fotogrametrijskog postupka

Računalno spajanje i obrada

Nakon odrađenog postupka fotografiranja objekta za potrebe izrade 3D modela potrebno je fotografije računalo spojiti i generirati 3D prikaz. Za ovaj postupak koristi se specijalizirani softver (na tržištu su dostupna komercijalna i besplatna rješenja), a dijeli se na dva koraka – spajanje i naknadna obrada.

Spajanje podrazumijeva prihvaćanje fotografija u sustav, davanje uputa softveru i namještanje postavki te radno vrijeme potrebno da računalo izvrši zadatak. Nakon izvršenja zadatka model je moguće ekstrahirati u nekom od ponuđenih formata prijenosa datoteka s 3D prikazima. Proces prihvaćanja fotografija jednostavan je i odvija se direktnim dodavanjem unutar softvera nakon čega je ponekad dostupna i automatska analiza kojom se eliminiraju zamućene ili nepotpune fotografije.



Primjer gotove fotografije korištene za izradu 3D modela fotogrametrijskim postupkom

Namještanje postavki opcija je koju određena softverska rješenja pružaju korisnicima i može se sastojati od namještanja vrlo jednostavnih parametara, ali i onih složenijih koji zahtijevaju dodatno istraživanje i proces učenja. Bitno je istaknuti da se dobri rezultati mogu postići i bez dodatnog podešavanja sustava. Nakon pokretanja procesa spajanja, ovisno o broju fotografija, njihovoj kvaliteti i složenosti modela te računalnim sposobnostima konfiguracije koju koristimo, sustav će zahtijevati određeno vrijeme obrade koje u prosjeku može biti od 30 minuta do nekoliko sati. Prije ulaganja u poboljšanje računalnih mogućnosti

s ciljem ubrzanja ovog procesa treba proučiti koje računalne komponente najviše utječu na brzinu izrade modela, točnije, koji dio računala određeni softver koristi kao primarno pogonsko gorivo za kalkulacije potrebne za generiranje 3D modela. U sklopu ovog projekta za spajanje fotografija i izradu modela korišten je sustav otvorenog koda pod nazivom Alicevision Meshroom.

Vrsta objekta i način fotografiranja

- ♦ odabir objekta
- ♦ odabir načina fotografiranja - rotiranjem objekta ili kretanjem fotoaparata oko objekta



Postavke fotoaparata i odabir osvjetljenja

- ♦ otvor blende = F10 - F20
- ♦ brzina zatvarača = 1/10 - 1/50
- ♦ ISO vrijednost = 200 ili manje

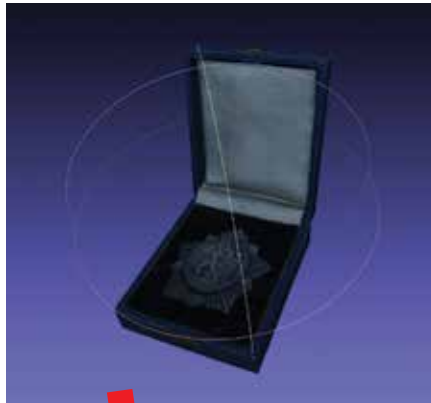
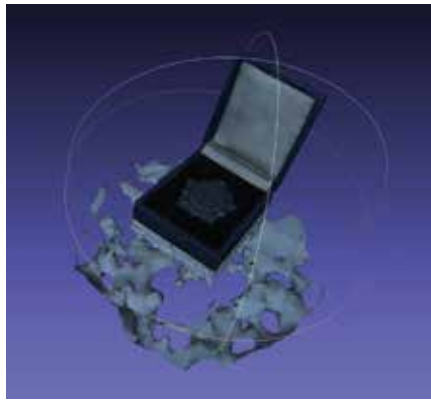


Računalno spajanje i dodatna obrada

- ♦ odabir softvera i određivanje postavki spajanja
- ♦ pregled izrađenog modela i postupak naknadne obrade

Koraci u izradi 3D modela pokretnog kulturnog dobra

Nakon dovršenog spajanja fotografija i generiranja 3D modela rezultati mogu biti djelomično zadovoljavajući. Dijelovi modela mogu biti nepravilni i nedosljedni originalu, a također je moguća pojava viška generiranih informacija koje su pridružene završnom rezultatu. Tada je potrebno model naknadno obraditi i urediti kako bi bio što vjerodostojniji i kako bi njegov završni izgled bio prihvatljiv i iskoristiv za predviđenu namjenu. Za ovaj postupak koristi se specijalizirani softver za računalnu obradu 3D objekata (poput Blendera) koji nudi niz potrebnih alata. Koliko i kako intervenirati u model odluka je koju treba donijeti na razini cjelokupnog projekta s obzirom na to da su mogućnosti velike – od jednostavnog popravljivanja nedostataka do dodavanja sjena, pozadina, mijenjanja tekstura modela i slično. U ovoj fazi također je potrebno usuglasiti tip izlazne datoteke koja će sadržavati informacije o modelu kako bi ga se moglo koristiti za to predviđenu svrhu (primjerice, prikaz u sklopu odabranog repozitorija ili 3D ispis).



Razlika gotovog modela prije i nakon odrađenog postupka naknadne obrade

Dodatne mogućnosti i zaključak

Fotogrametrija malih, pokretnih kulturnih dobara obećavajući je način njihove digitalizacije i prijenosa u 3D računalni svijet. Ovaj postupak može biti vjerodostojan način bilježenja stanja predmeta, ali i otvara mogućnosti njihove digitalne rekonstrukcije i spajanja razdvojenih dijelova. Metoda i postavke navedene u ovim smjernicama tek su osnovni pokazatelj sve kompleksnosti i različitih mogućnosti koje se pružaju, a za pravu sliku potrebno ih je iskušati u praksi. Kao generalno pravilo, najbolje je pokušati postići istovjetne uvjete osvjetljenja, pozadine i opreme kako bi se osigurao nesmetan proizvodni proces i digitalizirao velik broj objekata u kratkom roku.

Iako inicijalni troškovi potrebne opreme mogu biti dosta visoki, softver naveden u ovom radu potpuno je besplatan i slobodan za korištenje bez ograničenja, a za osnovni postupak fotografiranja bit će dovoljno i improvizirano osvjetljenje te mobilni telefon s ugrađenom digitalnom kamerom. Iskustvo dobiveno takvim početnim pokušajima vrlo se lako transformira i primjenjuje na rad u profesionalnom okruženju, a i dobiveni modeli mogu biti vrlo dobri, a mogu i pokrenuti

daljnji razvoj te otvoriti nove mogućnosti za napredak. Korisnicima je potrebno još određeno vrijeme prilagodbe i upoznavanja s ovakvim načinima prikazivanja kulturne baštine, a ta prepreka može se premostiti samo omogućavanjem pristupa što većem broju 3D modela i pravilnim informiranjem te edukacijom. ■

Izvori

Alicevision. *Meshroom: open source photogrammetry software*. Dostupno na: <https://alicevision.org/#meshroom> (9.7.2020.).

Blender. *Open source 3D creation*. Dostupno na: <https://www.blender.org/> (9.7.2020.).

Instructables. *Shooting for Photogrammetry*. Dostupno na: <https://www.instructables.com/lesson/Shooting-for-Photogrammetry/> (9.7.2020.).

Sony. *Osnove objektivna: otvor blende, f-brojevi i dubina polja*. Dostupno na: <https://www.sony.hr/electronics/sto-je-otvor-blende-dubina-polja> (9.7.2020.).

Znameniti.hr – tematski portal. Dostupno na: <http://znameniti.hr/> (8. 9. 2020.)

Saznajte više

House, J. E., Brambilla, V., Bidaut, L. M., Christie, A. P., Pizarro, O., Madin, J. S., Dornelas, M. (2018). Moving to 3D: relationships between coral planar area, surface area and volume. *PeerJ*, 6:e4280, doi:10.7717/peerj.4280

Konstantakis, M., Aliprantis, J., Teneketzis, A., Caridakis, G. (2018). Understanding User eXperience aspects in Cultural Heritageinteraction. *PCI 2018 - Panhellenic Conference on Informatics*, Atena, Grčka.

Stančić, H., Zanier, K. (2012). *Heritage live: upravljanje baštinom uz pomoć informacijskih alata*. Univerzitetna založba Annales, Koper.