

UNIVERZA V LJUBLJANI
FAKULTETA ZA RAČUNALNIŠTVO IN INFORMATIKO

Lara Batistuta

Video projekcija na neravno površino

DIPLOMSKO DELO

UNIVERZITETNI ŠTUDIJSKI PROGRAM
PRVE STOPNJE
RAČUNALNIŠTVO IN INFORMATIKA

MENTOR: prof. dr. Franc Solina

Ljubljana, 2018

COPYRIGHT. Rezultati diplomske naloge so intelektualna lastnina avtorja in Fakultete za računalništvo in informatiko Univerze v Ljubljani. Za objavo in koriščenje rezultatov diplomske naloge je potrebno pisno privoljenje avtorja, Fakultete za računalništvo in informatiko ter mentorja.

Besedilo je oblikovano z urejevalnikom besedil L^AT_EX.

Fakulteta za računalništvo in informatiko izdaja naslednjo nalogo:

Kandidat: Lara Batistuta

Naslov: Video projekcija na neravno površino

Vrsta naloge: Diplomaska naloga univerzitetnega programa prve stopnje – smer računalništvo in informatika

Mentor: prof. dr. Franc Solina

Opis:

Preučite problematiko in razvoj projeciranja na neravno površino tako da predstavite področja njene uporabe ter jo umestite v širši kontekst obogatene resničnosti. Predstavite nekaj najbolj razširjenih programov za pripravo projekcij na neravno površino ter izdelajte pilotni projekt, kjer boste demonstrirali to tehnologijo.

Title: Projection mapping

Description:

Perform a study how projection mapping developed and what it is used for. Consider how projection mapping fits into the augmented reality concept. Describe some of the most popular software solutions for projection mapping and make a pilot project to demonstrate this technology.

Hvala vsem mojim za podporo pri študiju in mentorju, prof. dr. Francu Solini, za prijazno in strokovno pomoč pri pisanju diplome.

Kazalo

Povzetek

Abstract

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | Uvod | 1 |
| 2 | Video projekcija | 5 |
| 2.1 | Zgodovina | 6 |
| 2.2 | Opis tehnike | 7 |
| 2.3 | Primeri uporabe video projekcij na neravne površine | 10 |
| 2.4 | Video projekcija kot medij za prikaz obogatene resničnosti | 16 |
| 2.5 | Primeri uporabe globinskih senzorjev | 19 |
| 3 | Primerjava programske opreme za video projekcije | 23 |
| 3.1 | MadMapper | 25 |
| 3.2 | Resolume | 25 |
| 3.3 | Little Projection Mapping Tool | 27 |
| 3.4 | MapMap | 29 |
| 4 | Postopek izdelave video projekcije na neravno površino | 31 |
| 4.1 | Ideja | 31 |
| 4.2 | Orodja in delovno okolje | 32 |
| 4.3 | Izdelava 3D makete | 32 |
| 4.4 | Priprava video animacije | 34 |
| 4.5 | Uporaba tehnike video mapiranja | 34 |

| | |
|-----------------------------|-----------|
| 4.6 Končni izgled | 36 |
| 5 Zaključek | 39 |
| Literatura | 41 |

Slovar tujk

| angleško | slovensko |
|---------------------------|--------------------------|
| <i>projection mapping</i> | preslikava projekcije |
| <i>video mapping</i> | video mapiranje |
| <i>software</i> | programska oprema |
| <i>spatial display</i> | prostorski prikazovalnik |
| <i>augmented reality</i> | obogatena resničnost |

Povzetek

Naslov: Video projekcija na neravno površino

Avtor: Lara Batistuta

Video projekcija na neravno površino je postopek pri katerem projiciramo večpredstavnostno vsebino na fizične predmete nepravilnih oblik. Da dosežemo želeni učinek, moramo uporabiti specializirano programsko opremo, ki omogoča video mapiranje. Diplomaska naloga razišče primere uporabe in pristope za izvedbo takšnih projekcij. Predstavi tudi povezavo s pojmom obogatene resničnosti in predvidene rešitve za prihodnost. Končni izdelek diplomskega dela je video projekcija na neraven objekt, proces izdelave pa je podrobno opisan v zadnjem poglavju.

Ključne besede: projekcija, video mapiranje, projektor, virtualna scena, programska oprema, umetniško delo.

Abstract

Title: Projection mapping

Author: Lara Batistuta

Projection mapping is a technique used to project multimedia sources on a non-flat surface. To achieve special effects, one has to use a specialized software, that provides video mapping functionality. This thesis explores examples of use and different approaches to projection mapping. It also explores its connection with augmented reality and provides some predictions for the future. The final product of this thesis is video mapping on an irregularly shaped object. The details of the process are explained in the last chapter.

Keywords: projection, video mapping, projector, virtual scene, computer software, artwork.

Poglavje 1

Uvod

Video mapiranje je tehnika, s katero se pogosteje srečujemo šele v zadnjem desetletju, vendar pa njeni začetki segajo že v drugo polovico prejšnjega stoletja. Z napredkom tehnologije se metode in pristopi močno spreminjajo, cilj pa ostaja isti – projicirati video vsebino na objekt nepravilne oblike. S pomočjo specializirane programske opreme lahko dosežemo, da se video vsebina prilagodi katerikoli podlagi.

Glavno orodje, za prikaz opisane tehnike, je projektor. Projektor je v današnjem času povsem vsakdanji pripomoček. Uporablja se ga predvsem za projekcije v izobraževalne namene, predstavitve poslovne narave ali pa predvajanje filmov in video posnetkov za zabavo. Uporaba je enostavna, vsebina se običajno projicira na ravno površino, navadno na temu namenjeno platno, rezultat projekcije pa je nekaj kar gledalec pričakuje.

Na drugi strani pa, ko so uporabniki projektorja izdelovalci video mapiranja, želijo, v nasprotju z navadno projekcijo, s to tehniko vzbuditi v gledalcu nove občutke in mu prikazati nekaj nepričakovanega, na prvi pogled morda nemogočega. Rezultat projekcije postavi gledalcu vprašanja in s tem pritegne več pozornosti kot običajna projekcija. Prav zaradi tega so uporabniki video projekcij največkrat vizualni umetniki, oglaševalci ali glasbeniki. Njihov cilj je osupniti gledalca in mu ponuditi nenavadno doživetje.

Uporaba video mapiranja, postaja vse bolj popularna, saj preslika video

direktno na neravno površino. Multimedijško vsebino lahko prikazujemo na podlagah različnih oblik, od stavb in lutk, do odrov in vodnih fontan. Oblika in tekstura površine, združena z grafiko, ima moč ustvariti občutek začudenja in ustaviti množico v toku [7].

Na nek način lahko vse video projekcije na neravne površine, označimo kot umetniška dela, njihove ustvarjalce pa umetnike. Cornock in Edmonds sta opredelila štiri osnovne kategorije, ki karakterizirajo razmerje med umetniškim delom, umetnikom, opazovalcem in okoljem, ki se še posebej nanašajo na interaktivna umetniška dela [6]. Te štiri kategorije so:

1. *Statična*

Med umetniškim delom in opazovalcem ni neposredne interakcije, saj ta samo opazuje. Vendar pa lahko opazovalec doživi čustveno ali psihološko reakcijo.

2. *Dinamično – pasivna*

Umetniško delo se lahko predvidljivo spremeni glede na zunanje vplive okolja (svetloba, zvok, temperatura). Opazovalec pasivno spremlja te spremembe. Umetnik vnaprej predvidi in določi vse možne spremembe umetniškega dela.

3. *Dinamično – interaktivna*

Ta je podobna kot dinamično – pasivna, le da lahko tukaj opazovalec prevzame tudi aktivno vlogo pri vplivanju na spremembe umetniškega dela. To običajno dosežemo z uporabo različnih računalniških senzorjev. Takšna umetniška dela lahko, na primer, reagirajo, ne samo na splošne gibe, temveč tudi na specifične geste opazovalcev, s čimer je organizacijska konfiguracija umetniškega dela še bolj bogata in zapletena.

4. *Dinamično – interaktivna (spreminjajoče se)*

V tej kategoriji ima dodaten modifikacijski agent vlogo spreminjanja začetne konfiguracije ali vedenja umetniškega dela. Uprizoritev je tako odvisna, ne samo od trenutnih signalov, ampak tudi od prejšnjih, kar

pomeni celotno zgodovino interakcij. Interaktivna umetniška dela se tako učijo in razvijajo iz izkušenj. Modifikacijski agenti so lahko opazovalci ali umetniško delo samo. Sodobne metode strojnega učenja in dostop do velikih podatkov preko interneta omogočajo izdelavo zelo kompleksnih umetniških del, ki so veliko manj predvidljiva.

V diplomski nalogi spoznamo primere umetniških del, ki jih lahko uvrstimo v vse štiri opisane kategorije. Statične projekcije so na primer na gledaliških odrih, kjer jih lahko samo opazujemo in so del scene. Primer dinamično - pasivne projekcije so koncerti v živo, kjer se animacija odziva glede na dinamiko in glasnost glasbe. Dinamično - interaktivne projekcije pa so zanimive za oglaševalce, ki na inovativen način predstavijo nove produkte. Zaradi možnosti interakcije, jim pravimo tudi obogatena resničnost.

Diplomska naloga raziše možnosti za izdelavo video projekcije na neravne površine. V nadaljevanju dela, v 2. poglavju, lahko naprej preberemo o zgodovini projekcij, kakšni pristopi so se uporabljali skozi čas. Z grafičnim prikazom uspešnih uporab te tehnike, lahko bralec dobi vtis, kaj sploh je raziskovana projekcija in na kakšne načine se jo lahko uporabi. Nazadnje v poglavju predstavimo tudi kako sta projektor in tehnika video mapiranja uporabljena za prikaz obogatene resničnosti.

Na trgu obstaja veliko programov, specializiranih za izdelavo video projekcije na neravne površine. V 3. poglavju se posvetimo primerjavi le-teh. Podrobneje predstavimo programe MadMapper, Resolume, Little Projection Mapping Tool in MapMap. Na koncu poglavja utemeljimo kateri program bomo uporabili za izdelavo prototipa in zakaj.

V drugem delu diplomske naloge je prikazana praktična implementacija video projekcije na neravne površine. V 4. poglavju na praktičnem primeru prikažemo kako dejansko preslikamo video na 3D objekt.

Poglavje 2

Video projekcija

Po definiciji enega izmed računalniških slovarjev, izraz preslikava projekcije (*angl.* projection mapping), pomeni projiciranje slike, z namensko programsko opremo, na fizične predmete nepravilnih oblik, z namenom spremeniti ali prekriti jih z drugačnim videom [8].

Raba projektorja za predstavitve v šolah in podjetjih ali za predvajanje filmov se razlikuje od rabe za preslikave projekcij. Pri prvi se namreč dvodimenzionalna slika preslika v dvodimenzionalno, saj je projicirna površina ravna. Drugače pa se, pri preslikavi projekcij, dvodimenzionalna slika preslika v tridimenzionalno [13]. Prikaz tega nasprotja je viden na sliki 2.1.



Slika 2.1: Na levi strani slike je projekcija na ravno površino, 2D slika se preslika v 2D sliko. Na desni strani pa je projekcija na neravno površino, 2D slika se preslika v 3D sliko [12].

2.1 Zgodovina

Tehnika video mapiranja je razmeroma nova, saj se prvič pojavlja šele v drugi polovici prejšnjega stoletja. Zaradi zahtev po napredni programski opremi, gre njen razvoj naprej skupaj s tehnološkim razvojem. Izrazoslovje se je skozi čas spreminjalo, šele od leta 2007 naprej lahko opazimo, da se je najbolj obdržal izraz „*projection mapping*“. Pred tem se omenja še izraz „*video mapping*“ in akademski izraz „*spatial augmented reality*“. V slovenskem jeziku še vedno nimamo ustaljene besedne zveze, največkrat se uporablja video projekcija, video mapiranje ali preslikava projekcij.

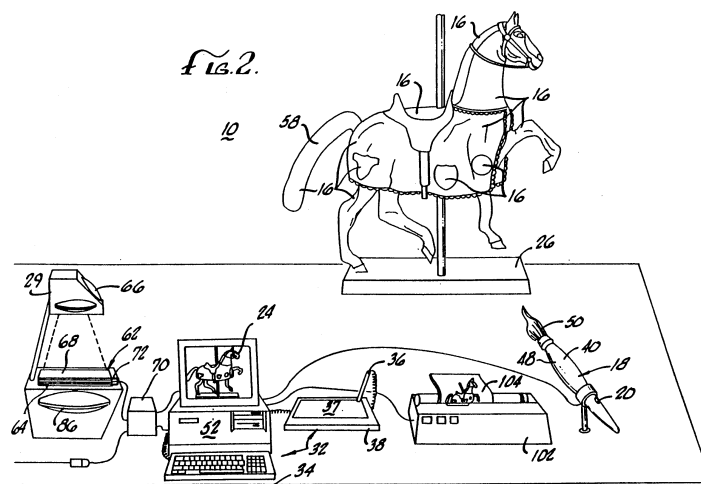
Prvi znan primer projekcije na neravno površino je bila hiša strahov v Disneylandu leta 1969. Vožnja po hiši je vključevala pojoče kipe. Glave pevcev so posneli na 16mm filmski trak in jih nato projicirali na kipe v obliki njihovih glav, da je izgledalo, kot da so kipi animirani.

Naslednja znana uporaba video preslikave je iz leta 1980, ko je umetnik Michael Naimark pripravil umetniško instalacijo z naslovom „Premiki“ (*angl.* Displacements). Najprej je posnel dva igralca v dnevni sobi, z obračljivo kamero, nato pa je kamero zamenjal s projektorjem. Nastala je rotacijska preslikava projekcije z iluzijo ljudi v prazni sobi.

Disney ni bil samo pionir v tehnologiji preslikav projekcij ampak je leta 1991 tudi prvi izdal patent z naslovom „Aparatura in metoda za projekcijo na tridimenzionalen objekt“ (*angl.* Apparatus and method for projection upon a three-dimensional object) [21]. Ta opisuje sistem za digitalno slikanje slike na oprijemljiv tri-dimenzionalni objekt. Na sliki 2.2 je predstavljen način delovanja naprave.

Koncept preslikav projekcije je bil prvič akademsko obravnavan na Univerzi v Severni Karolini, v Chapel Hill, v poznih devetdesetih, ko je ekipa, ki jo je vodil Ramech Raskar, delala na projektu imenovanem „Pisarna prihodnosti“ (*angl.* Office of the Future), s katerim so želeli povezati pisarne na različnih lokacijah z uporabo projekcije ljudi, kot da so v pisarni [14].

Po prelomu stoletja se je z napredkom v tehnologiji, začela razvijati tudi video projekcija. Tehnika je vzbudila zanimanje v podjetjih kot so Micro-



U.S. Patent

June 28, 1994

Sheet 2 of 5

5,325,473

Slika 2.2: Projekcijska naprava in metoda za realistično projekcijo, namenjena za zabavo in optično inženirstvo. Patent, ki ga je leta 1991 zasnoval Disney [21].

soft in tako je nastala prva programska oprema, namenjena izključno video projekciji na neravne površine [23, 11].

2.2 Opis tehnike

Kakšni so postopki in kako se lotimo izdelave video projekcij? Splošen opis tehnike je težko zapisati, saj obstaja veliko različnih pristopov. Priprava in način izdelave video projekcije sta odvisna od številnih parametrov, kot so: fizična velikost projekcije, finančne zmožnosti izvajalca, kvaliteta opreme, lokacija projekcije, itd. V nadaljevanju so po točkah opredeljeni osnovni koraki, ki naj bi jih zajemala skoraj vsaka video projekcija na neravne površine [23].

1. Izbira objekta

Najprej izberemo objekt na katerega bo izvedena projekcija. To je lahko stavba, stena, predmet. Omejitev pri obliki objekta skoraj da ni, vendar pa je proces mapiranja, pri kompleksnih površinah, bolj zapleten. Pri izbiri moramo paziti na barvo površine, ta naj bo čim bolj svetla, ter na svetlost okolice, ki naj bo čim bolj temna. S tem bomo izboljšali vidljivost projekcije.

2. Izbira projektorja

Glede na izbor objekta, se odločimo za primeren projektor. Pomisliti moramo, kje bo projektor postavljen, v katero smer bo projiciral in na tehnične zahteve, kot so napajanje in zmogljivost. Verjetno najbolj pomemben faktor je svetlost, ki jo merimo v ANSI (*angl.* American National Standards Institute) lumnih. Več lumnov pomeni svetlejši projektor. Veliki projektorji z izhodno močjo 20,000 lumnov ali več, se uporabljajo za velike projekcije, npr. na mestnih nebotičnikih. Za manjše projekcije pa se uporabljajo projektorji z manjšo izhodno močjo. Projektorji z močjo od 1000 do 2000 lumnov so primerni za manjše projekcije v temnih prostorih. Projektor z močjo 2200 lumnov je primeren za projekcije v prostoru z notranjimi lučmi ali z gledališko osvetljavo.

3. Izbira programske opreme

Možnosti je veliko, zato se odločimo na podlagi preferenc. Lahko uporabimo programsko opremo za preslikavo projekcije, kot je MadMapper, Qlab, Troixatronix's Isadora, FacadeSignage, ArKao MediaMaster in GrandVJ, VPT in Multi-Projector-Mapper. Potem ko smo izbrali program, ga povežemo s projektorjem.

4. Izbira ali izdelava multimedijske vsebine

Najboljši rezultat bomo dosegli, če bomo vsebino popolnoma prilagodili objektu na katerega bo projicirana. To lahko storimo tako, da fotografiramo

konkretno fizično sceno, kjer bo prikazana projekcija. Nato fotografijo uvozimo v računalnik in s pomočjo programa za grafično oblikovanje, izdelamo masko. Ta maska predstavlja pozicijo projekcije.

5. Mapiranje (*angl.* Mapping)

Programska oprema za preslikovanje projekcij omogoča, da povežemo robove v virtualni sceni, na robove na fizični sceni. Projekcijo lahko prilagodimo kateremukoli objektu. Veliko lažje je mapirati na objekt z ravnimi robovi, tudi večina programov je prilagojenih na to možnost. Zelo nenavadne oblike bodo zahtevale več truda in napredno programsko opremo.

6. Vstavljanje vsebine

Vsak kos multimedijske vsebine postavimo na izbrano mesto na projekciji površini.

7. Maskiranje

Uporabimo različne predloge, filtre in jakosti projekcije, da uprizorimo čim bolj točne oblike in pozicije elementov na projekciji površini. Pri 3D preslikavah moramo definirati koordinate objekta glede na pozicijo projektorja. Koordinate, umerjenost xyz osi, položaj in specifikacija leč projektorja morajo prikazovati določeno virtualno sceno.

8. Prilagajanje

Za boljše rezultate so pogosto potrebne prilagoditve, ki jih dosežemo s prilagajanjem fizične ali virtualne scene.

2.3 Primeri uporabe video projekcij na neravne površine

Vrste projekcij lahko delimo po različnih parametrih. Avtorica članka, objavljenega v reviji Veto Magazine [29], je projekcije razdelila na dve glavni podpodročji: statične - projekcije namenjene določeni površini in prilagodljive - projekcije prilagojene katerikoli površini.

1. Statične projekcije



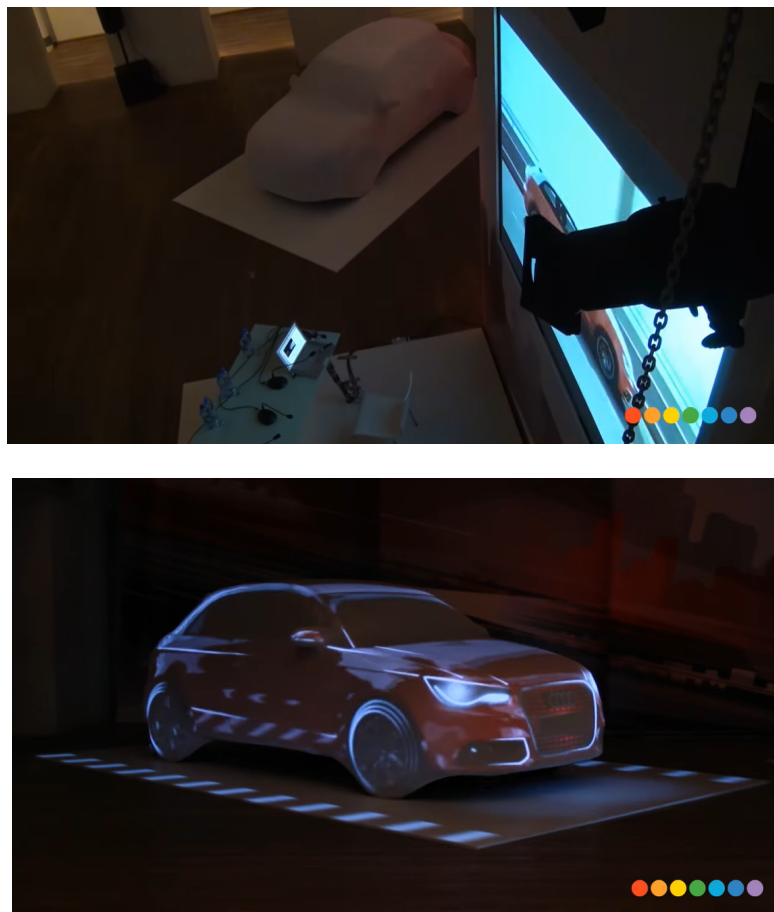
Slika 2.3: Umetniška inštalacija „Svet brez meja“. Avtor: TeamLab [30].

Video material je pripravljen v naprej in prikazan takšen kot je, brez spreminjanja.

Najbolj pogosti uporabniki statičnih projekcij so umetniki. Ti se natančno posvetijo površini, na kateri bo izvedena projekcija, in temu primerno izdelajo umetniško inštalacijo. Celotna uprizoritev je pripravljena v naprej. Postavitev projekcijske opreme je natančno določena in mora biti ob vsaki uprizoritvi enaka. Sprememba te postavitve zelo vpliva na končen izgled in

lahko pokvari iluzijo, ki jo je želel umetnik doseči. Na sliki 2.3 je umetniška inštalacija, ki jo je pripravila japonska ekipa umetnikov, pod imenom TeamLab. S pomočjo tehnologije mapiranja so ustvarili sanjski svet v Muzeju digitalne umetnosti (*angl.* Digital Art Museum), v Tokiu. Projekcijo z naslovom „Svet brez meja“ (*angl.* Borderless), so prikazali v prostoru, velikem $10.000m^2$, za izvedbo pa so potrebovali 520 računalnikov in 470 projektorjev.

Statične projekcije uporabljajo tudi oglaševalci. Podjetja želijo pritegniti potrošnike, zato se poslužujejo uporabe video projekcij. Navadno gre za predstavitve novih produktov, kot je to izvedlo podjetje Audi. Zgoraj na sliki 2.4 lahko vidimo pripravo projekta, spodaj pa izvedbo.



Slika 2.4: Predstavitev produkta z video projekcijo. Avtor: Radugadesign [24].

Gledališče uporablja statične video projekcije v scenografiji. Prikaz na sliki 2.5 predstavlja prizor iz gledališke predstave v Orange's Roman Theatre.

2. Prilagodljive projekcije

Prilagodljivo projekcijo v živo nadzoruje oseba, ki skrbi za preoblikovanje in spreminjanje video vzorcev, prilagajanje oblikam in dodajanje efektov.

Prilagodljive projekcije največkrat uporabljajo VJ-ji (*angl.* video jockey). Uporablja se na dogodkih v živo, s prikazom v realnem času. Projekcija se dopolnjuje z glasbo in tako ustvarja celovito avdio-video predstavitev. Sestavljena je iz vnaprej programiranih videoposnetkov in kombinacij učinkov in prekrivanj. Tovrstne projekcije velikokrat spremljajo elektronsko glasbo in jih zato vidimo v klubih, na koncertih ali festivalih. Na sliki 2.6 lahko vidimo ploskve na katerih se, s pomočjo programa za mapiranje, prilega video vsebina, ki jo nadzira VJ.

Glede na površino na katero projiciramo, lahko video projekcije razdelimo na tri kategorije. To so arhitekturna projekcija (stavbe), projekcija na predmet (geometrične oblike), notranje projekcije (stene prostora).

1. Arhitekturne projekcije

Na festivalu iMapp v Bukarešti se umetniki predstavljajo s prikazom video animacij na stavbah. Na sliki 2.7 je zmagovalna projekcija iz leta 2016.

2. Projekcije na predmet

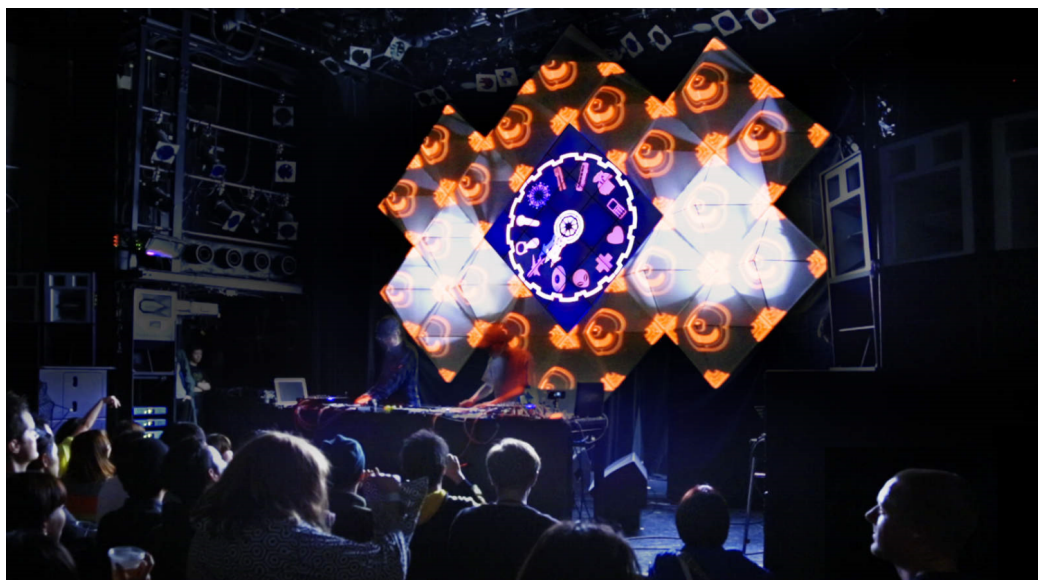
Na sliki 2.8 je objekt z neravno površino, na katerega je projicirana animacija.

3. Notranje projekcije

Prikazane so v prostoru in izkoriščajo stene ali strop prostora, tako kot na sliki 2.9.



Slika 2.5: Projekcija v gledališču. Avtor: CosmoAV [4].



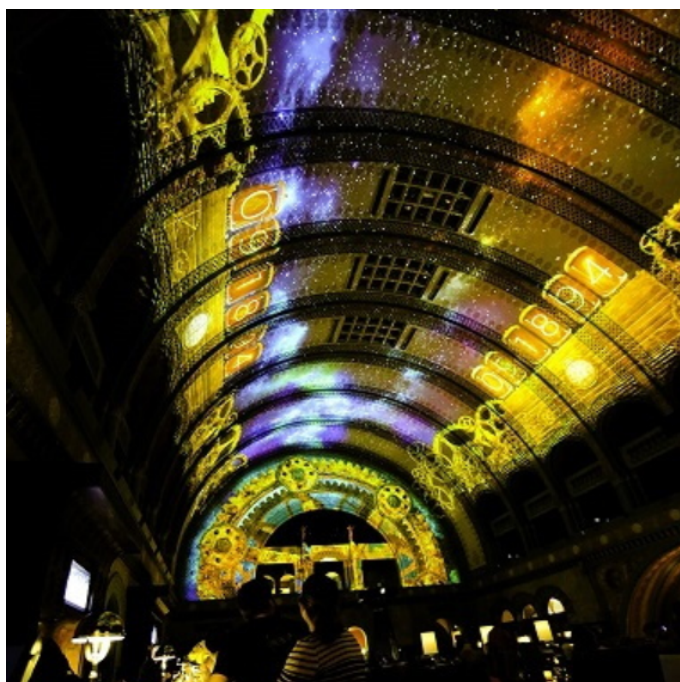
Slika 2.6: Glasbeni oder osvetljen projekcijo. Avtor: Vjfader [32].



Slika 2.7: Video projekcija na stavbi. Avtor: Limelight [16]. Zgoraj je stavba brez projekcije, spodaj pa nočni prizor med predstavitvijo žive animacije z uporabo video mapiranja.



Slika 2.8: Video projekcija na predmet. Avtor: Dev Harlan [5].



Slika 2.9: Video projekcija v prostoru. Avtor: Technomedia Solutions [31].

2.4 Video projekcija kot medij za prikaz obogatene resničnosti

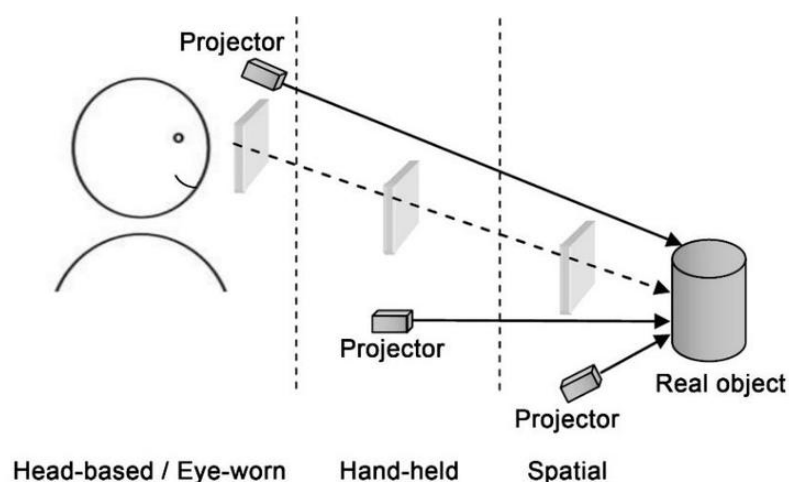
Tehnika video mapiranja, ki je bila uporabljena v vseh primerih v prejšnjem poglavju, in je trenutno najbolj popularna, zahteva ročno manipulacijo. To pomeni, da ustvarjalec uporabi program, v katerem ročno prilagodi robove izhodne vsebine projektorja in tako združi virtualno in fizično sceno. Napredek tehnologije pa se usmerja k opuščanju ročnih popravkov in prilagoditev. V nadaljevanju poglavja je predstavljeno kako pri tem pomaga računalniški vid, ki analizira odzive iz okolice.

Obogateno resničnost definiramo kot medij, sestavljen iz interaktivne računalniške simulacije, ki zaznava uporabnikov položaj in delovanje, ter nadomesti ali obogati povratno senzorno informacijo enemu ali več čutom, s čimer dobimo občutek prisotnosti v simulaciji. Predstavimo jo s štirimi elementi: virtualno okolje, virtualna prisotnost, povratna informacija senzorjev in interaktivnost [20].

Obogatena resničnost je pravzaprav opazovanje fizičnega okolja skozi sistem, v katerem se nahajajo navidezni objekti, omogoča pa tudi interakcijo z njimi. Obogatene scene lahko uprizorimo s pomočjo različnih sistemov. Kot je prikazano na sliki 2.10, poznamo: naglavne naprave (očala), ročne naprave z zaslonom (telefon), projekcije v fizični svet (projektor). Tukaj pridemo do povezave med video projekcijami na 3D površine in obogateno resničnostjo.

Prostorski prikazovalniki na osnovi projektorja (*angl.* Projector based spatial displays) uporabljajo frontalno projekcijo za projiciranje slik neposredno na površino fizičnih objektov. V primerjavi z naglavnimi zasloni imajo prostorski prikazovalniki na osnovi projektorja nekaj prednosti: izboljšano ergonomijo, teoretično neomejeno vidno polje, prilagodljivo ločljivost in lažjo prilagoditev za oči (navidezni predmeti se namreč navadno nahajajo v bližini lokacije v realnem svetu).

Prostorski prikazovalniki imajo potencial združitve fizičnega in virtualnega sveta v zelo kakovostni kvaliteti. Iz tega sledi, da lahko vidna ločitev



Slika 2.10: Slika prikazuje tri sisteme za uprizoritev obogatene resničnosti. Projektor je lahko na uporabnikovi glavi v obliki očal, lahko ga uporabnik drži v roki (telefon, tablica), ali pa je postavljen prosto v prostoru [9, 10].

med fizičnim in sintetičnim okoljem nekega dne popolnoma izgine [3].

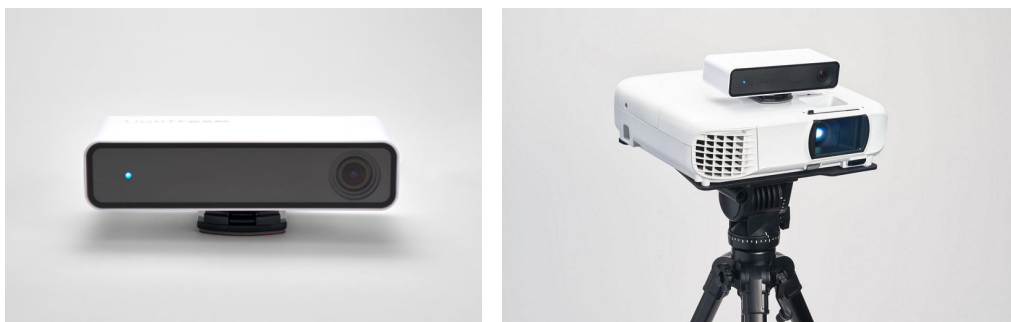
Do sedaj je bila obogatena resničnost pogosto predstavljena skozi nosljivo napravo. Toda odstranitev teh naprav bi pomenila, da lahko več ljudi skupaj doživlja izkušnjo navidezne resničnosti in to brez posebnih priprav. Prav tako bi pomenila manj problemov, ki jih povzročajo neudobnost, teža in napajalni kabli nosljivih zaslonov. Projicirana obogatena resničnost ima tudi svoje slabosti. V primeru, da pride v projicirno polje nepričakovan predmet, se ustvari senca, ki pokvari projekcijo. Prav tako slabše deluje v preveč svetlih prostorih [15].

O. Bimber in R. Raskar sta leta 2005 v knjigi „Prostorska obogatena resničnost, združitev resničnega in virtualnega sveta“ (*angl.* Spatial Augmented Reality, Merging Real and Virtual Worlds) zapisala: „Projektorji bodo v bližnji prihodnosti kompaktni, prenosljivi in z vgrajenim zaznavanjem, kar jim bo omogočilo avtomatično izdelavo zadovoljivih prikazov na različnih površinah v vsakodnevnem okolju.“ In do tega smo tudi prišli, saj so projektorji majhni in zelo zmogljivi. Sami sicer še nimajo globinskega sensorja, lahko pa namesto tega odlično delujejo v povezavi z orodji, ki nudijo to funk-

cionalnost. Na trgu že nekaj časa obstaja Microsoftov Kinect, leta 2017 pa smo spoznali še Lightform. Obe napravi lahko v povezavi s projektorjem in tehniko video mapiranja omogočata prikaz obogatene resničnosti.

2.4.1 Lightform

Lightform (na sliki 2.11) se poveže z video projektorjem, ki projicira slike in animacije na okoliške predmete. Tako lahko z video mapiranjem vsaka površina postane zaslon.



Slika 2.11: Lightform je sodobni globinski senzor, ki sprejema informacije o pozicij objektov v prostoru.

Lightform s pomočjo vgrajenega globinskega senzorja skenira vidno polje in vrne do piksla natančen zemljevid vsega kar projektor vidi. V aplikaciji lahko za vsako ploskev do roba natančno nastavimo svetlobni prizor, tako kot lahko vidimo na sliki 2.13. Kamera nato periodično optično preiskuje okolico in spremeni kalibracijo projekcije, če se pozicije objektov spremenijo. Zaradi te funkcije je naprava primerna tudi za dolgoročne namestitve, grafiko pa lahko nadziramo in spreminjamo kar preko aplikacije na telefonu [15].

2.4.2 Kinect

Na sliki 2.12 je Kinect, globinski senzor, ki uporabniku omogoča, da nadzira delovanje in posega v uprizorjeno okolje, brez fizičnega kontrolerja.



Slika 2.12: Microsoft Kinect je globinski senzor, ki nam pomaga da lahko, v povezavi s projektorjem, ustvarimo obogateno resničnost.

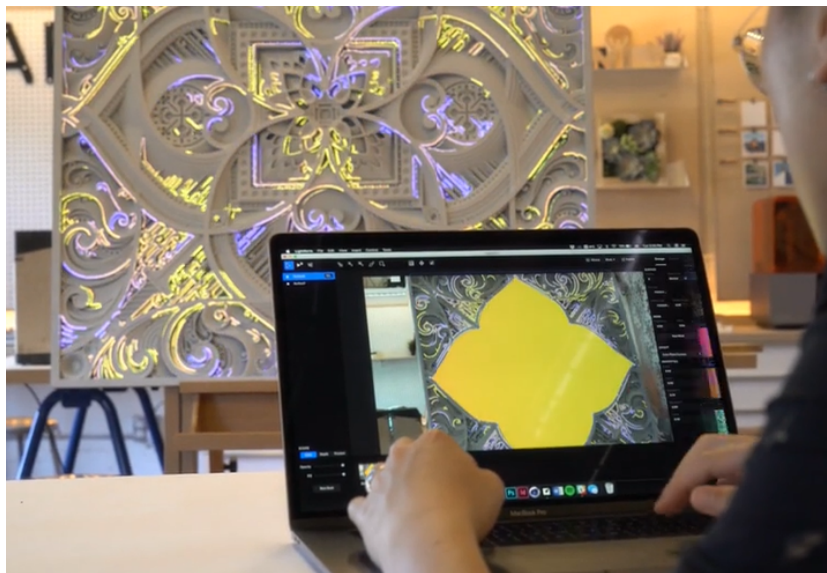
V prihodnosti lahko pričakujemo naprave za projiciranje z vgrajenimi globinskimi senzorji in zmožnostjo samo-nastavitve video mapiranja. Ročna manipulacija ne bo več potrebna, saj bo sistem sam zaznal robove objekta. Orodje Lightform je že zelo dober približek tega, vendar pa lahko glede na trend razvoja video projekcije, pričakujemo še veliko bolj napredne naprave. Obogatena resničnost bo postala del vsakdana, saj jo bo mogoče nastaviti brez zahtevnih predpriprav.

2.5 Primeri uporabe globinskih senzorjev

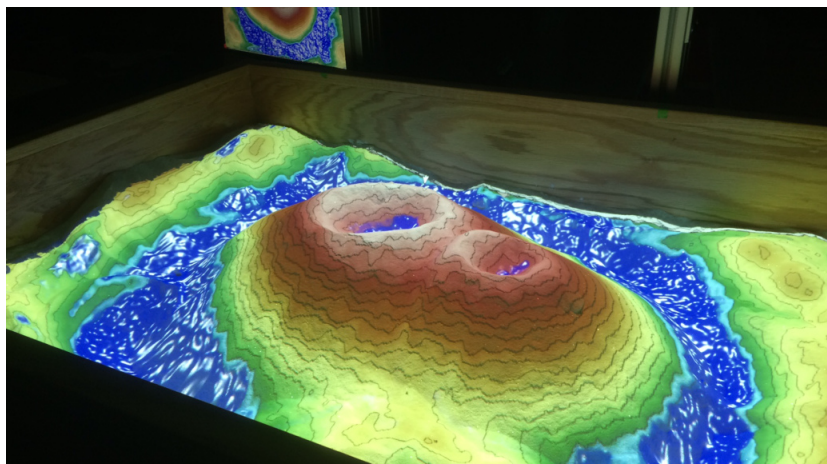
Umetniške skulpture lahko oživijo, ko na njih projiciramo mirujoče ali gibljive slike. Takšen primer je bil realiziran z orodjem Lightform in ga lahko vidimo na sliki 2.13.

2.5.1 Virtualno obogateni peskovnik

Ena od bolj znanih uporab Kinect orodja, je „Virtualno obogateni peskovnik“ (*angl.* Sandbox). Iz peska lahko oblikujemo relief, računalniški sistem pa v realnem času prikazuje lastnosti površja glede na njegovo obliko. Primer lahko vidimo na sliki 2.14.



Slika 2.13: Skulptura bele barve je s pomočjo Lightform tehnologije dobila žive, barvne animacije.

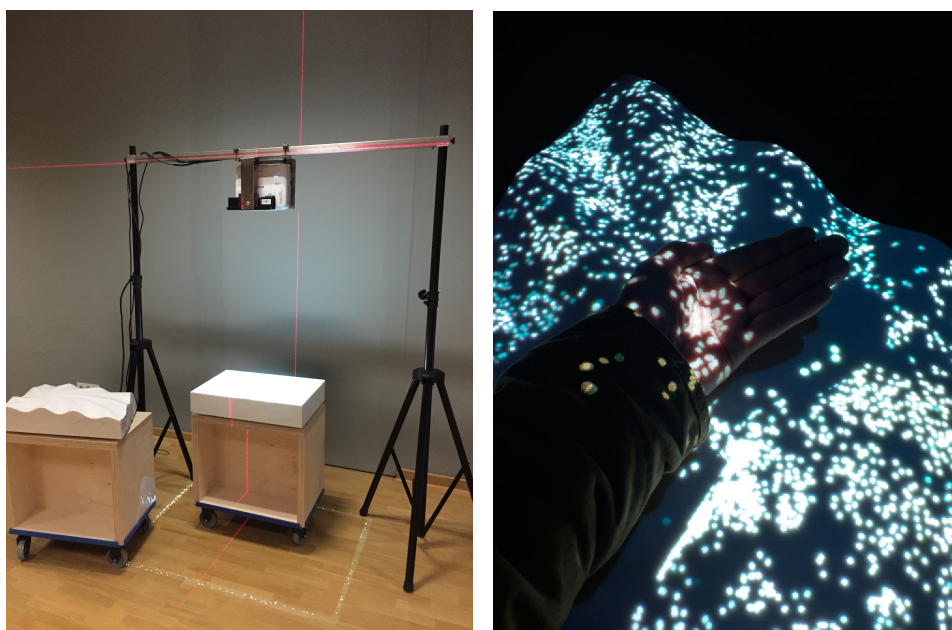


Slika 2.14: Virtualno obogateni peskovnik je tudi učni pripomoček, saj spoznavamo lastnosti reliefa zemeljske površine. Izdelan je s pomočjo globinskega senzorja Kinect in projektorja.

2.5.2 Svetlobni vodnjak

Senzor Kinect je bil uporabljen tudi pri projektu „Svetlobni vodnjak – virtualno obogatena kamnita skulptura“ (*angl.* Light fountain – a virtually enhanced stone sculpture) [28].

Kinect zaznava 3D obliko kamnitega kipa in tudi vse ovire nad površino. Kapljice vode, ki se pojavljajo kot dež, so v inštalaciji predstavljene kot svetlobne točke. Računalniški sistem generira vsako kapljico neodvisno od ostalih, njeno vedenje pa je odvisno od njenega prejšnjega stanja in naklona trenutnega dela površine. Opazovalec lahko z roko spremeni pretok simuliranih kapljic. Na sliki 2.15 je prikazana postavitve projektorja in senzorja Kinect, ter primer, kjer opazovalec postavi roko nad površino. Senzor zazna spremembo 3D oblike in pošlje informacije sistemu, ki temu primerno prilagodi projekcijo. Na spletu je dostopen video prikaz izvedbe projekta [27].



Slika 2.15: Kinect je globinski senzor, ki nam pomaga, da lahko, v povezavi s projektorjem, ustvarimo obogateno resničnost. Na sliki je delo „Svetlobni vodnjak“, avtorjev F. Solina in B. Meden [28].

2.5.3 Anamorfna projekcija

Globinski senzor in video projekcija bi lahko spremenila tudi izgled anamorfnih slik. Kaj sploh so anamorfne slike? V nasprotju od običajnega in osrednjega pogleda, anamorfna slika zahteva od opazovalca, da se postavi ravno na pravo mesto in usmeri svoj pogled v točno določeno smer (Arnheim, 1984) [1]. Do sedaj so bila takšna umetniška dela prilagojena samo za eno smer pogleda. To pomeni, da se je opazovalec moral prilagoditi umetnini. S pomočjo novodobnih orodji za zaznavanje okolice, pa lahko dosežemo, da se umetnina sama prilagaja opazovalcu.

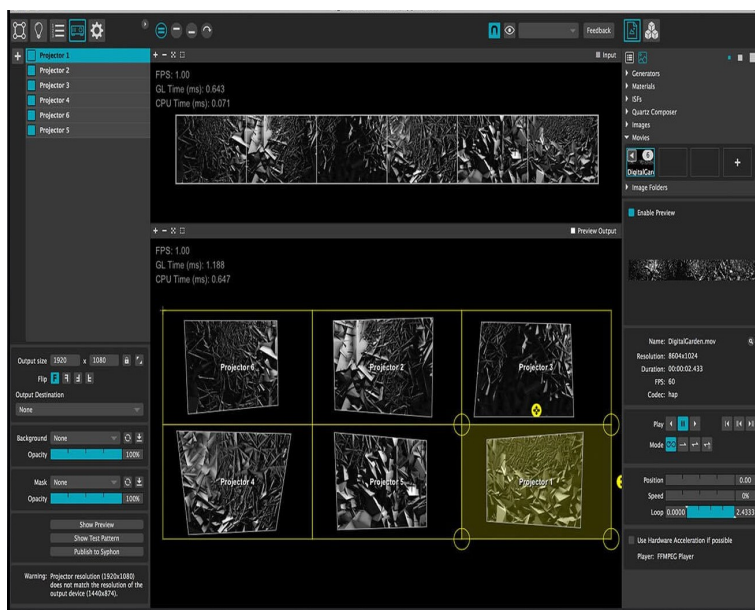
V članku „Dinamična anamorfoza kot poseben, računalniško generiran uporabniški vmesnik“ (*angl.* Dynamic Anamorphosis as a Special, Computer-Generated User Interface) [25] so avtorji predstavili novo obliko takšnih umetnin - dinamično anamorfozo. Ker lahko anamorfno sliko projiciramo z uporabo video projektorja, ki je povezan z računalnikom ali pa z uporabo velikega računalniškega monitorja, lahko, kadarkoli se opazovalec premakne, anamorfno sliko spremenimo tako, da ostane preoblikovana slika vedno enaka za opazovalca. Da bi dosegli to konstantno prilagajanje anamorfne slike, je treba v realnem času spremljati položaj opazovalca in nato v skladu z njegovim novim položajem, v realnem času preoblikovati projicirano anamorfno sliko, tako da izgleda nedeformirana iz tega novega opazovalčevega položaja. Dinamična anamorfoza je torej kombinacija lokalizacije opazovalca in skladno prilagajanje slike.

Poglavje 3

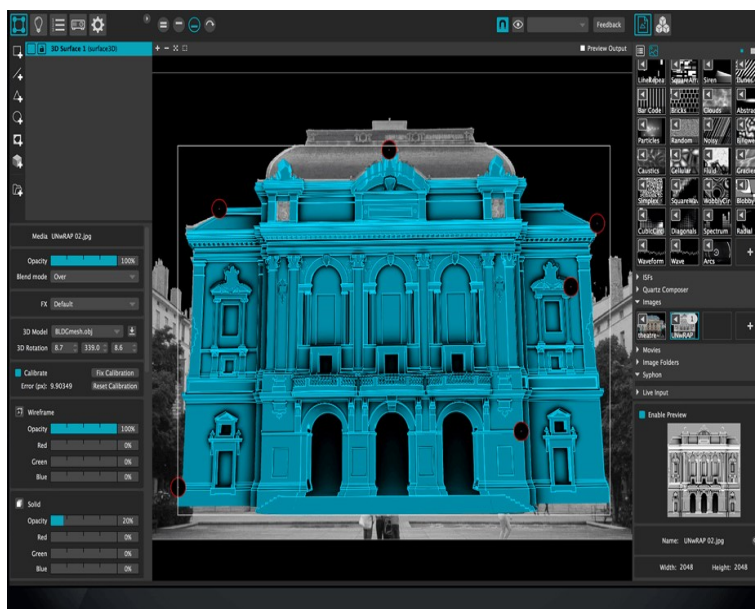
Primerjava programske opreme za video projekcije

Za izvedbo video projekcije potrebujemo specializirano programsko opremo, ki nam mora omogočati vsaj osnovno funkcijo za video mapiranje, in to je prilagajanje oblike izhodne vsebine projekcije. Na spletu lahko najdemo dolg seznam programske opreme, ki nudi to možnost. Med njimi so tudi štirje programi, ki so predstavljeni v nadaljevanju tega poglavja. To so MadMapper, Resolume, Little Projection Mapping Tool in MapMap.

Pri izbiri programa se lahko odločamo glede na različne parametre [22]. Ustreznost programa je na prvem mestu odvisna od zmogljivosti računalnika. Strojna in programska oprema naprave, na kateri bo deloval program za video projekcije, mora biti posodobljena in pripravljena na zahtevne procese. Na drugem mestu pri izbiri pa je proračun projekta. Večina programov je namreč plačljivih, saj ponujajo veliko funkcionalnosti in konstantne možnosti za posodobitve. Vsi večji programi nudijo brezplačno demo različico, s pomočjo katere se lažje odločimo za ustreznost programa.



Slika 3.1: Madmapper je program za mapiranje videa in luči. Ena od naprednih zmožnosti je tudi sinhronizacija več projektorjev hkrati.



Slika 3.2: Uporabniški vmesnik programa MadMapper je enostaven za uporabo.

3.1 MadMapper

MadMapper je napredna programska oprema za mapiranje videa in luči. Prilagodljiv je za izpeljavo video projekcije na različnih površinah, kot so zgradbe, umetniški objekti in odri [18]. Program ni zahteven, poleg tega pa je zaradi njegove prepoznavnosti možno na spletu najti veliko uporabnih informacij. Na spletni strani madmapper.com si lahko pomagamo z video vodniki in forumom, na katerem uporabniki delijo svoje projekte in izkušnje.

MadMapper ni brezplačen program. Obstaja demo različica, ki jo lahko preizkusimo brezplačno, vendar ima omejene zmožnosti. Najem programa z vsemi funkcionalnostmi je plačljiv.

Program nudi veliko funkcij, ki jih s pomočjo povratnih informacij uporabnikov konstantno izboljšuje in posodablja. Med njimi so: možnost uporabe več projektorjev, maskiranje, video efekti, 3D kalibracija, 3D osvetljevanje in mnoge druge. Eno izmed funkcionalnosti lahko vidimo na sliki 3.1.

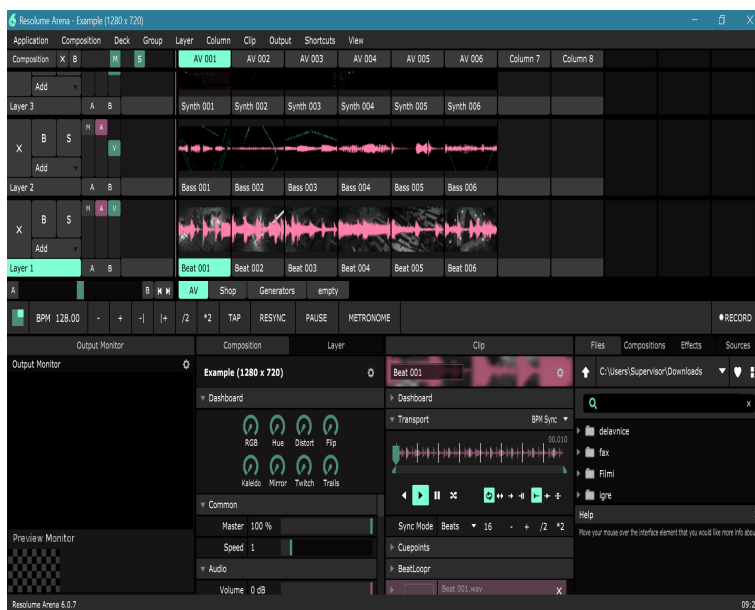
Uporabniški vmesnik je uporabniku prijazen in enostaven za uporabo, prikazan je na sliki 3.2. Na vrhu zaslona se nahaja orodna vrstica, v kateri lahko spreminjamo prikaz menija ter vrsto prikaza izhodnega okna. Na levi strani je meni v katerem lahko spreminjamo nastavitve in uporabljamo vse funkcionalnosti programa. Na desni strani je multimedijski meni, kjer so shranjene video vsebine, slike in 3D objekti, pripravljeni za uporabo.

3.2 Resolume

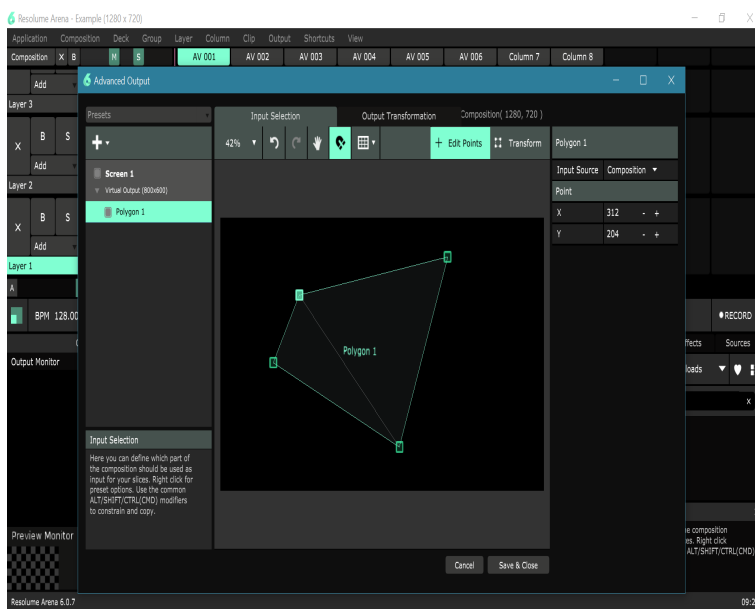
Program Resolume je namenjen predvsem glasbenim VJ-jem in umetnikom, ki ustvarjajo projekcije v živo. Poleg tega pa ima tudi močno orodje za izdelavo video mapiranja [26].

Resolume nudi brezplačno demo različico z omejenim številom funkcionalnosti. Nakup celotnega orodja pa je cenovno manj ugoden kot MadMapper.

Za razliko od MadMapperja, je Resolume veliko bolj zahteven za uporabo. Program je kompleksen, saj vsebuje veliko število različnih funkcionalnosti, kot lahko vidimo na sliki 3.3.



Slika 3.3: Program za ustvarjanje video projekcij, Resolume, je kompleksno sestavljen in ponuja veliko funkcionalnosti.



Slika 3.4: Video mapiranje v programu Resolume omogoča prilagoditev projekcije na katerokoli površino.

Resolume nudi možnost hkratnega predvajanja več medijskih vsebin, s čimer lahko dosežemo zanimive efekte. Omogoča tudi napredno maskiranje, efekte s tekstom, animacije, video efekte, sinhronizacijo z zvokom in drugimi medijskimi napravami.

Uporabniški vmesnik vsebuje tri vzporedne časovnice, ki omogočajo pregled nad medijsko vsebino in hkratno predvajanje in prekrivanje. V spodnjem delu vmesnika, se nahaja medijska knjižnica, ter meni s številnimi možnostmi in nastavitvami. Za izdelavo video mapiranja, se odpre dodatno okno, na katerem je mogoče upravljati z video izhodom. To funkcionalnost lahko vidimo na sliki 3.4.

3.3 Little Projection Mapping Tool

Little projection mapping tool (v nadaljevanju LPMT), je brezplačno, preprosto a dokaj zmogljivo orodje za izdelavo video mapiranja. S pomočjo enega projektorja, ki ga povežemo s programom, lahko projiciramo elemente na različno orientirane površine in pri tem prilagodimo popačenje video vsebine [17].

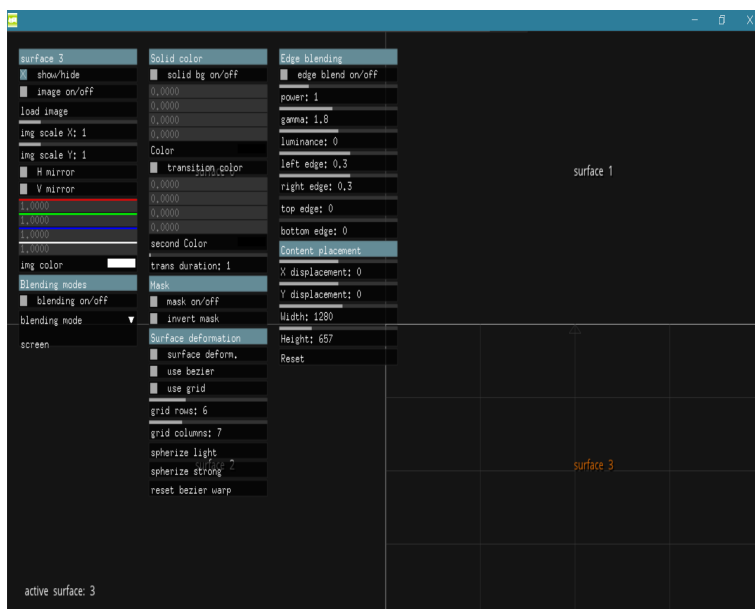
Vsak kvadrat v LPMT je neodvisen objekt, ki lahko vsebuje video, slike, enobarvno sliko ali pa živo vsebino iz kamere. Na sliki 3.5 je prikazana uporaba različnih medijskih vsebin v programu.

Funkcionalnosti tega programa so, v primerjavi s plačljivimi programi, omejene. Omogoča prilagajanje hitrosti, način ponavljanja vsebine, maskiranje, spreminjanje barv in nekatere vizualne efekte.

Uporabniški vmesnik je preprost in enostaven, kot lahko vidimo na sliki 3.6. Celotno površino zaslona zajema video izhod, ki je povezan s projektorjem. Na zaslonu lahko prilagajamo pozicijo štirikotnikov, ki so nosilci medijske vsebine. Na levi strani vmesnika je meni, ki vsebuje možnosti, s katerimi lahko spreminjamo izgled vsebine.



Slika 3.5: Brezplačen program, Little Projection Mapping Tool, je omejen le na osnovne operacije video mapiranja.



Slika 3.6: Uporabniški vmesnik programa LPMT je sestavljen iz menija in štirih štirikotnih površin, ki jim lahko spremenimo perspektivo.

3.4 MapMap

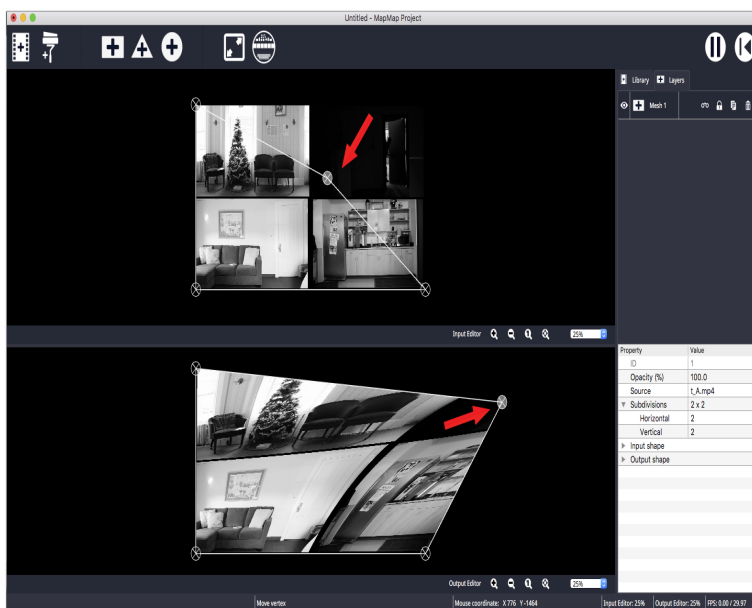
MapMap je brezplačna, odprtokodna programska oprema za video mapiranje. Namenjena je umetnikom in majhnim ekipam z nezahtevnimi projekti [19].

S programom lahko projiciramo na katerokoli površino, saj omogoča manipulacijo medijske vsebine v različne pozicije in oblike. Primer prilagajanja oblike je prikazan na sliki 3.7. Program nima veliko funkcionalnosti za spreminjanje medijske vsebine. Omogoča prilagajanje prosojnosti, barve, oblike in hitrosti predvajanja videa.

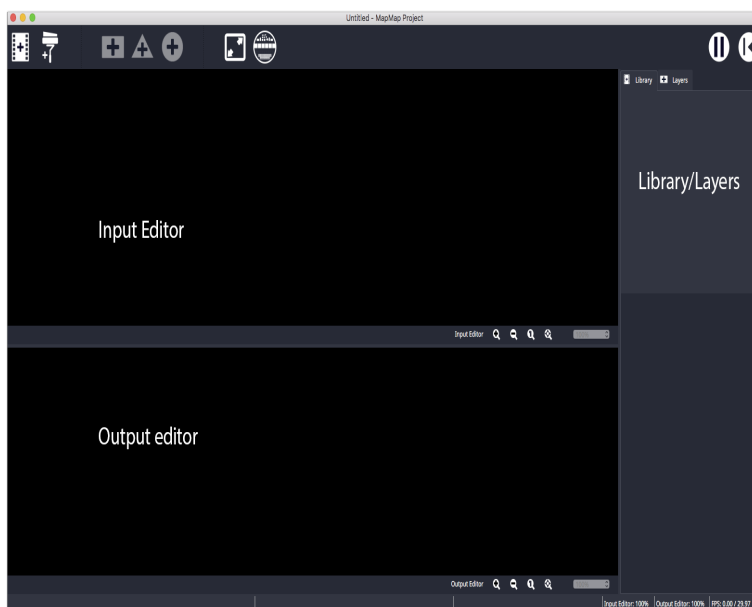
Uporabniški vmesnik je prikazan na sliki 3.8 in je zelo intuitiven in enostaven za uporabo. Vsebuje dve okni, ki predstavljata vhodno in izhodno vsebino. Na desni strani vmesnika, je medijska knjižnica in prikaz plasti vsebine. Na zgornji strani pa je meni v katerem najdemo nekaj funkcionalnosti za vnos vsebine in njeno prilagajanje.

Za namen izvedbe projekta opisanega v 4. poglavju smo testirali vse štiri programe in prišli do naslednjih ugotovitev. Programa MadMapper in Resolume zaradi svoje cene nista primerna, demo različica pa ni uporabna, saj vsebuje vodni žig. LPMT program je zaradi uporabniškega vmesnika nekoliko zastarel in nima dovolj možnosti prilagajanja vsebine.

Za naš projekt je najbolj primeren program MapMap, saj je enostaven za uporabo in dovolj zmogljiv.



Slika 3.7: Program MapMap omogoča prilagajanje oblike izhodne vsebine s pomočjo mask. Te so lahko štirikotne, trikotne ali okrogle.



Slika 3.8: Uporabniški vmesnik programa MapMap je intuitiven in enostaven.

Poglavje 4

Postopek izdelave video projekcije na neravno površino

Projekt je bil izveden v sodelovanju s Sandro Vaupotič, študentko magistrskega študija Video in novi mediji, na Akademiji za likovno umetnost in oblikovanje.

4.1 Ideja

Umetniško delo nosi naslov *Sladka pregreha*. Z delom želimo prikazati združitev analogne in digitalne grafike. Projekt *Sladka pregreha* predstavlja kritiko hitre prehranske industrije, ki novodobnega človeka konstantno potiska v skušnjava. Potrošnik je zasičen s hitro prehrano in pozabi na njene negativne posledice. „*V opomin, zabavo in užitke vizualnim brbončicam predstavljamo računalniško generirane sladke pregrehe*“ (Vaupotič, 2018).

Osrednji element izdelanega umetniškega dela so kolački. Ti predstavljajo hrano, ki nas privlači, zaradi svojega izgleda.

4.2 Orodja in delovno okolje

Projekt je bil izveden na računalniku HP Spectre x360 Convertible s procesorjem Intel® Core™ i7-6500U CPU @ 2.50GHz 2.59GHz in pomnilnikom RAM 8GB. 64-bitni operacijski sistem Windows 10.

Za projekcijo je bil uporabljen projektor Acer X1110 z resolucijo 800 x 600, kontrastom 4500:1 in svetlostjo 2500 ANSI lumnov.

4.3 Izdelava 3D makete

Zamislili smo si 3D obliko kolačka. Maketa mora biti lahka, saj bo visela na steni, prilegati se mora natisnjeni grafiki v ozadju, sestavljena pa naj bo iz belih, gladkih ploskev.

Razmišljali smo o različnih načinih, kako izdelati maketo, ki bo ustrezala vsem pogojem. Prva ideja je bil odlitek v glini, vendar bi to vzelo veliko časa in materiala, predvsem pa teža skulpture ne bi bila ugodna za obešanje na steno. Druga možnost bi bil model iz stiropora, vendar se nam tudi ta rešitev ni zdela primerna, zaradi zahtevnosti izdelave. Odločili smo se, da maketo izdelamo iz kartona.

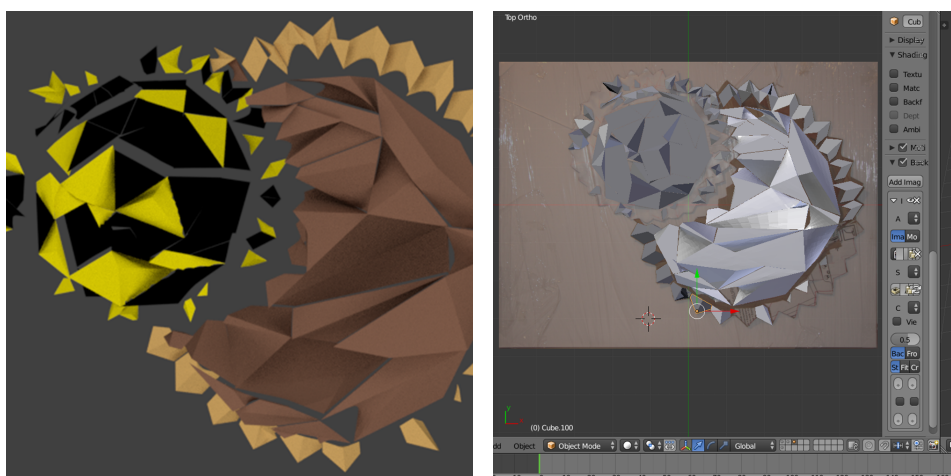
Najprej smo karton velikosti 2x2 metra obesili na vrvice in ga prislonili ob steno. Uporabili smo projektor in nanj projicirali sliko zamišljene oblike. Obrisi zunanlega roba smo s svinčnikom začrtali na karton. Nato smo narisano obliko izrezali in jo položili na tla. Iz drugih kosov kartona smo izrezali manjše trikotne in druge večkotne oblike in jih potem s silikonskim lepilom, prilepili na osnovno ploskev na tleh. Kose smo lepili tako, da so bili usmerjeni ven iz ploskve, saj smo želeli tridimenzionalno maketo. Ko so bili vsi deli trdno pritrjeni, smo celotno površino pobarvali na belo. Slika 4.1 prikazuje proces izdelave 3D makete.



Slika 4.1: Proces izdelave 3D makete. Želeno obliko smo projicirali na karton in jo izrezali. Manjše kose smo prilepili na podlago, da smo ustvarili 3D obliko. Končani model smo pobarvali z belo barvo.

4.4 Priprava video animacije

Animacija je izdelana v programih Blender in Adobe After Effects. Prikazuje razpad kolačka na majhne delce. Kolaček je najprej v mirovanju, nato pa se razdrobi na mnogo majhnih koščkov. V nekem trenutku se koščki sestavijo nazaj. Večina delcev je v rjavi barvi, kar je naravna barva kolačka, nekateri pa so rumeni in črni. Ti predstavljajo nepopolnost kolačka, ki gledalca odvrne od sladke pregrehe. Slika 4.2 prikazuje izdelavo animacije.

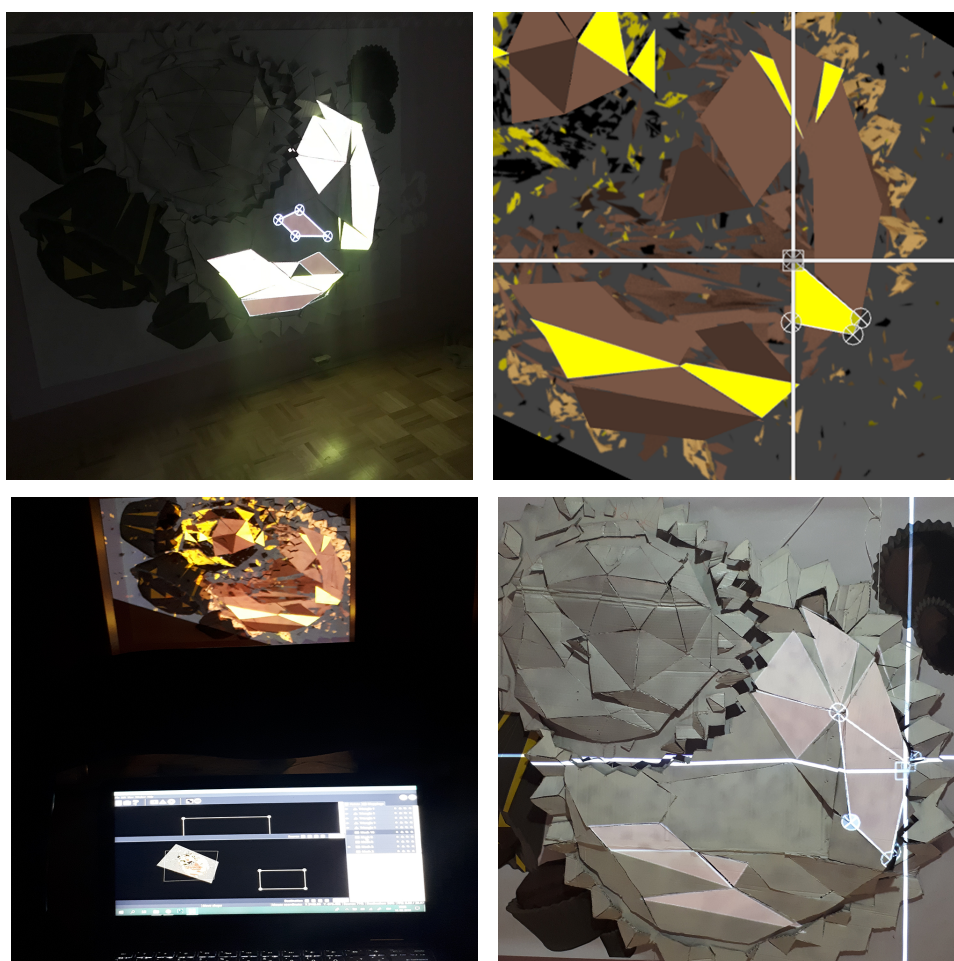


Slika 4.2: Video animacija je bila izdelana v programih Blender in Adobe After Effects.

4.5 Uporaba tehnike video mapiranja

Za prileganje digitalne vsebine, smo uporabili program MapMap. Najprej smo v program prenesli večpredstavnostno vsebino. Prenesemo lahko video posnetke, slike, ali gibljive slike. Dokler ne uporabimo maske, se prenesena vsebina ne prikaže. Ustvarimo lahko štirikotno, trikotno ali okroglo masko. Mi smo uporabili štirikotnik in ga z ročno manipulacijo oglišč, prilagodili tako, da se je vsebina videa poravnala z robovi 3D kolačka. Za posebni učinek, smo želeli „pobarvati“ nekatere ploskve makete. To storimo z barvnimi maskami. Za izbor barve se odpre pojavno okno, v katerem lahko

izberemo barvo po izbiri. Barvne virtualne ploskve, ki smo jih ustvarili v programu, smo ročno prilagodili na ploskve na fizični sceni. Program MapMap omogoča mapiranje na katerokoli obliko in pozicijo. Vsebino prilagajamo direktno na fizično sceno s pomočjo kurzorja, ki ga vidimo kot središče navpične in vodoravne, bele črte. S pomočjo smernih tipk na tipkovnici pa lahko še natančneje prilagodimo oglišča maske.



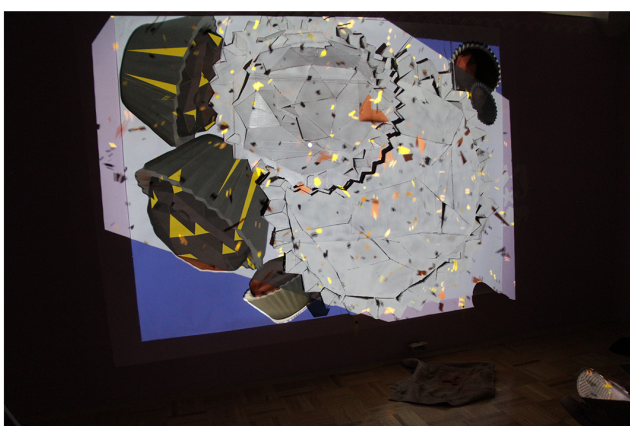
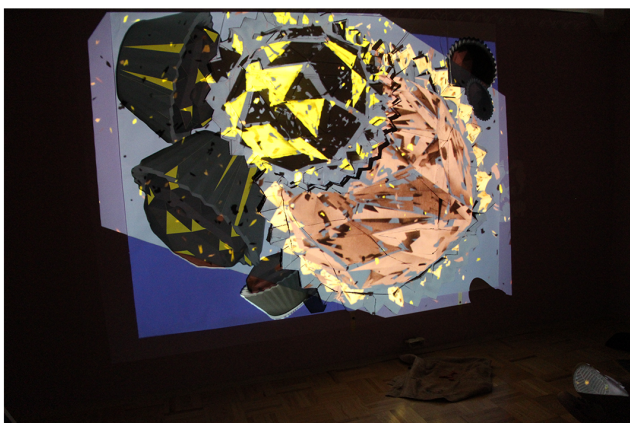
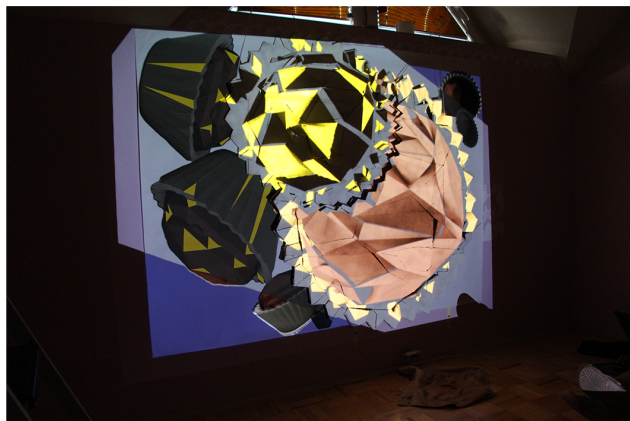
Slika 4.3: Proces mapiranja vsebine na fizično sceno. Na zgornji desni sliki je posnetek zaslona med mapiranjem, na spodnji desni pa je pogled na fizično sceno.

4.6 Končni izgled

Delo je sestavljeno iz treh elementov: prvi element je ozadje, to je bele barve, na njem pa je z laserskim tiskalnikom natisnjenih šest kolačkov. Drugi element je 3D maketa – kolaček, ki lebdi na ozadju. Tretji element pa je animacija, ki je s projektorjem projicirana na prva dva elementa.

Projekt želi predstaviti vizualno premoč nad človekom. Ta se, ob pogledu na estetsko lepe kolačke, ne more upreti skušnjavi. Na lebdečih kolačkih so trikotne oblike rumene in črne barve, ki se sestavljajo in razstavljajo. Gre za abstraktno uprizoritev hrane kot objekta, ki s tem izgubi svojo privlačnost.

Na slikah 4.4 lahko vidimo končno podobo projekta *Sladka pregreha*. Video zapis pa je dostopen na povezavi [2].



Slika 4.4: Končni izgled projekta *Sladka pregreha*.

Poglavje 5

Zaključek

V diplomski nalogi smo raziskali področje video projekcij na neravne površine. V teoretičnem delu smo se najprej spoznali s tehniko video mapiranja in ugotovili, da obstaja veliko različnih pristopov. Vsak uporabnik se torej mora, glede na svoje želje, prilagoditi in najti ustrezen prostor, projektor in verjetno najpomembnejše, primeren program, ki bo zmožen prikazati željeno projekcijo.

Nato smo spoznali primere uporabe video projekcij. Kljub temu, da je tehnika razmeroma nova, se jo uporablja v številne namene. Vrste projekcij delimo po različnih parametrih. Mi smo jih razdelili glede na površino, na katero projiciramo, ter glede na statične oziroma dinamične projekcije.

Dotaknili smo se tudi pojma obogatene resničnosti. Spoznali smo namreč, da lahko, za uprizoritev obogatene scene, poleg drugih sistemov, uporabimo tudi projektor in tehniko video mapiranja. Prednost te uporabe je združitev fizičnega in virtualnega sveta, ki ga lahko doživlja več ljudi hkrati. Ker pa zahteva obogatena resničnost tudi nekakšno interakcijo, možnost posega v virtualno sceno, moramo poleg projektorja uporabiti tudi globinski senzor. Ena od največjih prednosti uporabe takšnega senzorja, za izvedbo video mapiranja, je možnost samodejne nastavitve prileganja objektu, brez ročne manipulacije.

V tretjem poglavju smo primerjali štiri programe, ki so specializirani za

izdelavo projekcij na neravne površine. MadMapper in Resolume sta odlična programa z zelo naprednimi funkcijami, vendar sta cenovno draga in zato neprimerna za ljudi, ki se profesionalno ne ukvarjajo s tehniko video mapiranja. Little Projection Mapping Tool je brezplačen, ampak zelo preprost program. Omogoča le osnovne funkcije, uporabniški vmesnik pa je zastarel. Spoznali smo se tudi s programom MapMap in ga ocenili kot najbolj primernega za nezahtevnega uporabnika in tudi za naš projekt. Sicer tudi ta ne ponuja veliko funkcionalnosti, vendar pa je bolj enostaven za uporabo.

V zadnjem poglavju predstavimo proces izdelave konkretnega projekta, ki vsebuje video projekcije na neravno površino. Umetniški projekt je bil izveden v sodelovanju s Sandro Vaupotič, študentko magistrskega študija Video in novi mediji, na Akademiji za likovno umetnost in oblikovanje. Projekt *Sladka pregreha* predstavlja kritiko hitre prehranske industrije. Osrednji element v naši izvedbi so kolački. Ti so zaradi svoje estetskosti zelo privlačni za potrošnika, v našem projektu pa jih predstavimo z abstraktnimi nenaravnimi linijami, s katerimi gledalca odvrnemo od sladke pregrehe.

Umetniško delo je sestavljeno iz treh elementov. Prvi je ozadje, na katerem je natisnjenih šest kolačkov, gledalec pa jih vidi v dvodimenzionalni perspektivi. Na ozadju visi iz kartona izdelana 3D maketa kolačka. Ta vsebuje gladke ploskve različnih oblik, ki izstopajo iz podlage. Zadnji element je video animacija, ki je s pomočjo tehnike video mapiranja, projicirana na celotno površino.

Video projekcija na neravno površino je postopek, pri katerem projiciramo večpredstavnostno vsebino na fizične predmete nepravilnih oblik. Uporablja se ga predvsem za umetniške predstavitve, od razstav do glasbenih dogodkov. Zelo popularen pa je tudi v oglaševalskem svetu, kjer na inovativen način predstavijo nove izdelke. V prihodnosti lahko pričakujemo porast uporabe tega postopka, saj nam omogoča, da že z malo truda uprizorimo sceno, ki je za gledalca lahko zelo prepričljiva, čeprav nepredstavljava.

Literatura

- [1] Rudolf Arnheim. *The power of the center : a study of composition in the visual arts*. Berkeley : University of California Press, 1984.
- [2] Lara Batistuta and Sandra Vaupotič. Video mapiranje - sladka pregreha. Dosegljivo: <https://youtu.be/Mrs5Lolfr5c>, 2018. [Dostopano: 31. 8. 2018].
- [3] Oliver Bimber and Ramesh Raskar. *Spatial Augmented Reality, Merging Real and Virtual Worlds*. A. K. Peters, 2005.
- [4] Carmina Burana – Orange’s Roman Theatre. Dosegljivo: <http://www.cosmoav.com/en/creation/carmina-burana-theatre-antique-dorange-17-juillet-2014/>, 2014. [Dostopano: 25. 6. 2018].
- [5] Harlan Dev. Sculpture Installation. Dosegljivo: <http://www.devharlan.com/wp/>. [Dostopano: 25. 6. 2018].
- [6] Ernest Edmonds. Art, interaction and engagement. In *15th International Conference on Information Visualisation*, pages 451 – 456. IEEE, 08 2011.
- [7] Joanna Furlong. How 4 Companies Wow Customers With Projection Mapping Ads. Dosegljivo: <https://www.businessnewsdaily.com/10529-projection-mapping-examples.html>, 2018. [Dostopano: 7. 6. 2018].

-
- [8] Islovar. Dosegljivo: <http://www.islovar.org/islovar>. [Dostopano: 28. 5 .2018].
- [9] Jiayi Jin. New poetics of augmented space: Reconceptualise augmented space based on fundamentals of augmented reality (ar). *Science Museum Group Journal*, pages 7–8, 08 2017.
- [10] Jiayi Jin. *When Exhibitions Become Experiences*. PhD thesis, University of Nottingham, 2017.
- [11] Brett Jones. The Illustrated History of Projection Mapping. Dosegljivo: <http://projection-mapping.org/the-history-of-projection-mapping/>, 2012. [Dostopano: 20. 5. 2018].
- [12] Brett Jones. What is projection mapping? Dosegljivo: <http://projection-mapping.org/what-is-projection-mapping/>, 2014. [Dostopano: 5. 8. 2018].
- [13] Fabian Kindl. An effective setup for realizing projects in the area of projection mapping as a small group. Technical report, St. Pölten University of Applied Sciences, St. Pölten, Austria, 2 2016.
- [14] Jaron Lanier. Virtually there. *Scientific American*, 284(4):66–75, 2001.
- [15] How it works. Dosegljivo: <https://www.lightform.com/how-it-works>. [Dostopano: 5. 8. 2018].
- [16] IMAPP 2016 - INTERCONNECTION. Dosegljivo: <http://3dprojectionmapping.net/portfolio-item/imapp-2016/>, 2016. [Dostopano: 25. 6. 2018].
- [17] LPMT. About. Dosegljivo: http://hv-a.com/lpmt/?page_id=2. [Dostopano: 25. 6. 2018].
- [18] MadMapper. Dosegljivo: <https://madmapper.com/>. [Dostopano: 25. 6. 2018].

- [19] MapMap. Dosegljivo: <https://mapmapteam.github.io/>. [Dostopano: 25. 6. 2018].
- [20] Matjaž Mihelj, Domen Novak, and Samo Beguš. *Virtual Reality Technology and Applications*. Springer Netherlands, 2014.
- [21] Marshall M. Monroe and Willian G. Redmann. Apparatus and method for projection upon a three-dimensional object. Dosegljivo: <https://patents.google.com/patent/US5325473>. [Dostopano: 25. 6. 2018].
- [22] ProjectileObjects. Best projection mapping software. Dosegljivo: <http://projection-mapping.org/best-projection-mapping-software/>, 2017. [Dostopano: 3. 8. 2018].
- [23] Projection Mapping. Dosegljivo: https://en.wikipedia.org/wiki/Projection_mapping, 2018. [Dostopano: 20. 5. 2018].
- [24] Projects. Dosegljivo: <http://radugadesign.com/en>. [Dostopano: 25. 6. 2018].
- [25] Robert Ravnik, Borut Batagelj, Bojan Kverh, and Franc Solina. Dynamic anamorphosis as a special, computer-generated user interface. *Interacting with Computers*, 26:46–62, 01 2014.
- [26] Resolume. Dosegljivo: <https://resolume.com/>. [Dostopano: 25. 6. 2018].
- [27] Franc Solina. Light fountain—an interactive art installation. Dosegljivo: <https://youtu.be/y6NAiX1Nm20>, 2017. [Dostopano: 29. 6. 2018].
- [28] Franc Solina and Blaž Meden. Light fountain—a virtually enhanced stone sculpture. *Digital Creativity*, 28(2):89–102, 2017.
- [29] Irina Spicaka. Spatial Projections, Veto Magazine. Dosegljivo: https://medium.com/@irina_spicaka/spatial-projections-8e82ed34278e, 2013. [Dostopano: 3. 8. 2018].

- [30] MORI Building DIGITAL ART MUSEUM. Dosegljivo: <https://borderless.teamlab.art/>. [Dostopano: 25. 6. 2018].
- [31] Technomedia Installs America's Largest Permanent Indoor Projection Mapping Display. Dosegljivo: <http://www.dailydooh.com/archives/110722>, 2015. [Dostopano: 25. 6. 2018].
- [32] Stage design. Dosegljivo: <http://www.vjfader.com/stage-design/>. [Dostopano: 25. 6. 2018].