

# Komparativno istraživanje snimanja pokreta i tradicionalne tehnike animiranja

---

Varga, Kristijan

Master's thesis / Diplomski rad

2021

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University North / Sveučilište Sjever**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:122:088935>

Rights / Prava: [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-01-05**



Repository / Repozitorij:

[University North Digital Repository](#)



**SVEUČILIŠTE SJEVER**  
**SVEUČILIŠNI CENTAR VARAŽDIN**



DIPLOMSKI RAD br. 050-MMD-2021

**Komparativno istraživanje snimanja pokreta i  
tradicionalne tehnike animiranja**

Kristijan Varga

Varaždin, rujan 2021. godine



**SVEUČILIŠTE SJEVER**  
**SVEUČILIŠNI CENTAR VARAŽDIN**  
**Studij: Multimedija**



**Diplomski rad br. 050-MMD-2021**

**Komparativno istraživanje snimanja pokreta i tradicionalne  
tehnike animiranja**

**Student**

Kristijan Varga, 1261/336

**Mentor**

doc. dr. sc. Andrija Bernik

Varaždin, rujan 2021. godine

# Prijava diplomskog rada

## Definiranje teme diplomskog rada i povjerenstva

ODJEL	Odjel za multimediju	
STUDIJ	diplomski sveučilišni studij Multimedija	
PRISTUPNIK	Kristijan Varga	MATIČNI BROJ 0321004697
DATUM	13.09.2020.	KOLEGIJ 3D animacija za video igre
NASLOV RADA	Komparativno istraživanje snimanja pokreta i tradicionalne tehnike animiranja	

NASLOV RADA NA ENGL. JEZIKU Comparative research of motion capture and traditional animation techniques

MENTOR	doc.dr.sc. Andrija Bernik	ZVANJE	Docent
ČLANOVI POVJERENSTVA	1. doc.dr.sc. Emil Dumić - predsjednik		
	2. doc.art. Robert Geček - član		
	3. doc.dr.sc. Andrija Bernik - mentor		
	4. izv.prof. Dean Valdec - zamjenski član		
	5. _____		

## Zadatak diplomskog rada

BROJ 050-MMD-2021

OPIS

U ovom diplomskom radu će biti provedeno komparativno istraživanje i analiza tehnike animiranja između snimanja pokreta tradicionalne animacije.

U teorijskom dijelu rada će biti objašnjeni osnovni koraci potrebni prije samog animiranja kao što su: odabir programa, modeliranje karaktera, izrada kostura itd. Nakon toga će se objasniti i opisati glavni pojmovi vezani za animaciju i ovo istraživanje: 12 principa animacije, koje sve tehnike animiranja postoje, kako one funkcioniraju i slično. Istraživanje se sastoji od nekoliko znanstvenih radova čija se glavna problematika podudara s problemima i tezama ovog diplomskog rada te koji su njihovi zaključci bazirani njihovom istraživanju i analizom prikupljenih podataka na probleme.

Cilj ovog diplomskog rada je istražiti i usporediti rezultate ostalih istraživačkih radova baziranih na temu usporedbe snimanja pokreta i tradicionalne tehnike animiranja kako bi se utvrdilo koja tehnika animiranja je preferirana za izradu animacije, pozitivne i negativne strane tih tehnika i što je zajedničko i što se može zaključiti uspoređivanjem rezultatima ostalih istraživačkih radova.

ZADATAK URUČEN

POTPIS MENTORA

SVEUČILIŠTE  
SJEVER

## **Predgovor**

*Želio bih se zahvaliti svojem mentoru doc. dr. sc. Andriji Berniku što mi je davao smjernice i savjete tijekom rađanja ovog diplomskog rada što mi je omogućilo da napravim bolji i kvalitetniji rad. Također hvala članovima povjerenstva što su mi omogućili da svoju osobnu zainteresiranost i znatiželju pretvorim u diplomski rad.*

*Hvala svim prijateljima, obitelji i kolegama koji su mi bili podrška tijekom studiranja i izradi ovog diplomskog rada.*

## **Sažetak**

*U ovom diplomskom radu će biti provedeno komparativno istraživanje i analiza tehnike animiranja između snimanja pokreta tradicionalne animacije. Diplomski rad se sastoji od dva glavna dijela: Teorijski i istraživački dio rada. U teorijskom dijelu rada će biti objašnjeni osnovni koraci potrebni prije samog animiranja kao što su: odabir programa, modeliranje karaktera, izrada kostura itd. Nakon toga će se objasniti i opisati glavni pojmovi vezani za animaciju i ovo istraživanje: 12 principa animacije, koje sve tehnike animiranja postoje, kako one funkcioniraju i slično. Prije istraživanja će se prodiskutirati koji problemi i teze nastaju temeljem prijašnjih objašnjenih pojmova, problemi i teze poput: kako se tradicionalni način animiranja uspoređuje sa snimanjem pokreta, koje su prednosti i nedostaci tih tehnika animiranja što će poslužiti kao glavne smjernice tijekom istraživanja. Istraživanje se sastoji od nekoliko znanstvenih radova čija se glavna problematika podudara s problemima i tezama ovog diplomskog rada te koji su njihovi zaključci bazirani njihovom istraživanju i analizom prikupljenih podataka na probleme.*

***Ključne riječi:*** Tradicionalna animacija, snimanje pokreta, tehnike animiranja, istraživanje

## **Abstract**

*In this thesis, a comparative research and analysis of animation techniques between recording the movements of traditional animation will be conducted. Thesis consists of two main parts: theoretical and research part. The theoretical part of the paper will explain the basic steps required before animation, such as: program selection, character modeling, skeleton making, etc. After that, the main concepts related to animation and this research will be explained and described: 12 principles of animation, all techniques animations exist, how they work and similarities. Before the research, it will be discussed what problems and theses arise based on the previously explained concepts, problems, and theses such as: how the traditional way of animation is compared with motion recording, what are the advantages and disadvantages of these animation techniques. The research consists of several scientific papers whose main issues coincide with the problems and theses of this thesis, and which are their conclusions based on their research and analysis of the collected data on the problems.*

**Keywords:** *Keyframe animation, motion capture, Animation techniques, research*



## Popis korištenih kratica

<b>MOCAP</b>	Motion Capture – snimanje pokreta
<b>2D</b>	Dvodimenzionalan
<b>3D</b>	Trodimenzionalan
<b>NURBS</b>	Neujednačeni racionalni bazni splajn
<b>FPS</b>	Frames per second - okviri po sekundi
<b>FK</b>	Forward Kinematics – kinematika prema naprijed
<b>IK</b>	Inverse Kinematics – obrnuta kinematika

# Sadržaj

1.	Uvod.....	1
2.	Potrebni procesi prije animiranja .....	3
2.1.	Odabir programa .....	3
2.1.1.	<i>Blender</i> .....	3
2.1.2.	<i>Autodesk Maya</i> .....	4
2.1.3.	<i>3ds Max</i> .....	4
2.1.4.	<i>Cinema 4D</i> .....	5
2.2.	Modeliranje .....	5
2.3.	Teksturiranje modela.....	7
2.4.	Izrada kostura za animaciju (engl. <i>Rigging</i> ).....	8
2.5.	Kinematika prema naprijed .....	9
2.6.	Obrnuta kinematika .....	10
3.	Animacija.....	11
3.1.	12 principa animacije .....	12
3.1.1.	<i>Spljošti – rastegni (Engl. Squash and stretch)</i> .....	12
3.1.2.	<i>Iščekivanje (engl. Anticipation)</i> .....	13
3.1.3.	<i>Trajanje (engl. Timing)</i> .....	14
3.1.4.	<i>Sceniranje (engl. Staging)</i> .....	15
3.1.5.	<i>Prateća i preklapajuća radnja (engl. Follow Through and Overlapping Action)</i> .....	16
3.1.6.	<i>Usporenje na početku i usporenje na kraju (engl. Slow In and Slow Out)</i> .....	16
3.1.7.	<i>Lukovi (engl. Arcs)</i> .....	17
3.1.8.	<i>Sekundarna radnja (engl. Secondary Action)</i> .....	18
3.1.9.	<i>Pretjerivanje (engl. Exaggeration)</i> .....	18
3.1.10.	<i>Uvjerljivost (engl. Appeal)</i> .....	19
3.1.11.	<i>Jasan crtež (engl. Solid Drawing)</i> .....	20
3.1.12.	<i>Sukcesivna animacija i od poze do poze (engl. Straight Ahead and Pose to Pose)</i> .....	20
4.	Tehnike animiranja .....	22
4.1.	Tradicionalna tehnika animiranja.....	22
4.1.1.	<i>Prednosti i nedostaci</i> .....	23
4.2.	Hibridna tehnika animiranja.....	24
4.3.	Snimanje pokreta (engl. <i>Motion capture</i> ) .....	24
4.3.1.	<i>Magnetski sustavi</i> .....	26
4.3.2.	<i>Optički sustavi</i> .....	27
4.3.3.	<i>Mehanički sustavi</i> .....	28
4.3.4.	<i>Prednosti i nedostaci tehnike snimanja pokreta</i> .....	29
Istraživanje.....		31
4.4.	Ranija istraživanja .....	31
4.4.1.	<i>Znanstveni rad 1: Istraživanje korištenja keyframe i motion capture-a u industriji (Engl. A Study on Practical Approach of Using Motion Capture and Keyframe Animation Techniques)</i> .....	31

4.4.2.	Znanstveni rad 2: Tradicionalna animacija i snimanje pokreta za stvaranje animacija: anketa i percepcija ljudi iz industrije (engl. <i>Keyframe animation and motion capture for creating animation: a survey and perception from industry people</i> ).....	33
4.4.3.	Znanstveni rad 3: Izučavanje analiza tradicionalne animacije i snimanja pokreta (Engl. <i>Analysis of the keyframe animation and motion capture case studies</i> ) .....	35
4.4.4.	Znanstveni rad 4: Tehnike u usnim sinkronizaciji i praćenju lica korištenjem motion capture tehnike: evolucija u mocap (engl. <i>Techniques in lip-sync and facial tracking using motion capture: the pre-evolution to mocap</i> ).....	37
4.4.5.	Znanstveni rad 5: Tradicionalni način animiranja ili snimanje pokreta? Razmišljanja o obrazovanju animacije likova (engl. <i>Keyframe or Motion Capture? Reflections on Education of Character Animation</i> )	38
4.4.6.	Znanstveni rad 6: MOCKEY: hvatanje pokreta kao alat za animaciju tradicionalne animacije (engl. <i>Motion Capture as a tool for Keyframing Animation</i> ).....	41
4.4.7.	Znanstveni rad 7: Animacija iz reference: snimanje pokreta i uređivanje pokreta (engl. <i>Animation From Observation: Motion Capture and Motion Editing</i> ) .....	43
4.5.	Nedavna istraživanja .....	44
4.5.1.	Usporedba tradicionalnog načina animiranja i hibridnog načina animiranja za ljudske karaktere (engl. <i>Comparing Traditional Key Frame Animation Approach and Hybrid Animation Approach of Humanoid Characters</i> )	44
4.5.2.	Sustav snimanja pokreta, izazovi i najnoviji trendovi (engl. <i>Motion capture system, challenges, and recent trends</i> ) .....	45
4.5.3.	Tehnologija snimanja pokreta - beneficije i izazovi (engl. <i>Motion Capture Technology – Benefits and Challenges</i> ).....	46
5.	Sažetak znanstvenih radova .....	48
6.	Zaključak.....	50
7.	Literatura.....	52

# 1. Uvod

Prvi pokušaji animacija se mogu primijetiti mnogo prije papira i tradicionalne 2D animacije. Ti pokušaji se mogu primijetiti na zidovima pećina i raznim objektima poput vaza gdje se mogu primijetiti crteži pokreta u smisljenoj sekvenci. Nakon toga su se razvili razni uređaji i načini za izradu jednostavnih animacija, kao što je slikovna knjižica. No, način animiranja koji je revolucionirao i populariziralo način animiranja je 2D tradicionalni način animiranja, gdje su animatori proveli većinu vremena crtajući sličice (engl. *frames*), te bi onda sličicu po sličicu slagali i snimali kako bi se dobila sekvenca tih sličica, time i sama animacija.

Razvojem tehnologije i povećanjem popularnosti animacije u raznim granama industrije, došlo je do potrebe za bržim i efikasnijim pristupom animiranja. Pojava prvih 3D animacija nije bila preko računalne grafike nego preko stop-animacije (engl. *stop-motion*) gdje su se objekti, koji su bili napravljeni od gline, malo po malo ručno pomicali te se zatim snimao svaki pokreti kako bi se nizom tih snimaka stvorila sekvenca i s tim iluzija pokreta.

Nakon toga se krenulo s uvođenjem 3D računalne grafike i digitalizacijom prethodnih tehnika animiranja. Zbog ogromnog porasta popularnosti industrije zabave, specifično kod industrije filmova i video igara, porasla je potražnja za 3D animacijom. Kako bi se zadovoljila ta potražnja, stvorene su razne tehnike animiranja koje bi ubrzale i olakšale proces animiranja. Zbog tog razloga su se stvorile tradicionalna *keyframe* tehnika animiranja i tehnike snimanja pokreta (engl. *motion capture*). Iako je tehnika snimanja pokreta relativno nova i naprednija tehnika za animiranje realnih pokreta od tradicionalne tehnike, znanje o animiranju tradicionalnom tehnikom je i dalje vrlo tražena tehnika u industriji zabave.

U ovom diplomskom radu će se napraviti usporedba na temu tradicionalne tehnike animiranja i tehnike snimanja pokreta kako bi se utvrdilo koja tehnika animiranja je preferirana za izradu animacije u industriji zabave.

Ovaj diplomski rad se sastoji od dva glavna dijela: teorijski i istraživački dio rada.

U teorijskom dijelu rada će biti objašnjeni osnovni koraci potrebni prije samog animiranja kao što su: odabir programa, modeliranje karaktera, izrada kostura itd. Nakon toga će se objasniti i opisati glavni pojmovi vezani za animaciju i ovo istraživanje: 12 principa animacije, koje sve tehnike animiranja postoje, kako one funkcioniraju i slično. Prije istraživanja će se prodiskutirati koji problemi i teze nastaju temeljem prijašnjih objašnjenih pojmova, problemi i teze poput: kako se tradicionalni način animiranja uspoređuje sa snimanjem pokreta, koje su prednosti i nedostaci tih tehnika animiranja što će poslužiti kao glavne smjernice tijekom istraživanja.

Istraživanje se sastoji od nekoliko znanstvenih radova čija se glavna problematika podudara s problemima i tezama ovog diplomskog rada te koji su njihovi zaključci bazirani na njihovom istraživanju i analizom prikupljenih podataka s obzirom na probleme.

## 2. Potrebni procesi prije animiranja

U ovom dijelu rada će biti objašnjeni postupci koji su potrebni za izradu animacije. Svaki od tih procesa je vrlo složen i zahtjeva dio znanja i iskustva. Ti procesi se sastoje od modeliranja, teksturiranja i izrada kostura. Svaka industrija koja koristi 3D animacijom mora proći kroz svaki od tih procesa, jer svaki od njih je nužan.

### 2.1. Odabir programa

Postoji par stvari koje treba uzeti u obzir prilikom odabira programa. Na tržištu možemo naći programe koji se plaćaju, ali postoje i besplatne alternative. Neki od njih se malo lakše svladaju dok drugi uz potrebno predznanje imaju prednost nad ostalima. Neovisno o našem izbori program koji će se koristiti predstavlja izazov jer svaki program zahtjeva dosta vremena za prilagodbu i savladavanje. Izbor programa je poprilično velik, postoji puno različitih vrsta programa koji su sposobni izvršavati zahtjevne zadatke. Međutim, ako se jedan od njih savlada i dubinski razumije prelazak na druge programe nije toliko težak. Svi programi koriste iste osnovne principe i imaju sličan izbor opcija.

Neki od poznatijih programa za 3D animiranje su:

- Blender
- Autodesk Maya
- 3Ds Max
- Cinema 4D
- Houdini.

#### 2.1.1. Blender

Blender je jedna od besplatnih alternativni programa za animaciju. Sam program je proglašen kao višepatformski pa je tako dostupan na Linux, Windows i Macintosh računalima.

Sučelje Blendera je također višepatformno i poznato je pod nazivom OpenGL.

Blender je prepun korisnih alata, ali neki će biti važniji za početnike od drugih. Za mnoge koji bi pokušali koristiti Blender, najpopularniji alati su modeliranje, teksturiranje, digitalno kiparstvo i animiranje. Kao projekt koji vodi zajednica prema GNU Općoj javnoj licenci (GPL), javnost je ovlaštena unositi male i velike promjene u bazu koda, što dovodi do novih značajki, odgovarajućih korekcija programskih pogrešaka i bolje upotrebljivosti. Međutim, budući da ga napredni korisnici neprestano usavršavaju, to može predstavljati pomalo strmiju krivulju učenja za novog korisnika.

Blender se sviđa širokom rasponu korisnika, iako se čini da najbolje odgovara onima koji već imaju razumijevanja za 3D modeliranje. Uglavnom ga hobisti koriste za kreativno oblikovanje, umjetnička djela i izradu objekata za 3D printanje. Blender je često program izbora za uređivanje ili prilagođavanje već postojećih 3D modela.

Blender se također obično koristi za izradu prototipova, ali možda nije toliko učinkovit za inženjerske potrebe kao neki drugi programi. Za vrhunske vizualne grafike, poput filma, Blender obično nije najbolji izbor, iako se pojavljuje sve veći broj animiranih značajki koje pokazuju da raste kao popularni alat za animaciju. [23]

### **2.1.2. Autodesk Maya**

Autodesk Maya je 3D program za stvaranje i animaciju trodimenzionalnih likova, objekata i okruženja. Program ima širok raspon alata za rad kako bi stvorio realističnu 3D scenu i animirao je unutar samog programa. Zbog ove svestranosti i jednostavnosti korištenja programa, on se široko koristi i smatra se kao standard u industriji igara i filma. Autodesk Maya je višeplatformni program pa je tako dostupan na Linux, Windows i Macintosh računalima. Složenost programa je nešto veća i velik broj sadržaja odražava se u samoj cijeni programa. Kao takav, ne preporučuje se kao najbolji izbor za male timove i osobne potrebe već je namijenjen korištenju u obrazovnim ustanovama i korporacijama. [24]

### **2.1.3. 3ds Max**

3ds Max jedan je od najpopularnijih programa u industriji računalne grafike i poznat je po robusnom setu alata za 3D umjetnike. 3ds Max često se koristi za modeliranje likova i animaciju, kao i za iscrtavanje foto realističnih slika zgrada i drugih objekata. Što se tiče modeliranja, 3ds Max nema para u brzini i jednostavnosti. Kao jedan od najčešće korištenih 3D paketa u svijetu, 3ds Max sastavni je dio mnogih profesionalnih studija i čini značajan dio njihove produkcije za igre i filmove. 3ds Max koristi modeliranje poligona što je uobičajena tehnika u dizajnu igara. S poligonalnim modeliranjem postignut je visok stupanj kontrole nad pojedinim poligonima što uzrokuje veći raspon detalja i preciznost u njihovoj izradi. 3ds Max koriste razne profesionalni animatoru u raznim filmovima, indie filmovima ili u malim komercijalnim pokretima. Animacija se radi pomoću tradicionalne *keyframe* tehnologije, što olakšava stvaranje složenih i organskih pokreta. Iako Autodesk Maya ima više opcija u većini dijelova, 3ds Max je jednostavniji za korištenje i zbog toga se na njemu često uče početnici 3D računalne grafike. [25]

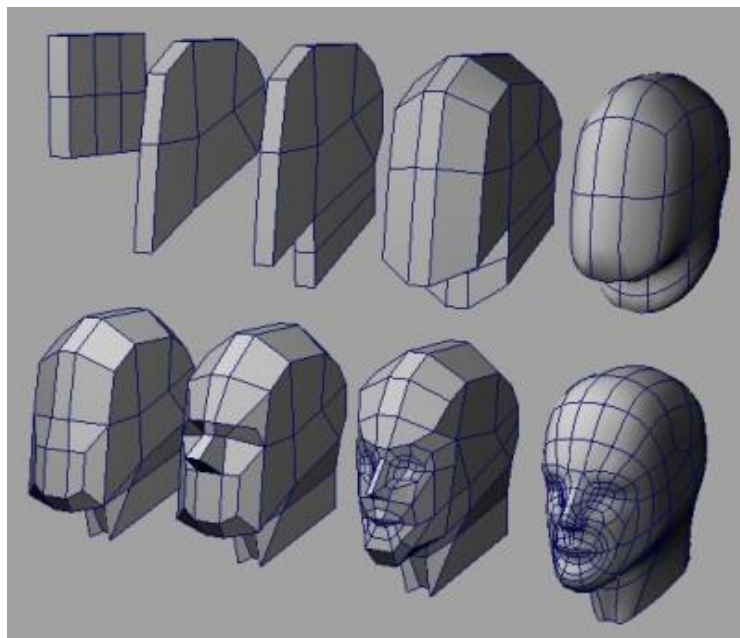
## 2.1.4. Cinema 4D

Cinema 4D je program za 3D animaciju idealan za animatore svih razina vještina, od početnika do profesionalaca. Program je dostupan na Windows i Mac računalima. Osim animacije, softver možete koristiti za modeliranje, osvjetljenje, teksturiranje, vizualne efekte i drugo. Odlikuje ga intuitivno sučelje, kao i prilagodljiv izgled koji odgovara vašim potrebama i željama. Cinema 4D zahtjeva plaćenu licencu, ali je mnogo povoljniji od prethodno navedenog programa Autodesk Maya. Samim time se preporučuje za izbor programa u samostalne edukacijske svrhe. [26]

## 2.2. Modeliranje

Nakon što se odabrao program pomoću kojeg će se cijeli proces animiranja realizirati, potrebno je stvoriti 3D oblike koje bi animirali, stoga je modeliranje jedan od prvih i najvažnijih koraka u 3D animaciji. Modeliranje je tehnika u računalnoj grafici koja služi za izradu digitalnog prikaza bilo kojeg trodimenzionalnog objekta ili plohe pomoću raznih softvera. Iako postoje razne tehnike za kreiranje 3D modela, te tehnike možemo podijeliti na *box modeling*, poligonsko modeliranje, NURBS (engl. *non-uniform rational basis spline*) i digitalno oblikovanje. [17][20]

Kod *box* modeliranja se trodimenzionalni objekti stvaraju manualno ili automatski, te se zatim manipulira izgledom tog objekta od njegovog početnog stanja (npr. sfera, kocka, valjak) pomoću raznih manipulatora dok se ne postigne željeni izgled 3D modela. [18]



Slika 1 Prikaz *box* modeliranja [18]

Poligonsko modeliranje se sastoji od više poligona koji svaki uz svoj rub sadrži više vrhova te se pomicanjem i spajanjem tih vrhova stvara model. Što je veći broj poligona, to postiže veću



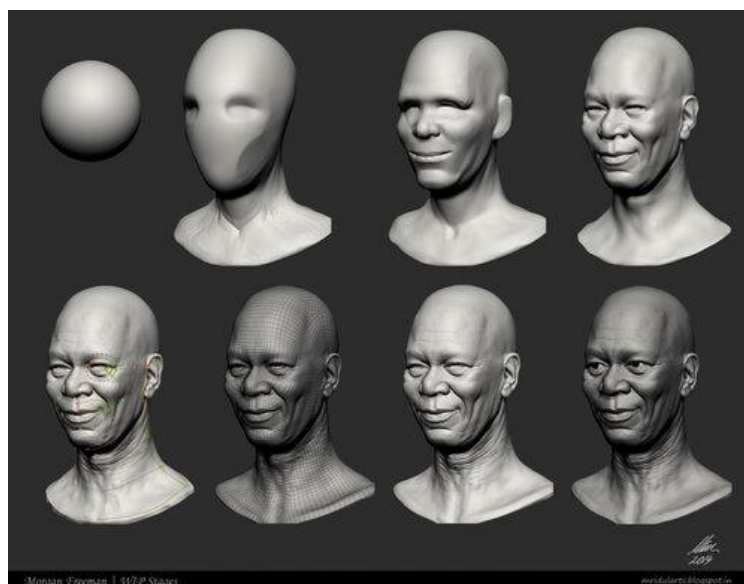
razinu detalja u modelu. Stoga modele možemo podijeliti na visoke (engl. *high poly*) i niske (engl. *low-poly*) poli modele. Iako veći broj poligona utječe na detalj i kvalitetu modela, isto utječe i na teži proces učitavanja (renderiranja) u programu ili igrama. Zbog tog razloga se ovaj način modeliranja najčešće koristi u modeliranju objekata poput kuća, vozila, namještaja i sličnih objekata koji zahtijevaju geometrijsku preciznost. [19]



*Slika 2 Razlika između visokih i niskih broja poligona[19]*

NURBS (engl. *non-uniform rational basis spline*) način modeliranja se temelji na modelu koji koristi krivulje i točke za manipulaciju 3D modela. Tu krivulju program automatski iscrtava između kontrolnih krivulja, koji mogu biti pomaknuti kako bi promijenili oblik krivulje, što će promijeniti oblik modela. Modeli izrađeni NURBS tehnikom su zaobljenih i glatkih oblika, zbog čega se najviše koriste za modeliranje automobila. [20]

Digitalno kiparstvo je noviji način modeliranja koji koristi veliki broj poligona za stvaranje površine koja se može rastegnuti i povući poput gline. Uz taj način modeliranja se mogu postići detalji na modelu koji izgledaju realnije od ostalih tehnika modeliranja. Upravo zbog toga se digitalno kiparstvo najčešće koristi kod organskih modela koji zahtijevaju puno više krivulja i detalja. [19]

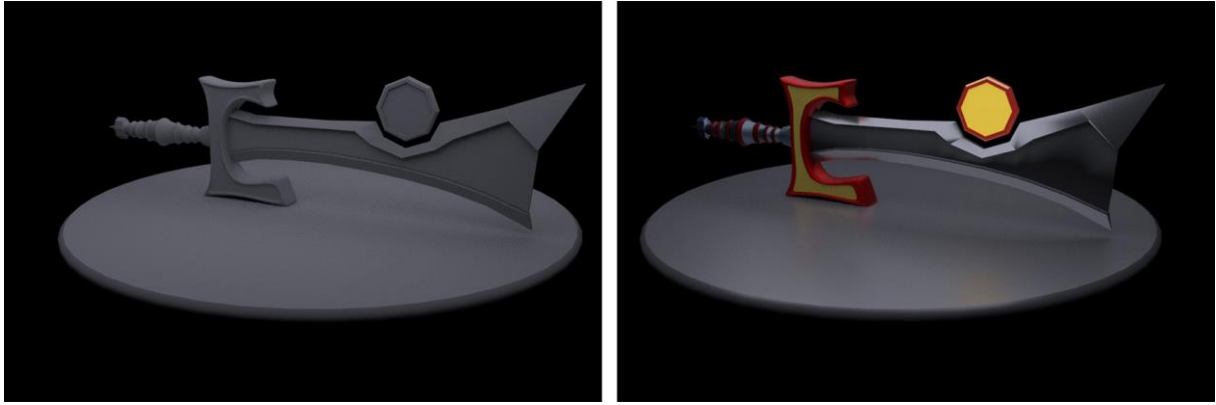


Slika 3 Modeliranje pomoću digitalnog kiparstva [19]

### 2.3. Teksturiranje modela

Drugi korak u produkciji za 3D animaciju su teksture (engl. *texture*) objekata. Sve površine imaju prirodnu teksturu u stvarnom svijetu, osim u svijetu računalne grafike gdje modeli najčešće dolaze u zadanom sivom obliku. Zbog tog razloga, uvođenje tekstura u računalnoj grafici ima značajnu ulogu u dobivanju vizualnih detalja koji su ključni za realistično prikazivanje. Primjer vizualnih detalja su dodavanje boje i površinskih svojstava. Površinski detalji su previše kompleksni da bi se mogli dobiti izravnim površinskim modeliranjem, detalji poput: hrapavost, ogrebotine, izbočenja itd., kao i svojstva poput odsjaja, transparentnosti, sjene itd. Znači glavni dio kod teksturiranje modela je napraviti da površina modela izgleda kao u konceptualnoj umjetnosti ili odgovara sličnosti u stvarnom svijetu.

Kako bi se ti rezultati postigli, postoje razni softveri i tehnike pomoću kojih se rade teksture. Programi korišteni za izradu tekstura su Adobe Photoshop, Illustrator, ZBrush, Substance itd. Postoje razne tehnike za dodavanje tekstura na objekt, no najpoznatija tehnika za dodavanje tekstura je preslikavanje 2D slika na površinu (poligone) modela. Ta tehnika i dalje ostaje jedna od najkorištenijih tehnika za izradu tekstura, no svaka tehnika i način teksturiranja daje drugačiji rezultat na izgled površine modela.

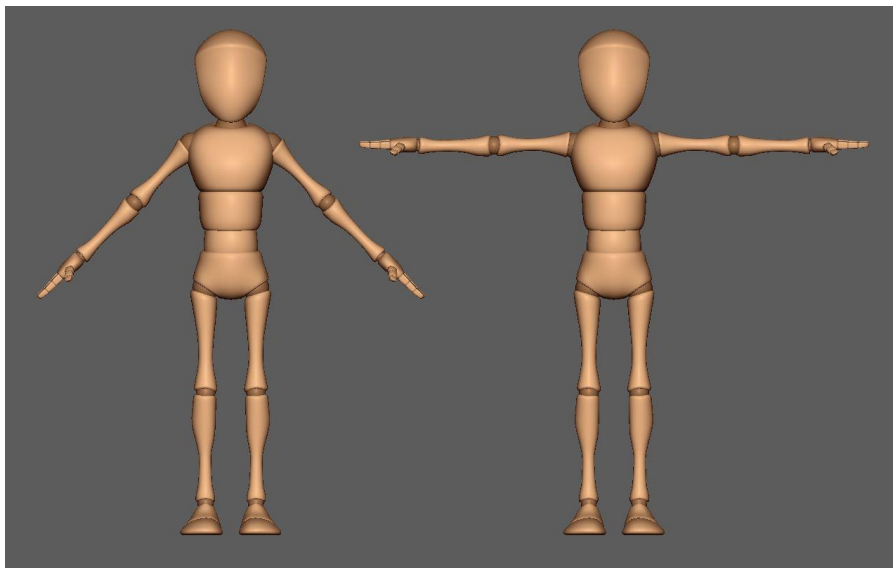


*Slika 4 Primjer slike bez teksture (slika lijevo) i s teksturom (slika desno)*

## **2.4. Izrada kostura za animaciju (engl. *Rigging*)**

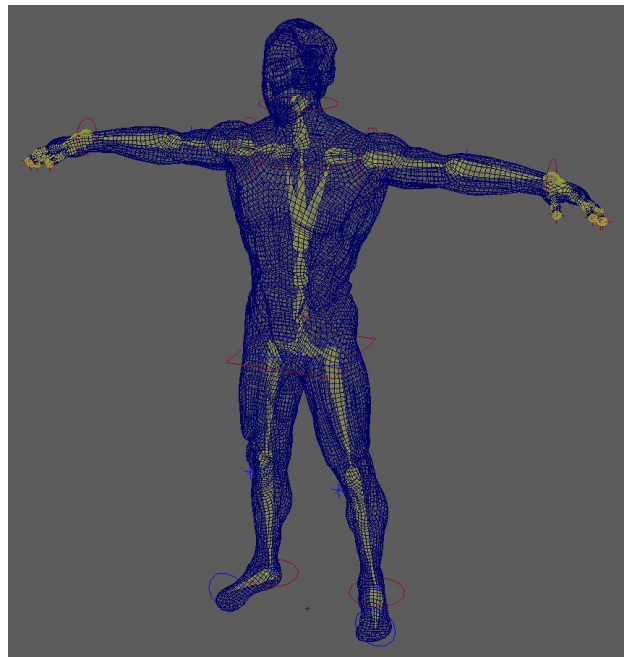
Svi izrađeni modeli koji bi bili animirani trebaju neku vrstu kontrola pomoću kojih bi se mogli kontrolirati i micati kako bi se od njih mogla napraviti animacija. Taj proces izrade kontrola se naziva: izrada kostura ili *rigging*. Izrada kostura ili *rigging* je proces izrade prilagođenih manipulatora i kontrola za upravljanje modela u animaciji. Iako proces teksturiranja objekata nije nužan nakon modeliranja i za animaciju, isto se ne može reći za izradu kostura jer je to nužan korak prije animiranja. [16]

Nakon što se model napravio, potrebno ga je postaviti u neutralnu pozu. Kod modela čovjeka i modela koji imaju slične karakteristike kao čovjekov oblik, njih se postavlja u A i T poze. A i T poza se odnosi na položaj ruka modela. A poza se obično odnosi na položaj ruke pod 45 stupnjeva s obzirom na tijelo, dok se kod T poze ruke postavljaju pod 90 stupnjeva s obzirom na tijelo.



*Slika 5 Primjer modela u A (lijevi model) i T (desni model) pozi*

Kada je model postavljen u neutralnu pozu, tada se kreće u proces izrade kostura. Postoje razne tehnike i alati kako bi se izradio kostur modela, jedna od najkorištenijih tehnika je postavljanje kostura koji se sastoji od zglobova i kostiju u sam model karaktera, slično kao stvarnim kostima unutar čovjekovog tijela. Zglobovi najčešće predstavljaju sferu koja služi kao poveznica između kostiju, nakon čega se stvaraju kontrole kako bi animatori mogli micati i rotirati zglobove. Sve te kosti i zglobovi pripadaju hijerarhiji sustava i kontrola koji rade u vezi roditelj-dijete (engl. *parent-child*). Zatim se koriste alati koji spajaju model s kosturom, koji se zove *skinning*. Pomoću *skinning*-a se omogućuje da se model zajedno kreće uz kostur lika pomoću zglobova koje smo odabrali za kretanje. [15]



Slika 6 Izgled kostura modela

## 2.5. Kinematika prema naprijed

Kinematika služi kako bismo mogli pomicati i manipulirati položaj kostura karaktera ili nekog objekta. Postoje dvije vrste kinematike pomoću kojih možemo pomicati položaj kostura. Jedan od njih je kinematika prema naprijed (engl. *forward kinematics*) ili skraćeno FK i obrnuta kinematika (engl. *inverse kinematics*) ili skraćeno IK.

Kinematika prema naprijed funkcionira prema hijerarhijskoj vezi roditelj-dijete (engl. *parent-child*) što znači da se cijeli hijerarhijski sustav kosti i zglobova koji čine vezu roditelj-dijete pomiče zajedno s roditeljem te pripadajuće veze. Primjer toga bi bio ako bi se rotirala ramena, zajedno s njim bi se rotirali laktovi, ruke i zglobovi. [12]

## **2.6. Obrnuta kinematika**

Kod obrnute kinematike, za razliku od kinematike prema naprijed, postavi se konačni položaj manipulatora koji se obično nalazi da kraju tog hijerarhijskog sustava te prema tome se automatski izračunaju položaji ostalih dijelova. Ako se pomakne položaj djeteta, svi roditelji te hijerarhije će se rotirati. [12]

Ovaj način pomicanja se najčešće koristi kada karakteri trebaju imati pričvršćene dijelove tijela za neki drugi objekt. Primjer toga bi bio kada karakter gura neki objekt. Kako bi mu ruke ostale na tom objektu bez da propadnu kroz taj objekt, tada se koristi obrnuta kinematika.

### 3. Animacija

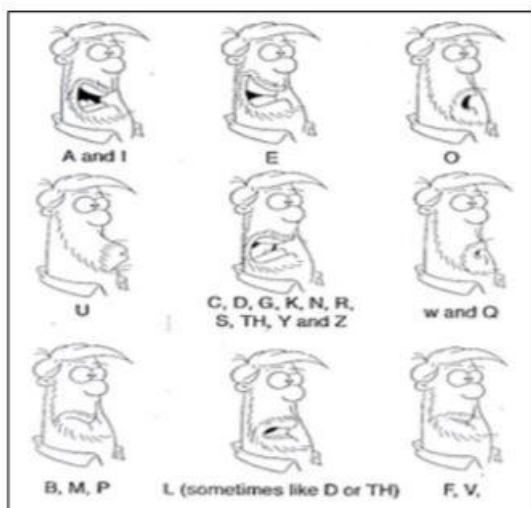
Nakon što su se napravili svi prijašnji procesi, slijedi proces izrade animacije. Animacija se sastoji od brzih promjena niza slika, što stvara optičku iluziju kretanja nekog objekta ili lika. [6] Animacija se može interpretirati kao „iluzija života“ [1], gdje animatori promatraju kretanje stvarnih životinja, prirode i objekata kako bi dobili inspiraciju za stvaranje animiranih pokreta. Takav način animiranja se zove: animiranje pomoću reference.

Kako se animacije u video igrama i filmovima sve više oslanjaju na realizam, tako animacije karaktera postaju realistične. Proučavanje pokreta je ključan dio animiranja kako bi se dobili realni rezultati animacije. Animatori često sami odglume i snime dio scene koji trebaju animirati te zatim koriste to kao referencu kako bi preko njih stvorili ključne poze ili da bolje razumiju samu fiziku tijela, kao što je balans, težinu i vrijeme. Također se može koristiti i za proučavanje kretanje raznih objekata, kao što su životinje, biljke, auti, loptice itd.

Jedan od najranijih pokušaja animacija proizlaze iz 19. stoljeća kada su se koristili razni uređaji i tehnike pomoću kojih se imitirala animacija. Najpoznatija i najstarija tehnika imitiranja animacije su slikovne knjižice u kojima se nalaze poredci slika u nizu koje bi stvorile neku animaciju, zatim bi osoba brzo listala te bi tako dobila dojam animacije.

Kod animiranja lica animatori najčešće pripremaju već gotove izraze lica koje onda primjenjuju na modele. Kod *lip syncing-a* je 3D animiranje slično kao i kod 2D animiranja: animiraju se oblici usta za određena slova ili grupa slova (tzv. fonemi). Osnovna podjela fonema je u 9 skupina:

- A, I
- O
- E
- U
- C, K, G, J R, S, TH, Y, Z
- D, L, N, T
- W, Q
- M, B, P
- F, V.



Slika 7 Osnovna podjela fonema [4]

### 3.1. 12 principa animacije

12 principa animacije su uveli Disneyevi animatori Ollie Johnston i Frank Thomas pod nazivom knjige: Iluzija života: Disney animacije (engl. *The Illusion of Life: Disney Animation*) 1981. godine. Od tog dana kada je objavljena knjiga do dan danas se ti principi i dalje koriste kao vodiči i pravila animiranja kako bi animatori stvorili što realnije i atraktivnije animacije.

Važno je shvatiti sve principe animacije i zašto su oni važni jer će se u poglavlju istraživanja ispitati može li tehnika snimanja pokreta (engl. *motion capture*) emitirati sve principe animacija.

#### 3.1.1. Spljošti – rastegni (Engl. *Squash and stretch*)

Prvi princip animacije spljošti i rastegni je jedan od osnovnih i najvažnijih principa animacije. Sve što se sastoji od živog mesa će davati osjećaj težine i rastegnutosti u svom tijeku radnje. Primjer toga je lice koje kada se smije, zijeva, priča i sl. daje promjenu oblika u obrazima, očima i usnama kako bi se vidjela fleksibilnost mišića i mesa. Jedino krute stvari po prirodi poput metala, namještaja, robota i sl. neće davati prikaz rastegnutosti. Jedno važno pravilo kod ovog principa animacije je da bez obzira koliko se neki objekt spljošti i rastegne, volumen tog objekta mora ostati isti. Primjer toga se može vidjeti na loptici koja pada na tlo s neke visine i vraća se u zrak. Kada bi se loptica spljoštila, a da se nije rastegnula, učinilo bi se da se loptica smanjila, dok kada bi se rastegnula bez da su joj se strane spljoštile, učinilo bi se da se loptica povećala. Stoga je jedan od prvih zadataka novih animatora da naprave animaciju odbijajuće loptice. [21][22]



*Slika 8 Princip pravila spljošti i rastegni [22]*

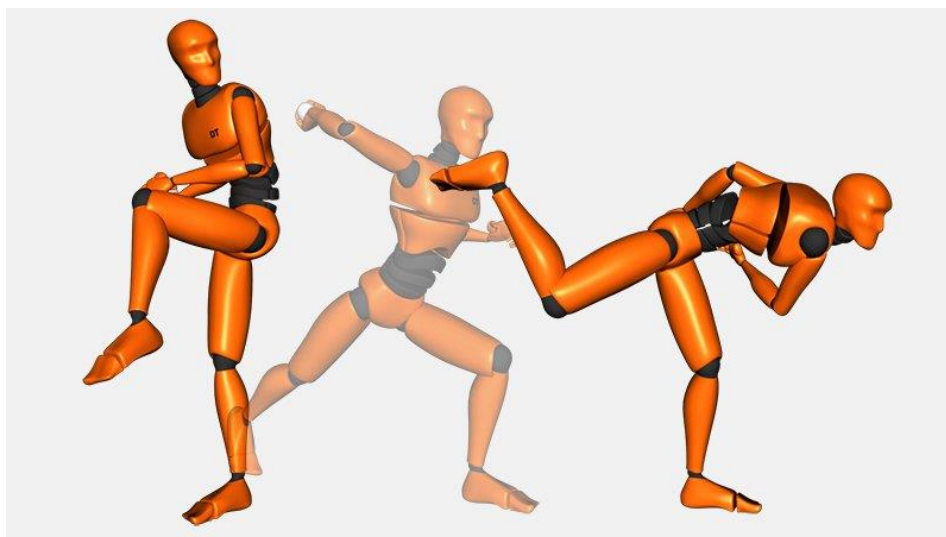
### **3.1.2. Iščekivanje (engl. *Anticipation*)**

Kako bi gledatelj razumio radnju neke scene, mora postojati planirani slijed radnji koji jasno vodi gledatelja od jedne animacijske radnje do sljedeće. Taj slijed radnji možemo podijeliti na tri dijela:

- priprema za radnju
- radnja
- kraj radnje.

Pomoću principa iščekivanja se gledatelja priprema za radnju i navodi ih se da očekuju radnju prije nego što se ona doista dogodila. Primjer toga je: prije nego što karakter zabaci lopticu, njegovo cijelo tijelo će se pomaknuti unazad kako bi dobilo dovoljno energije da baci lopticu unaprijed. [21][22]





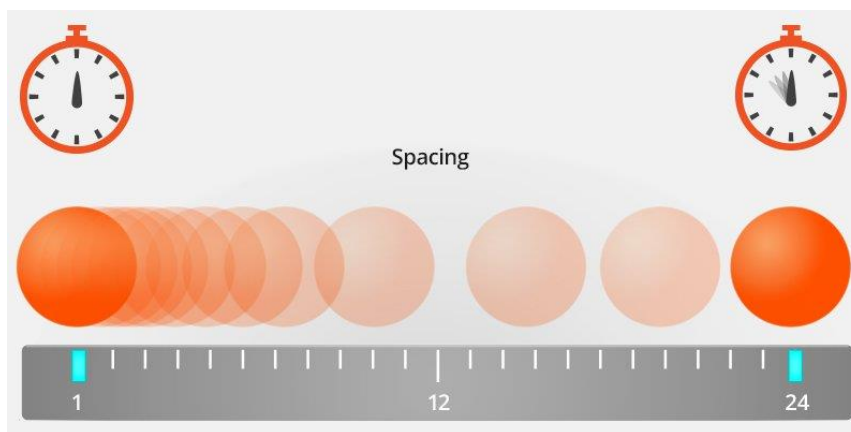
*Slika 9 Primjer principa iščekivanja[22]*

Iščekivanje se također koristi kako bi privukla pozornost gledatelja na dio ekrana gdje animator želi da se obrati pozornost. To je ključan dio kako bi se gledatelja spriječilo da ne propusti glavnu radnju. Pomoću iščekivanja se također može naglasiti težina u animaciji, tako da bi karakter uzeo veliki udah prije nego što dignu neki težak objekt.

### **3.1.3. Trajanje (engl. *Timing*)**

Princip trajanja se odnosi na broj sličica unutar jedne radnje koji određuju trajanje i brzinu neke radnje. Ovaj princip je jedan od najtežih principa za svladati kako bi karakterima i objektima dao iluziju stvarnih zakona fizike. Trajanje je ključno kako bi gledatelj razumio što se događa u radnji i da bi stvorio dojam o radnji. Ako radnja prebrzo završi za gledatelja, on neće dobiti dojam o njoj i neće ju razumjeti. [21]

Trajanje je također važno kako bi se dobio dojam o težini nekog predmeta, pa čak i kod emocija. Kada bi se uzela dva identična objekta, samo manipuliranjem trajanjem akcije bi mogli postići dojam težine. Teži objekti trebaju više vremena da se zaustave, dok lakši objekti trebaju puno manje vremena da se zaustave. [22]



*Slika 10 Primjer principa trajanja [22]*

### **3.1.4. Sceniranje (engl. *Staging*)**

Svrha ovog principa je postaviti dobar odnos elemenata unutar neke scene. Taj odnos elemenata se odnosi na položaj karaktera, pozadine i pozadinskih objekata i položaj kamere kako bi gledatelj razumio radnju u sceni i svrhu animacije. Sceniranje je također važno oko privlačenja pozornosti gledatelja kako bi njegov pogled bio usmjeren na dio scene u pravom trenutku. Tako se izbjegavaju nepotrebni detalji unutar scene i fokusira se gledatelja na glavni dio radnje. Isto tako je važno da se prikazuje samo jedna radnja po sceni, inače gledatelj neće znati gdje njegov pogled treba biti usmjeren i što je glavna radnja u sceni. [21][22]



*Slika 11 Primjer principa sceniranje [22]*

### 3.1.5. Prateća i preklapajuća radnja (engl. *Follow Through and Overlapping Action*)

Kako se kod principa iščekivanja gledatelja priprema za neku radnju, prateća i preklapajuća akcija su krajnji rezultat te radnje. Znači preklapajuća akcija je radnja koja je rezultat glavne radnje. Isti primjer od principa iščekivanja bi mogli u ovom principu primijeniti: nakon što karakter baci lopticu, njegova ruka će se i dalje nastaviti kretati u smjeru bačene loptice. Kada bi se ruka i tijelo karaktera odjednom zaustavili, to bi izgledalo neprirodno i loše u animaciji. [21]

Prateća i preklapajuća akcija isto znači da se različiti dijelovi tijela ne kreću u isto vrijeme. Savršen primjer je radnja repa neke životinje. Nakon što je životinja završila radnju kretanja, njezin rep će se i dalje nastaviti kretati u smjeru kojem se kretala životinja, te će se nakon nekog određenog vremena vratiti na početno stanje ili stanje mirovanja. [22]



Slika 12 Primjer principa prateće i preklapajuće akcije [22]

### 3.1.6. Usporenje na početku i usporenje na kraju (engl. *Slow In and Slow Out*)

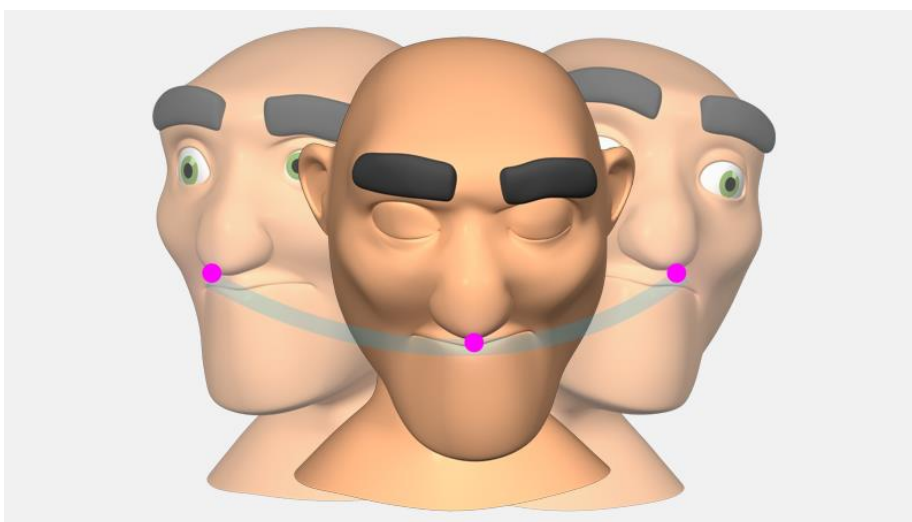
Usporenje na početku i usporenje na kraju se temelji na tome da prirodna brzina radnje ovisi o tome je li ona na početku, u sredini ili na kraju, jer svaki od tih dijelova radnje se ne odvija istom brzinom. Ovaj princip se postiže manipuliranjem *frame-ova* i samim razmakom između njih tako da su na dijelu animacije koji treba biti usporen koristili više *frame-ova* kako bi dobili osjećaj usporenost, dok za vrijeme događaja glavne radnje u animaciji koji dolazi do maksimalne brzine su koristili veći razmak između *frame-ova* kako bi ubrzali tu animaciju. [21]



*Slika 13 Primjer principa usporenje na početku i usporenje na kraju [22]*

### **3.1.7. Lukovi (engl. Arcs)**

Glavno pravilo ovog principa je da se svi prirodni pokreti kreću u obliku krivulja luka. Pošto bi pokreti živih bića koji bi se kretali pravocrtno izgledali neprirodno i robotski, ovaj princip se vrlo često koristi za bilo kakve prirodne pokrete. Animacije u obliku krivulja luka stvaraju realističan pokret i služe kako bi napravile fluidan prijelaz iz jedne ekstremne pozicije u drugu. [21]



*Slika 14 Primjer principa lukovi [22]*

Primjer principa lukova možemo vidjeti na slici 13 „primjer principa lukovi“ gdje, kada karakter prelazi iz jedne ekstremne pozicije u drugu, njegova glava će krenuti prema dolje kako bi stvorio pokret u obliku krivulje luka. [22]

### 3.1.8. Sekundarna radnja (engl. *Secondary Action*)

Sekundarna radnja je radnja koja proizlazi iz glavne radnje u animaciji. One služe kako bi održale interes scene, naglasile glavnu radnju i dodale realnost animacije. Kod ovog principa je važno da sekundarna radnja bude potpora glavne radnje animacije bez da privuče pozornost gledatelja od glavne radnje. Razgovor između dva karaktera i izraz njihovih lica bi bila glavna radnja, dok pokreti ostalih dijelova tijela, kao što su ruke i noge, bila bi sekundarna radnja kako bi naglasila stanje i situaciju njihovog razgovora [21]

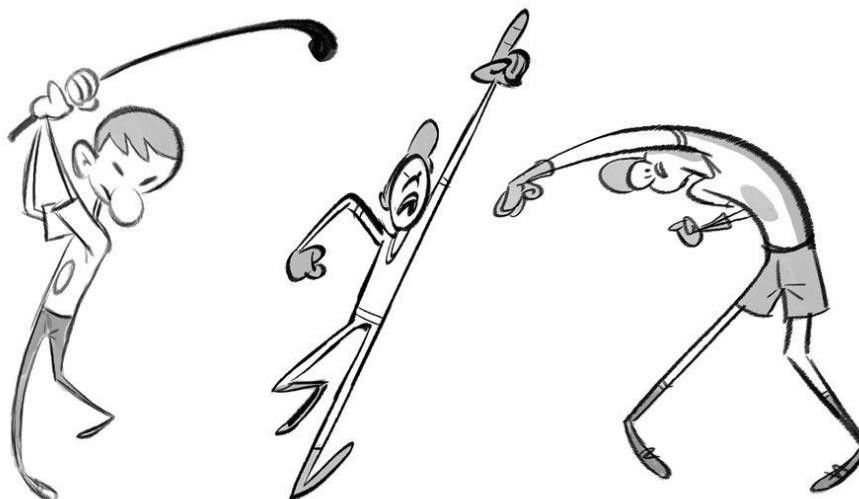


Slika 15 Primjer principa sekundarne radnje [22]

### 3.1.9. Pretjerivanje (engl. *Exaggeration*)

Princip pretjerivanja služi kako bi dodatno naglasili neku radnju. Iako realistične radnje u animaciji mogu izgledati statično i dosadno, to ne znači da se radnje mogu beskonačno pretjerivati kako bi se napravila zanimljiva animacija jer bi animacije izgledale previše nerealno gledatelju. Treba postojati ravnoteža u pretjerivanju kako bi gledatelju naglasili ono što želimo i kako bi privukli pozornost gledatelja na tu radnju. [21]

Pretjerivanje je jednostavno način na koji koristimo druge principe animacije: koju količinu zakrivljenosti lukova se koristi, količinu spljoštenosti i rastegnutost neke radnje, trajanje prateće i preklapajuće radnje i slično.



*Slika 16 Primjer principa pretjerivanja*

<https://www.pinterest.co.kr/pin/367536019573312033/>

### **3.1.10. Uvjerljivost (engl. *Appeal*)**

Uvjerljivost se odnosi na izgled karaktera kako bi izgledao zanimljivo i da bude privlačan gledatelju do kraja priče. Ako karakteri ne izgledaju zanimljivo, gledatelj se neće moći povezati s njima i izgubit će volju za praćenje pažnje tih karaktera. Uvjerljivost također treba odvojiti glavne karaktere neke priče od ostalih sporednih karaktera. To se obično čini tako da se na njih primijeni poseban izgled, neki detalj ili posebne animacije na tom karakteru. Skoro pa u svim igranim filmovima i video igrama postoje karakteri specifičnog izgleda, bilo da su ti karakteri dobri ili zli u priči. [21]

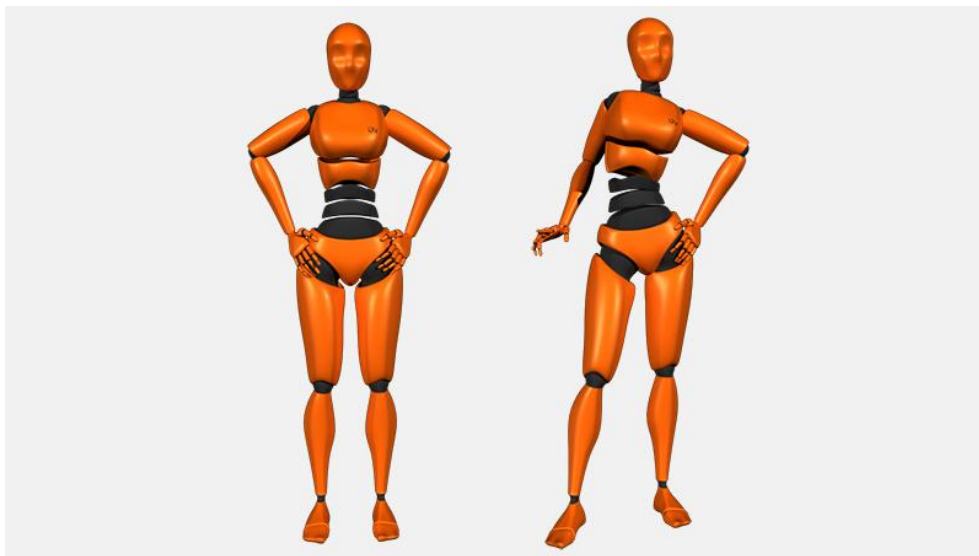


*Slika 17 Primjer principa uvjerljivosti*

<https://www.pinterest.com/pin/508273507932132251/>

### 3.1.11. Jasan crtež (engl. *Solid Drawing*)

Princip „jasan crtež“ se primarno odnosi na 2D animaciju koji je bio glavni princip za animiranje kada su se koristili crteži. Taj princip se odnosio na crtež lika uzimajući u obzir trodimenzionalni prostor kako bi animacija crteža imala ravnotežu, težinu i pravilnu formu u trećoj dimenziji. Isti princip se primjenjuje u 3D računalnoj grafici, tako da se razmišlja na koji način se treba postaviti karakter da održava ravnotežu i pravilnu težinu prema fizičkim karakteristikama stvarnog svijeta. Jasan crtež u 3D računalnoj grafici se može tumačiti kao razumijevanje mehanike tijela.



Slika 18 Primjer principa jasnog crteža [22]

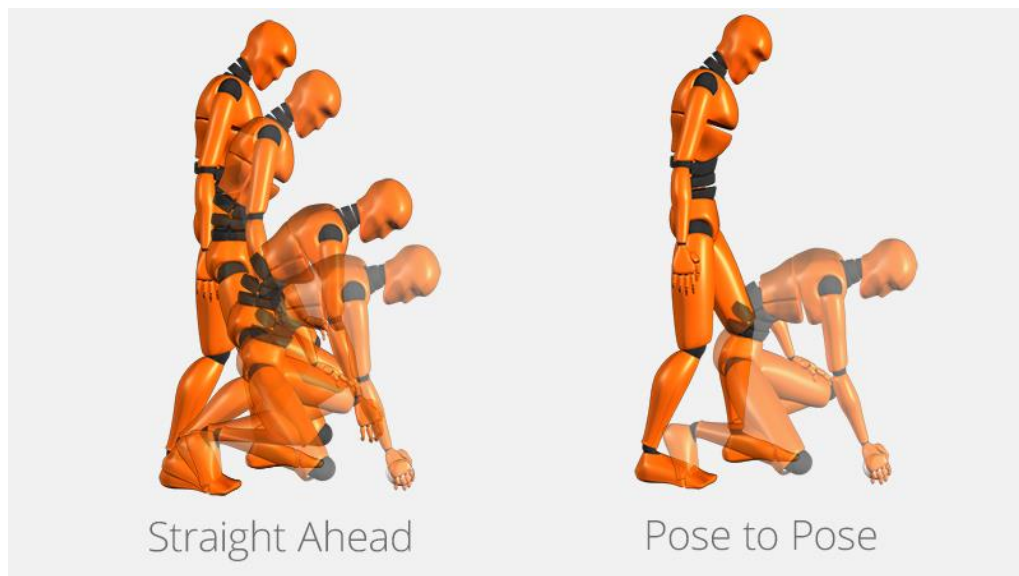
### 3.1.12. Sukcesivna animacija i od poze do poze (engl. *Straight Ahead and Pose to Pose*)

Sukcesivna animacija i od poze do poze se mogu interpretirati kao dva različita načina animiranja neke radnje. Sukcesivna animacija način animiranja znači da se svaki okvir animacije radi u kronološkom redu, od početka do kraja animacije. Taj način nudi spontanost koja može stvoriti fluidne animacije, no to može stvoriti komplikacije ako bi se dio animacije trebao promijeniti i teže je zadržati proporcije karaktera ili objekata.

Od poze do poze način animiranja se naprave glavne poze animacija koje opisuju cijelu radnju animacije te se naknadno popuni tranzicija između dvije glavne poze. Ovaj način animiranja je puno jednostavniji jer zahtijeva samo nekoliko poza kako bi se dobila ideja neke radnje. Također je jednostavnije kontrolirati točnu strukturu vremenskog trajanja radnje i proporcije objekata. [21]



U 3D računalnoj grafici se metoda sukcesivnog načina animiranja skoro pa ne koristi jer većina programa mogu automatski predvidjeti kako bi se napravila tranzicija između glavnih poza, što olakšava animatorima da ne trebaju raditi animaciju za svaki *keyframe* od početka do kraja, nego jednostavno trebaju prepraviti automatski generiranu tranziciju između tih glavnih poza. Također animacije u video igrama zahtijevaju da se one održavaju u petlji (engl. *loop*) u kojoj se početna pozicija animacije mora podudarati sa završnom pozicijom animacije, što je jako teško postići korištenjem sukcesivnog načina animiranja. [11]



*Slika 19 Primjer principa sukcesivne animacije i od poze do poze [22]*



## 4. Tehnike animiranja

U počecima, animiranje je bio dugotrajan posao koji je zahtijevao ne samo odlične vještine stvaranja animacije, nego i odlične vještine crtanja tih animacija. Kroz razvoj 3D animacije računalne grafike u ranim 1990.-tim godinama, dogodio se ogroman porast korištenja animacije u filmovima i video igrama. Kako se mogućnost za stvaranje animacije po prihvatljivoj cijeni i brzini stvaranja animacija sve više razvija u današnje doba, tako se i njezina primjena primjenjuje u sve više područja:

- vojnom području
- medicinskom području
- simulaciji leta
- arhitekturi
- zabavnoj industriji [1]

Kako korištenost i popularnost animacije raste u raznim područjima, tako nastaje potreba za raznim tehnikama animiranja. Ovisno o tehnici animiranja koju izaberemo i za koju svrhu, proces animiranja može olakšati ili usporiti cijeli proces animiranja zbog različitih komplikacija.

Postoje dvije najpoznatije tehnike animiranja u 3D računalnoj grafici: tradicionalna tehnika i tehnika snimanja pokreta. U ovom dijelu rada će se proučiti i istražiti koje sve ostale tehnike animiranja postoje, koje su pozitivne i negativne strane tih tehnika kako bi pronašli odgovor na pitanje: koja tehnika animiranja je preferirana za izradu animacije.

### 4.1. Tradicionalna tehnika animiranja

Tradicionalna tehnika animiranja je prvo počela u 2D obliku gdje su animatori ručno crtali svaku sličicu (engl. *frame*) na papiru kako bi stvorili niz pojedinačnih crteža koji bi na kraju stvorili iluziju kretanja zvanom animacija. [3] Problem kod ovog načina rada je što zahtijeva puno vremena zbog samog crtanja svake sličice i zbog potrebe da se napravi minimalno 24 sličica za jednu sekundu animacije, što znači da animatori nisu mogli imati samo odlične vještine za izradu kvalitetne animacije, već su morali imati i odlične vještine u crtanju tih animacija.

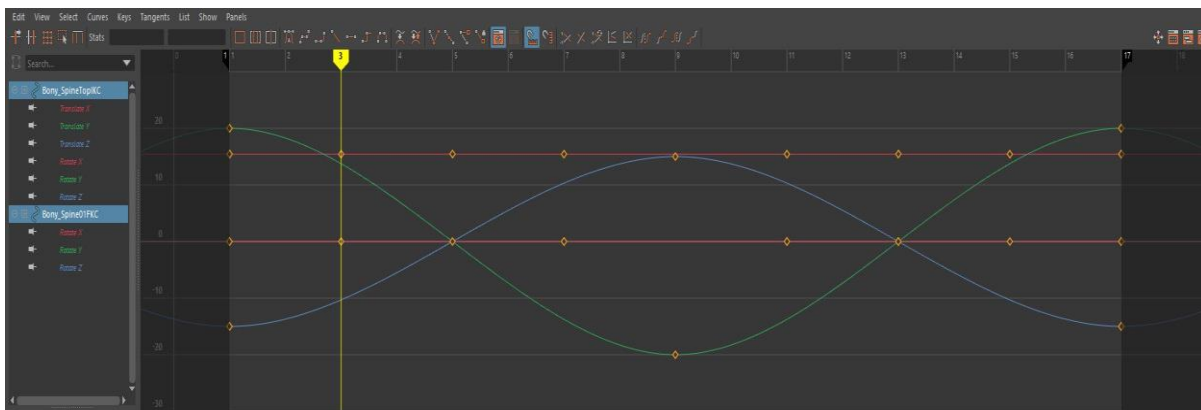
Pojavom računala i 3D računalne grafike, animatori su počeli koristiti računala kao alat za izradu animacije. Pomoću računala, animatori više nisu trebali imati odlične vještine crtanja, već su se mogli posvetiti samoj izradi animacije. To znači da vrijeme koje bi potrošili crtajući animacije, mogli su uštedjeti i utrošiti u izradu animacije, što je dovelo do još realističnih i kreativnijih animacija.

Iako animatori više ne trebaju crtati 2D animacije, isti princip animiranja se svodi na računalo. Umjesto crtanja svake sličice za svaku animaciju, navode se specifični ključni kadrovi (engl. *keyframe*) za 3D karaktera kako bi se stvorila animacija unutar računala. Keyframe tehnika animiranja je 3D oblik tradicionalne 2D tehnike animiranja.

*Keyframe* način animiranja se radi pomoću kontroliranja kostura 3D karaktera kod kojeg se svaka radnja ručno upravlja. Metoda koja se koristi za upravljanje tog karaktera je od glavnih 12 principa animiranja: od poze do poze. Ovom metodom se karaktera postavlja u ključne tj. glavne poze na vremenskoj liniji, zatim se postavi *keyframe* na tu poziciju, nakon čega se radi druga ključna poza na novom mjestu unutar vremenske linije te se opet postavlja *keyframe* na tu poziciju i tako sve do kraja dok se ne stvori cijela animacija u blokovima. Nakon što su se postavile sve ključne poze, potrebno je urediti automatsko generirane poze od strane računala između tih ključnih poza. Animatori ručno pozicioniraju i rotiraju zglobove likova na određeno vrijeme te se cijela animacija dobiva interpolacijom između dva *frame*-a. [3]

To je najpopularniji način animiranja zato što animator ne treba ručno raditi svaki *frame* animacije, kako bi se potrošilo što manje vremena animirajući nešto u slučaju ako bi se ideja same animacije izmijenila. [21]

Uređivanjem i manipuliranjem ključnih poza i poza između njih se najčešće radi pomoću alata unutar programa koji se zove uređivač grafikona (engl. *graph editor* ili *curve editor*). Ovim alatom se manipuliraju krivulje u određenom vremenskom periodu u odnosu na položaj.



Slika 20 Prikaz uređivač grafikona (engl. *graph editor*)

#### 4.1.1. Prednosti i nedostaci

Tradicionalna tehnika animiranja nam daje mnogo mogućnost i izbora oko načina animiranja i rezultata. Visoki broj kontrola na kosturu objekta znači da se svakom tom dijelu kostura i zglobova mogu posebno manipulirati položaji i rotacije. [8] Zbog velikog broja mogućnosti

manipuliranja i kontrola, *keyframe* način animiranja omogućuje animiranje realnih pokreta, ali i pokreta pretjerivanja što je jako česti oblik kod crtića i crtanih filmova. [3]

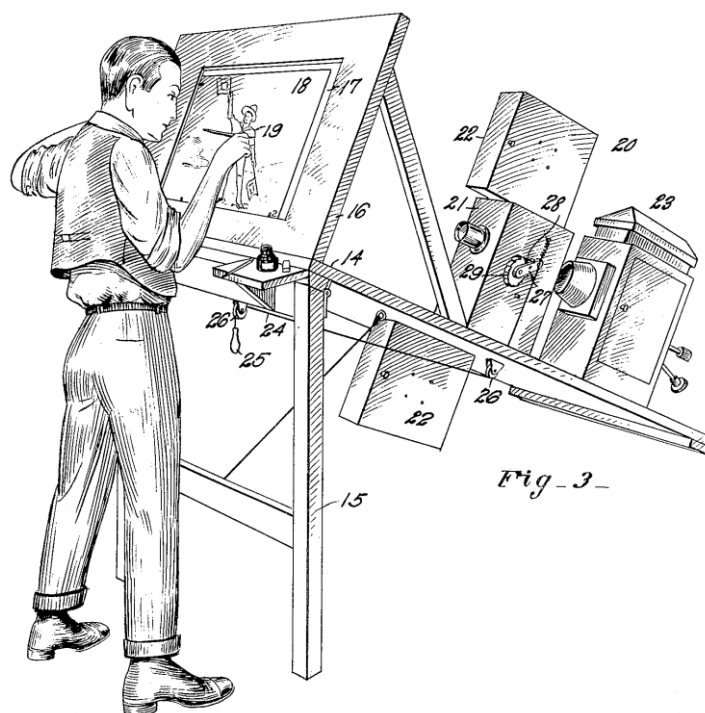
Negativna strana ove tehnike animiranja je: iako se više ne treba ručno crtati svaki *frame* animacije, to je i dalje dugotrajan proces jer se sve animacije trebaju ručno podesiti unutar programa, pogotovo za animacije realnih pokreta jer zahtijevaju veliku preciznost same fizike. Ponavljanje istih ili sličnih animacija neke radnje je također dugotrajan proces jer animatori opet trebaju ručno podešavati *keyframe*-ove do željenog rezultata. [8]

## **4.2. Hibridna tehnika animiranja**

Hibridna tehnika animiranja koristi algoritme koji uz opis krajnjeg cilja animacije, algoritam sam generira pokret. Iako su takve metode korisne početnicima zato što im omogućuje da na jednostavan način opišu pokret animacije koji žele dobiti, takva metoda nije dovoljno dobra kod kompliciranijih ili suptilnijih pokreta. [7]

## **4.3. Snimanje pokreta (engl. *Motion capture*)**

Prvi koraci pokušaja animiranja likova tako da što više podsjećaju na ljudske pokrete dogodili su se već 1915. godine, kada je Max Fleischer (animator crtanih filmova) osmislio tehniku zvanu rotoskopija - kopiranje ljudskih pokreta u svrhe animiranja pomoću prozirne folije i precrtavanja ljudskih poza na foliju za svaki kadar. Ideja je bila znatno ubrzati animiranje i masovno producirati crtane filmove. Cijeli postupak nije znatno dobio na popularnosti jer se smatralo da će zbog toga animatori ostati bez posla i cijeli proces je bio mukotrpan. [4]



Slika 21 Tehnika rotoskopije, izvor: <https://en.wikipedia.org/wiki/Rotoscoping>

Razvojem 3D računalne grafike i popularnosti animacije u raznim industrijama, bilo je samo pitanje vremena kada će snimljeni pokreti moći biti preneseni u digitalnom obliku. Prvi digitalni oblik *motion capture*-a tehnologije se pojavio krajem 1970-tih i početkom 80-tih godina se koristio u svrhu istraživanja od strane vojne i zdravstvene industrije. Kroz nagli razvoj računalne tehnologije i same razvoj *motion capture* tehnologije, sredinom 80-tih tehnika snimanja pokreta se počela koristiti i u industriji zabave. [1]

*Motion capture* tehnika animiranja je tehnika kojom se snima pokret prave osobe kako bi se taj pokret mogao prenijeti na 3D digitalnog lika unutar računalne grafike. Snimanje pokreta se može podijeliti po različitim dijelovima tijela: pokret tijela, snimanje lica i pokreti prstiju. Razlog tih podjela je što su pokreti prstiju i pokreti izraza lica vrlo kompleksni i zahtijevaju posebne sustave hvatanja pokreta kako bi se uhvatili i snimili suptilni pokreti.

*Motion capture* olakšava cijeli proces animiranja lica pomoću *face tracking*-a. Proces je isti kao i kod animiranja tijela likova: koriste se reflektirajući markeri koji su postavljeni na lice glumca od kojih se odbija svjetlost nazad u CCD kamere. Budući da je kod klasičnog animiranja potrebno puno vremena za ponovno animirati i renderirati pokrete lica, prednost *motion capture*-a je da se to vrijeme znatno skрати jer glumac samo treba ponoviti scenu. [4]



Slika 22 Prikaz markera za snimanje pokreta lica, izvor: <http://kinectic.net/motion-capture-face/>

Snimanje pokreta počinje tako da se prije snimanja odrede pokreti i dijalog koji će izvoditi glumac kojeg je kompanija angažirala.

U današnje doba postoji nekoliko dostupnih tehnologija pomoću kojih možemo postići *motion capture* tehniku animiranja. Iako postoje razni sustavi za snimanje pokreta, postoje tri najpoznatija sustava. Njih možemo podijeliti na:

- magnetske sustave
- mehaničke sustave
- optičke sustave.

#### 4.3.1. Magnetski sustavi

Elektromagnetski *motion capture* koristi nekoliko senzora, transmitter koji uspostavlja magnetsko polje unutar prostora i kontrolnu jedinicu. Zatim koriste senzore koji mogu odrediti njihov položaj i orijentaciju unutar prostora na temelju tih polja.

Senzori su postavljeni na zglobove glumca i spojeni su na kontrolnu jedinicu koja se također nalazi na glumcu. Transmitter generira elektromagnetsko polje koje, kako senzori prolaze kroz to polje, prate signale i računa njihovu lokaciju u prostoru.

Problemi kod magnetske metode snimanja pokreta su bili da su na ranijim verzijama senzori zahtijevali kablove unutar prostora, što je opterećivalo da izvođači odrade pokret bez smetnje. Također je bilo značajnih smetnji oko senzora koji su kao rezultat stvarali greške pri snimanju, polje unutar prostora za snimanje je bilo ograničeno i magnetska polja su bila sklona ometanju s

metalnim predmetima unutar prostora. Ova tehnologija je bila neprecizna i frekvencija mjerenja signala je bila premala za korištenje u animacijske svrhe. [4][7]

Moderni sustavi za magnetsko snimanje pokreta su manje skloni greškama pri snimanju, umjesto kablova unutar prostora koriste bežične radio transmitere koji se stavljaju na tijelo izvođača, što omogućuju bolje performanse snimanja pokreta i domet snimanja. [7]

Ovaj način je jedan od jeftinijih načina snimanja pokreta zbog potrebne opreme i malog procesiranja podataka u kasnijem procesu animiranja. [10]



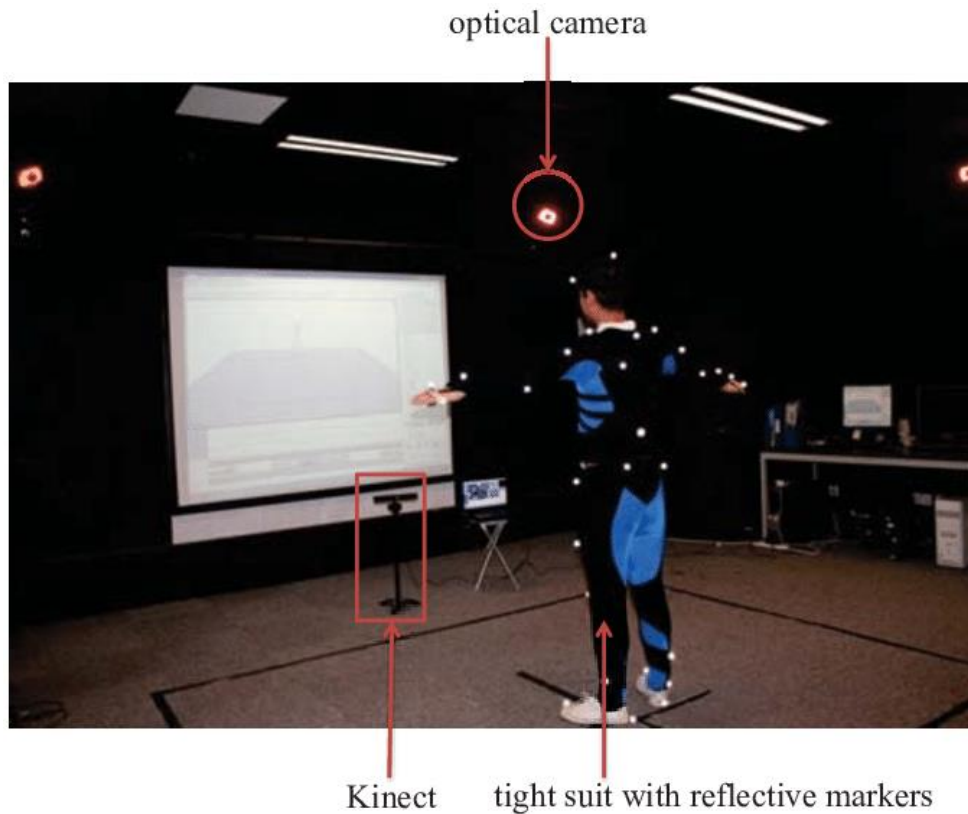
*Slika 23 Oprema magnetskog sustava za hvatanje pokreta, izvor:*

*[https://www.researchgate.net/figure/3-A-performer-wearing-a-suit-for-magnetic-motion-capture-AMM-2010\\_fig4\\_255990108](https://www.researchgate.net/figure/3-A-performer-wearing-a-suit-for-magnetic-motion-capture-AMM-2010_fig4_255990108)*

### **4.3.2. Optički sustavi**

Optički *motion capture* je najčešći oblik *motion capture*-a sustava koji se koristi u današnje vrijeme. Kod optičkog sustava za snimanje pokreta koriste se posebni vizualni markeri koji se nalaze na odijelu izvođača, uz posebne kamere koje su predviđene da lociraju 3D lokaciju markera. Oni se dijele na aktivne i pasivne. Kod aktivnih su markeri na tijelu glumca oni koji emitiraju svjetlost, dok kod pasivnih, markeri reflektiraju svjetlost prema kamerama koje prate putanju. [4] Optički sustavi zahtijevaju više kamera koje okružuju scenu kako bi vidjeli markere te od njihovih položaja napravili slike pokreta. [7]

Nedostatak ovakvih sustava jest da kod manjih objekata nije lako dobiti točne podatke (kod primjerice dlanova) i postoje smetnje kod snimanja s više glumaca na jednom setu istovremeno budući da mogu zaklanjati reflektore. [9] Isto tako zbog potrebe velikog broja kamera je jedan od najskupljih sustava za snimanje pokreta, no zbog toga se postižu odlični rezultati i odlična kvaliteta snimanog pokreta.



Slika 24 Oprema optičkog sustava za snimanje pokreta, izvor:

[https://www.researchgate.net/figure/Human-motion-capture-with-Kinect-and-an-optical-motion-capture-system\\_fig2\\_272170781](https://www.researchgate.net/figure/Human-motion-capture-with-Kinect-and-an-optical-motion-capture-system_fig2_272170781)

### 4.3.3. Mehanički sustavi

Elektromehanički *motion capture* koristi senzore koji mjere rotacije zglobova. Budući da ne koristi svjetlo ili magnete, ne postoji interferencija koja bi negativno utjecala na snimljene podatke. No, snimani podaci su relativni u odnosu na ostale senzore na tijelu, ali ne i na sobu unutar koje se snima. To dovodi do toga da nije moguće znati gdje se nalazi tlo što otežava snimanje pokreta u zraku, poput skokova. Budući da se koristi mehaničko odijelo sudaranje s drugim glumcem na setu bi dovelo odijelo do kvara.



Iako je to najstariji oblik *motion capture* sustava, na ovakav sustav ne utječu magneti i ostale smetnje što ih čine lakšim za korištenje i procesiranje podataka u kasnijim fazama snimanja. Također se mogu koristiti u vanjskim uvjetima. [4][9]



Slika 25 Oprema mehaničkog sustava za snimanje pokreta, izvor:  
<https://metamotion.com/gypsy/gypsy-motion-capture-system-workflow.htm>

#### 4.3.4. Prednosti i nedostaci tehnike snimanja pokreta

U ranim danima *motion capture*-a, uređivanje podataka pokreta je bio dugotrajan proces koji je trajao kao crtanje 2D animacija na papiru. Kako se tehnologija razvila da se više ne trebaju crtati animacije na papiru, tako se razvila i tehnologija *motion capture*-a gdje se ne treba provesti toliko puno vremena uređujući podatke.

Budući da se snimanje pokreta izvodi u stvarnom vremenu, ima nekoliko prednosti. Jedna od njih je da se animacija može koristiti u prijenosima uživo ili za interaktivne izložbe. Druga prednost *motion capture*-a je da se izmjene u animaciji mogu napraviti brzo jer u tom slučaju, glumac treba samo ponoviti pokret koji mu je zadan. Vremensko trajanje za izradu animacije je kraće od tradicionalnog načina. [7]

Jedna od prednosti, ali i nedostatak tehnike snimanja pokreta: u slučajevima kada su računalni modeli ljudskih osobina se stvaraju vrlo realne animacije. No, ako karakter ima osobine crtanih



likova, onda animacije izgledaju neprirodno jer se u crtanim animacijama često koristi pravilo pretjeranosti, što je gotovo nemoguće napraviti pomoću tehnike *motion capture*-a. [4]

# Istraživanje

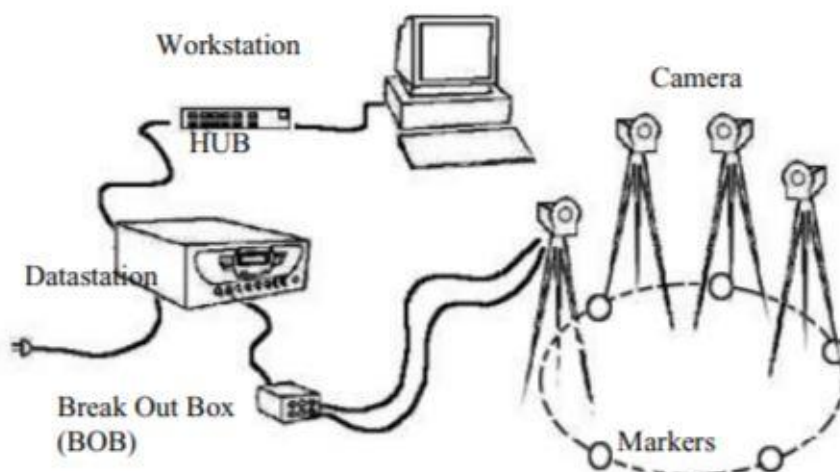
## 4.4. Ranija istraživanja

### 4.4.1. Znanstveni rad 1: Istraživanje korištenja *keyframe* i *motion capture*-a u industriji (Engl. A Study on Practical Approach of Using Motion Capture and Keyframe Animation Techniques)

Autori ovog znanstvenog rada uspoređuju korištenje *motion capture* i *keyframe* tehnike animiranja, uzevši u obzir praktične faktore kao što su troškovi, veličina studija, kompleksnost tehnike i znanja potrebnog za efektivno korištenje tehnike animiranja. Svi opisani eksperimenti su se odvijali na Fakultetu kreativne multimedije (engl. Faculty of Creative Multimedia).

Eksperiment je podijeljen u dvije skupine: *motion capture* i *keyframe* animacija, gdje se svaki od tih skupina sastoji od tri modula: hodanje, skakanje i trčanje. U svakom od tih modula autori rada su mjerili vrijeme koje je bilo potrebno za napraviti kompletnu animaciju pojedinog modula, kompleksnost animiranja te potencijalne probleme i rješenja koja su našli tijekom istraživanja, uzimajući u obzir i principe animacije.

Eksperiment za snimanje pokreta se odvijao s *Vicon* osam optičkih sustava za snimanje pokreta koji su posebno dizajnirani za animaciju. Taj sustav ima kapacitet da podrži dvadeset četiri kamere i koji mogu podržati do dvadeset četiri sata hvatanja pokreta. Sustav također ima podršku oko sinkronizacije snimljenog video zapisa u skladu s podacima snimljenog pokreta.



Slika 26 Konfiguracija opreme prilikom istraživanja za snimanje pokreta [1]

Eksperiment za tradicionalno snimanje pokreta odvijao na standardnim 3D aplikacijama. Aplikacije koje su bile korištene su: Alias Wavefront Maya 4 i 3D studio Max 4. Za svrhu ovog eksperimenta autor je odlučio koristiti 3D studio Max platformu s dodatnim Character Studio 3.1.

Kod eksperimentalnog dijela, primjenjuju se metode koje su podijeljene u dva procesa: tradicionalni i snimanje pokreta.

Kod tradicionalnog procesa, kako bi postigli tri različita pokreta (hodanje, skakanje i trčanje), autori rada su koristili normalnu metodu kreiranja skeleta u 3D Studio Max koji se zove *biped*. Jedan od problema na koji su naišli tijekom istraživanja i stvaranjem pokreta pomoću tradicionalnog načina je bila koža karaktera. Kako bi izbjegli taj problem, odlučili su ne koristiti 3D geometriju kao kožu karaktera, kako bi dobili vrlo jasan kostur koji je vidljiv kroz eksperiment i koji nije imao problem s kožom.

Tradicionalni proces animiranja je dao bolje rezultate u smislu tehničke analize kretanja. Jednom kada je *biped* kostur kreiran, proces stvaranja animacije počinje s nultog *frame*-a do krajnjeg *frame*-a. U slučaju ovog eksperimenta, to je bilo od 30 do 40 *frame*-ova kojih je bilo potrebno kako bi se napravila kompletna animacija pokreta.

Što se tiče procesa snimanja pokreta, podaci snimljeni iz 8 optičkih sustava se prenose u radnu stanicu gdje se datoteke pretvaraju u CSM format. CSM format je ASCII datoteka koja se koristi za učitavanje podataka o pozicijskim markerima iz različitih sistema za snimanje pokreta u *Character Studio* 3.1, radi animiranja pomoću *biped* kontrola.

Problem s kojim su se susreli tijekom snimanja pokreta tehnike animiranja je bio u vezi kostura. S novijom tehnologijom i novim pristupima snimanja pokreta je moguće pratiti ruke i noge s velikom preciznošću i kvalitetom, ali kalibracija kostura je bila mnogo kritičnija budući da se pogreške u poziciji i veličini kostura akumulira tijekom hijerarhijske strukture karaktera. Na primjer, ako su kosti kralježnice duže, ramena bi trebala biti viša, što dovodi do toga da će se ruke morati rastegnuti.

U vezi trajanja da se napravi animacija, *motion capture* je trajao kraće nego tradicionalni način animiranja. Dok je u prosjeku za tradicionalni način animiranja bilo potrebno:

- 3 sata i 20 minuta da se napravi animacija hodanja
- 3 sata i 30 minuta da se napravi animacija trčanja
- 3 sata i 10 minuta da se napravi animacija skakanja

za *motion capture* način animiranja je bilo potrebno:

- 1 sat i 35 minuta da se napravi animacija hodanja
- 1 sat i 20 minuta da se napravi animacija trčanja

- 1 sat i 15 minuta da se napravi animacija skakanja.

Na kraju se pokazalo da je *motion capture* imao veći broj *keyframe*-a od tradicionalnog načina, s omjerom 1:2 *frame*-a, što znači da je snimanje pokreta imalo duplo više *keyframe*-a.

Prema istraživanjima su isto došli do zaključka da je *motion capture* puno kompliciraniji dio animiranja od klasičnog. Potencijalni problemi su puno više mogući jer ima puno više koraka kojih je potrebno napraviti za kompletnu animaciju od *motion capture*-a. Isto tako, druga vrlo bitna činjenica je da kroz *motion capture* nisu mogli napraviti neke od osnovnih principa animacije koristeći *motion capture*, kao što su: *squash and stretch*, *anticipation*, *exaggeration* i *follow through/overlapping*. Bile su prekomplicirane da se imitiraju.

Zaključili su da odabir tehnike animiranja nije tako jednostavan kako se čini, no uz njihove rezultate su došli do nekoliko zaključaka kod odabira tehnike animiranja. Za masovno stvaranje animacija, preporučuju *motion capture*, iako to isto ovisi o veličini tvrtke. Ako je neka mala tvrtka, ne preporučuju *motion capture* jer puno košta ako nema svrhe za masovno stvaranje. Obje metode zahtijevaju dobru financijsku potporu, od hardvera do softvera za stvaranje animacije, ali *motion capture* ima mnogo veće troškove od tradicionalne animacije jer zahtijeva puno skuplju opremu. Kao što je i prije napomenuto, za velike tvrtke bi *motion capture* bio jedan od najboljih metoda za animiranje, no kombinacije tih dviju metoda bi bio najbolji mogući način baš zbog prijašnjih problema oko pravila animacije koje nisu mogli postići *motion capture*-om. [1]

#### **4.4.2. Znanstveni rad 2: Tradicionalna animacija i snimanje pokreta za stvaranje animacija: anketa i percepcija ljudi iz industrije (engl. Keyframe animation and motion capture for creating animation: a survey and perception from industry people)**

Glavna tema ovog članka je istražiti i istaknuti neke glavne karakteristike između korištenja tradicionalne *keyframe* animacije i *motion capture* animacije. To su postigli tako da su napravili ispitivanje na korisnicima s različitim pozadinama o znanju u *keyframe* i *motion capture* animaciji s interneta. Ispitivanje se sastoji od 23 pitanja na kojima je sudjelovalo 100 sudionika, kako bi osigurali što kvalitetnije i preciznije odgovore. Na kraju bi ispitivači podijeliti njihova vlastita iskustva u vezi obje metode animiranja.

23 pitanja je moguće podijeliti u tri različite skupine. Prva skupina pitanja odgovara na stvari poput: njihovo dotadašnje generalno iskustvo u animaciji, njihovo dotadašnje iskustvo u *keyframe* i *motion capture* tehnikama animiranja, jesu li animacije radili u industriji filmova ili video igara,

broj animiranih filmova u kojima su bili uključeni i slično. Druga skupina pitanja odgovara na stvari poput: njihov preferirani načini animiranja, koji način animiranja je brži za napraviti, koji način daje više realistične rezultate i slično. Treća kao zadnja skupina pitanja saznaje njihova osobna mišljenja. Pitanja poput bi li htjeli vidjeti više animiranih filmova i video igara, koje je više financijski isplativije i slično.

Iz prve skupine pitanja možemo zaključiti da je u ispitivanju sudjelovalo veći dio iskusnih ljudi u animaciji, ljudi koji su radili u industriji video igra i filmova. Druga važna činjenica iz prve skupine pitanja je da većina ispitanih osoba ima najviše iskustva u tradicionalnom načinu animiranja za razliku od *motion capture* načina, dok još manji dio ima iskustva u oba.

Što se tiče druge skupine pitanja, koja je najzanimljivija skupina pitanja za analizirati u ovom diplomskom radu, možemo zaključiti da iako veći dio ispitanih osoba preferira korištenje tradicionalnog načina animiranja, većina njih se slaže da je *motion capture* brži način u proizvodnji animacija i da postiže realnije pokrete, no većina se složila da je to kompliciraniji način animiranja.

Kod treće skupine pitanja, zanimljiva je činjenica da iako ostali znanstveni radovi zaključuju da je *motion capture* financijski skuplji od tradicionalnog načina animiranja, ispitanici u ovom znanstvenom radu smatraju da su *motion capture* i tradicionalni načini animiranja podjednaki.

Zaključili su da se *motion capture* ionako treba još urediti pomoću klasičnog načina animiranja i da ne može postojati samo *motion capture* metoda bez klasičnog načina animiranja. Većina ljudi slaže da je *motion capture* dobar u vezi stvaranja realističnih pokreta, a tradicionalni način animiranja daje likovima više osobnosti i mogućnosti za korištenje svih 12 principa animacije koje je inače gotovo nemoguće napraviti u *motion capture*-u.

Iako se vjeruje da je *motion capture* brži način animiranja, u nekim situacijama *motion capture* može biti vrlo spor i težak dio za animirati od klasičnog načina animiranja jer animatori ionako trebaju urediti animaciju u tradicionalnog načina animiranja, što može produžiti cijeli proces. Uz to što *motion capture* može biti vrlo spor i težak dio za animirati, takav način animiranja je kompleksniji i zahtjeva vrlo profesionalne i kvalificirane animatore. U budućnosti će *motion capture* postati financijski isplativiji od tradicionalnog načina animiranja jer će se *motion capture* podaci moći ponovo iskorištavati, no za vrijeme istraživanja je financijski neisplativ za male tvrtke.

Jedna od stvari u kojoj *motion capture* ima prednost nad tradicionalnim načinom animiranja je ako se u projektu koristi isti karakter ili objekt za animiranje koristeći jednog glumca, konstantno će ti podaci pokreta moći biti upotrebljivi više puta. [2]

#### 4.4.3. Znanstveni rad 3: Izučavanje analiza tradicionalne animacije i snimanja pokreta (Engl. *Analysis of the keyframe animation and motion capture case studies*)

Ovaj znanstveni rad uspoređuje *keyframe* animiranje i *motion capture* animiranje u filmovima i video igrama te kroz istraživanje načina rada animacijskih studija i njihovih odluka donosi zaključak u kojim trenucima je bolje koristiti određenu metodu animiranja.

Kao glavni izvor informacija koriste intervjuje tehničkih direktora, voditelja tima animatora ili voditelja animacijskih studija.

Autori znanstvenog rada su odabrali ukupno osam filmova i igara te ih podijelili u dvije skupine po četiri: jedna skupina koristi *motion capture* kao metodu animiranja dok druga koristi *keyframe* animiranje.

*Motion capture* skupina se sastoji od filmova: Final Fantasy, Titanic, Star Wars 1, i od igre WWW.

Kod filma Final Fantasy tehnika *motion capture*-a se koristila animacijama kao temelj, budući da u tom filmu svi likovi predstavljaju ljude. *Motion capture* u ovom kontekstu rješava problem davanja osjećaja „težine” likovima čiji doživljaj traje duže za postići kod korištenja *keyframe* animacija. Studio je zatim koristio *keyframe* animacije (u kombinaciji s ostalim razvijenim softverskim sustavima u koje ovaj rad ne ulazi) kako bi usavršio animacije i riješio se „umjetnog” osjećaja koje samo *motion capture* ostavlja. Također *motion capture* je pomogao cijelom timu s *timing*-om samih animacija.



Slika 27 Korištenje snimanje pokreta za izradu filma Final Fantasy,  
Izvor: <https://www.iamag.co/final-fantasy-the-spirits-within-making-of/>

Film „Titanic” je film koji je koristio „digitalne” glumce u kombinaciji s pravim osobama u istom kadru. *Motion capture* je pomogao snimiti pokrete ljudi te je pritom bilo lako i fotografirati ljude iz bilo kojeg kuta, što je kasnije pomoglo u slaganje kompozicije u kadru.



Slika 28 Primjer korištenja snimanja pokreta u filmu Titanic, izvor:

<https://beforesandafters.com/2019/09/18/the-secrets-behind-the-life-and-death-of-titanics-propeller-guy/>

U filmu su korištene dvije tehnike *motion capture*-a: stavljajući po šezdeset markera na glumce koji su nosili prave kostime za određenu scenu. Tako je tim preko *motion capture*-a uspio i realistično prikazati pomicanje odjeće prilikom kretanja samih glumaca. Takav *motion capture* se koristio za scene kod kojih se kamera nalazi daleko te sami gledatelji ne mogu u potpunosti prepoznati prave glumce od „digitalnih”. Druga tehnika *motion capture*-a je korištena s kaskaderima za opasne scene, poput potopa samog broda ili ekstremnog naginjanja. Kaskaderi su snimali scenu na platformi koja se mogla pomicati i naginjati te su se sakupili podaci kako bi se to što realnije prenijelo na filmsko platno.

Film „Star Wars: Phantom Menace” je koristio kombinaciju *motion capture*-a i *keyframe* animacija za scene koje su, isto kao i kod Titanica, sadržavali prave i „digitalne” likove.

Igra „WWW” koristi *motion capture* preko reflektirajućih loptica i kamera koje emitiraju i primaju svjetlost. Tehnika prikupljanja podataka je ista kao i kod filmova: dva profesionalna hrvača su obučena u posebna odijela s reflektirajućim lopticama na njima te su snimili pokrete koje su moguće u samoj igri. Neke od loptica su posebno stavljene na zglobove i udove poput laktova, čeljusti, kukove i koljena kako bi se snimili što vjerniji ljudski pokreti.

*Keyframe* skupina se sastoji od filmova: Godzilla, Monster Inc., Shrek, A Bug’s Life.

Kod filma „Godzilla” je u početku bilo isplanirano koristiti *motion capture* tehniku animiranja, no zbog estetskih faktora se u potpunosti prebacila na *keyframe* način animiranja. Glavni razlog je bio taj što je bilo teško prenijeti pokrete koje je snimio čovjek na ne-ljudskog lika (u ovom slučaju ogromnog guštera). Sam proces *keyframe* animiranja se sastojao od modeliranja stvorenja te

dodavanja kontrola kretanja poput obrnute kinematike (engl. *inverse kinematic*) i ekspresije. Za animiranje mišića kod pokreta studio je koristio zaseban kontroler.

Monster Inc. je u potpunosti animiran pomoću *keyframe* animacija od samog početka. Tim je također razvio programe specijalizirane za ostale tipove animiranja, poput animiranja dlaka na čudovištima ili animiranja tkanine gdje bi se odjeća pomicala neovisno o pokretima animiranih čudovišta.

Film „Shrek” je animiran na gotovo isti način kao i Monster Inc. Cijeli tim je također razvio par specijaliziranih programa koji simuliraju i animiraju stvari koje nisu vezane za same likove. Stvari poput simulacije tekućina, tkanina, dlaka i kose uvelike povećavaju vrijeme koje animatori mogu koristiti za animiranje samih likova u filmu. Sami modeli su imali točke za svaku kost, zglob i mišić. Tako su zglobovi micali kosti, kosti su micale mišiće te deformacija mišića daje vjeran i stvaran prikaz likova u filmu.

Budući da film „A Bug’s Life” uopće nema ljudske likove, od samog početka je odlučeno koristiti *keyframe* animiranje. Animacijski studio je ovom filmu pristupio više kako bi animatori crtanih filmova pristupili: radili su puno crteža i skulpture kukaca.

*Motion capture* je najlakše koristiti kod animiranja likova koji su po svojoj tjelesnoj strukturi ljudi ili vrlo slični njima. To se lijepo vidi kod podjele filmova u skupine: filmovi s *keyframe* animacijama su oni u kojima uopće nema ljudskih likova ili je tjelesna struktura nedovoljno blizu ljudskoj da bi *motion capture* tehnika ubrzala cijeli proces animiranja. [3]

#### **4.4.4. Znanstveni rad 4: Tehnike u usnim sinkronizaciji i praćenju lica korištenjem *motion capture* tehnike: evolucija u *mocap* (engl. *Techniques in lip-sync and facial tracking using motion capture: the pre-evolution to mocap*)**

Ovaj rad opisuje razne tehnike korištenja *motion capture* tehnologije u svrhu animacija lica i *lip sync*-a i međusobno ih uspoređuje kako bi otkrili animatorima nove kreativne načine korištenja *motion capture* podataka. Budući da rad ne prikazuje nikakve empirijske podatke, svi savjeti su zasnovani na teoriji.

Sustavi za snimanje pokreta koji su opisani i na kojima su zasnovani teorijski zaključci su:

- elektromagnetski sustavi od kojih se koristi nekoliko senzora
- elektromehanički sustavi koji koriste senzore koji mjere rotaciju zglobova
- optički sustav koji emitiraju svjetlost, dok se kod pasivnih markera reflektira svjetlost prema kamerama koje prate putanju.



Negativna strana *motion capture* tehnike animiranja koju su autori ovog rada zaključili je da cilj animacije nije samo kreirati pokrete nalik ljudima, nego i prenijeti emocije i ispričati priču preko animiranih likova. Tehnike snimanja pokreta upravo pate od tog problema; kopiranje pokreta bez ikakvog razmišljanja (što bi možda neki neiskusni animator upravo i napravio) čini likove beživotnima i nezanimljivima publici. Zato je nerijetko posao glumca u *motion capture* odijelu ne samo ići kroz pokrete koje mu producent zadaje nego i prenijeti emocije preko upravo tih pokreta.

Dok je pozitivna strana *motion capture* tehnike animiranja to što olakšava cijeli proces animiranja lica i što je lagano ponoviti cijeli proces animiranja jer glumac treba samo ponoviti scenu, dok se kod tradicionalne tehnike treba ispočetka animirati i renderirati pokreti lica. [4]

#### **4.4.5. Znanstveni rad 5: Tradicionalni način animiranja ili snimanje pokreta? Razmišljanja o obrazovanju animacije likova (engl. *Keyframe or Motion Capture? Reflections on Education of Character Animation*)**

Ovaj rad prvenstveno analizira način educiranja budućih animatora na fakultetima i uspoređuje dobivene vještine s vještinama traženim u animacijskoj industriji. U radu se provodi istraživanje koliko je izvedivo korištenje *motion capture* tehnike animiranja na fakultetima, ali samo kao pokusno istraživanje nad studentima. Pravi razlog je mjerenje koliko tehnika animiranja utječe na kreativnost animatora.

Animiranje se može smatrati kreativnim procesom jer zahtjeva osmišljavanje pokreta i isti pokret učiniti dovoljno realističnim (da pokreti imaju moment i poštuju zakone fizike), ali i unikatnim (da se naglasi osobnost animiranog lika). Stoga ovaj rad proučava kako *motion capture* i tradicionalno animiranje utječu na kreativnost animatora.

Istraživanje je provedeno nad 50 studenata koji se bave animacijom. Svi su u tom trenutku imali dvije ili više godina učenja animiranja te su njihovi akademski uspjesi u prosjeku bili B+ (ekvivalentno 4+ u hrvatskom načinu ocjenjivanja). Testna grupa je trebala animirati pomoću *motion capture* tehnike, dok je kontrolna grupa animirala na tradicionalan način. Svima je zadatak bio isti: osmisliti zanimljive animacije hoda danog digitalnog lika. 17 kontrola je bilo automatski zadano te je *motion capture* odijelo imalo već unaprijed pozicionirano 17 senzora. Obje grupe su imale 60 minuta nakon čega su ih autori ovog rada intervjuirali.



Slika 29 Struktura i sučelje sustava za snimanje pokreta [5]

Također, sve animacije koje su studenti napravili unutar 60 minuta su ocijenila 3 stručnjaka iz animacijske industrije. Ocjene su davali po sljedećim kategorijama kreativnosti: originalnost (koliko animacija čini lika unikatnijim od ostalih) i osjećajnost (koliko emocija je uspješno prikazano u animaciji). Stručnjaci su ocjenjivali animacije odgovarajući na pitanja koja su autori rada unaprijed pripremili. Na pitanja su odgovarali zaokružujući jedan broj između 1 i 5, gdje je 1 „u potpunosti se ne slažem”, a 5 „u potpunosti se slažem“.



Slika 30 3D karakter korišten u eksperimentu [5]

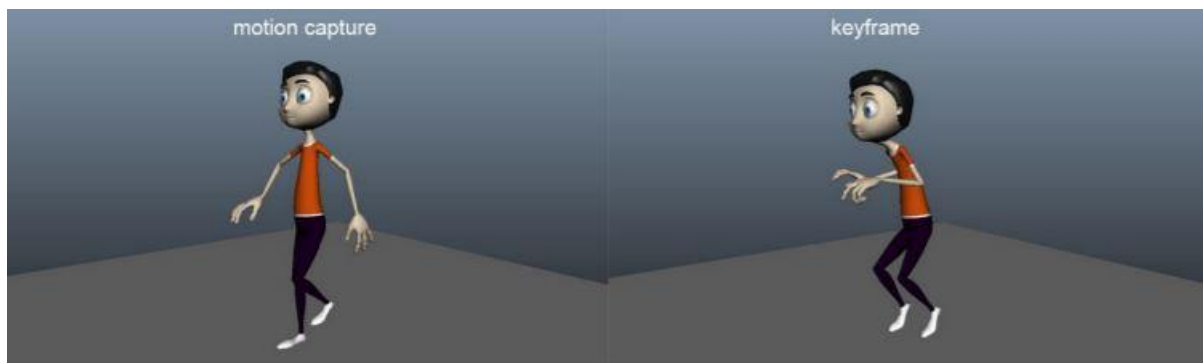
Rezultati stručnjaka su slijedeći:

u kategoriji originalnosti testna grupa (koja je koristila *motion capture*) je imala prosječnu ocjenu od 2.76, dok je kontrolna grupa (koja je koristila tradicionalnu tehniku) imala 3.52

testna grupa je uspjela napraviti u prosjeku 12.72 različitih animacija, dok je kontrolna grupa uspjela napraviti 5.68 različitih animacija unutar 60 minuta

u kategoriji osjećajnosti testna grupa je uspjela inkorporirati 4.08 emocija, dok je kontrolna grupa uspjela inkorporirati u prosjeku 2.72 emocije.

Iz rezultata se može zaključiti da tradicionalan način animiranja više pridonosi kreativnosti animatora. Animacije su napravljene s više emocija i originalnije su. To se poklapa s činjenicom da je kod *motion capture* metode potrebno fizički odglumiti animaciju, a budući da studenti nisu školovani glumci, animacije nisu imale neku osobnost. No, zato je *motion capture* grupa uspjela napraviti više animacija unutar 60 minuta, budući da je preslikavanje pokreta iz stvarnog svijeta u digitalni trenutačan.



Slika 31 Usporedba poza od snimanja pokreta i tradicionalne tehnike animiranja[5]

U intervjuu studenata zaključci su slijedeći: testna grupa (ona koja je koristila *motion capture*) je imala slijedeće zaključke: *motion capture* je bilo lakše za koristiti i rezultati su bili brže vidljivi. Vrijeme potrebno za animiranje je bilo puno kraće od tradicionalnog način animiranja te im je animiranje na takav način bilo zabavno i osvježavajuće. No, nekima od studenata je bilo previše neugodno činiti pokrete pred drugim ljudima.

Kontrolna grupa je zaključila da su pomoću tradicionalnog animiranja bili u mogućnosti lika učiniti življim i živahnijim. No, kod tradicionalnog načina su više vremena provodili za usavršavanje postojećih animacija koje su do tada osmislili nego pokušali istražiti nove zanimljive animacije hoda.

Dakle, tradicionalan način animiranja se pokazao kao bolja tehnika za iskazivanje unikatnosti i osobnosti digitalnog lika. S druge strane, *motion capture* se pokazao korisnijim u samoj količini animacija koje je moguće izraditi u ograničenom vremenu, ali ima i ostale prednosti: animatori odmah dobivaju povratnu informaciju o tome kako animacija izgleda, potiče kreativnost (zbog već navedene količine animacija koje je moguće napraviti) i naposljetku, *motion capture* uči studente o anatomiji, pokretima i fizici čovjeka.

Autori rada preporučuju korištenje obje tehnike prilikom podučavanja studenata s ciljem da se potakne kreativnost. Tradicionalan način animiranja se pokazao kao dobar alat u učenju vještina poput *timing*-a i estetike prilikom animiranja. No, *motion capture* se pokazao kao dobra tehnika za podučavanje studenata stvarima poput znanja o pokretu, glumi i procesu prenošenja podataka u digitalan svijet. [5]

#### 4.4.6. Znanstveni rad 6: MOCKEY: hvatanje pokreta kao alat za animaciju tradicionalne animacije (engl. *Motion Capture as a tool for Keyframing Animation*)

Ovaj znanstveni rad je kolaboracija između autora rada i animacijskog studio DreamWall. Rad se bavi istraživanjem korištenja *motion capture* tehnike animiranja kao pomagala animatorima crtanih filmova. Temelj rada je algoritam koji iz *motion capture* podataka može izvlačiti *keyframe*-ove.

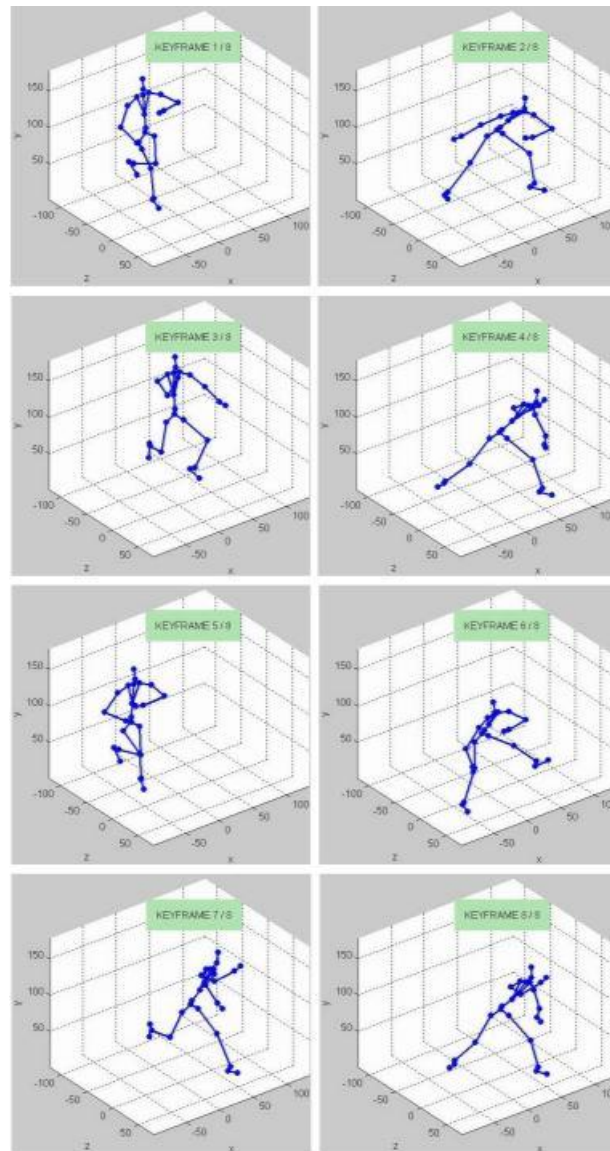
Ukazali su da se tradicionalna tehnika animiranja najčešće koristi kod animiranja crtanih filmova. Problem kod ovog načina rada je što to zahtijeva puno vremena: otprilike 25 poza po sekundi animacije. Također, kako bi animacija izgledala realistično zahtijeva vještinu iskusnog animatora. Korištenje *motion capture*-a bi potencijalno moglo ubrzati cijeli proces.

Prvi dio prikupljanja podataka preko *motion capture*-a je isti kao i inače: glumac u posebnom odijelu radi pokrete unutar sobe pune kamera koje prate svaku točku kako se pomiče u 3D prostoru.

Autori rada su razvili poseban *framework* koji zna učitati i procesirati podatke iz *motion capture*-a i izbaciti željeni *keyframe*. Sve se to zapisuje u *FBX file*, format koji programi koje animatori koriste podržavaju.

Budući da kvaliteta *keyframe*-ova direktno ovisi o kvaliteti *motion capture* podataka, vrlo je bitno minimizirati anomalije. Stoga je korišteno odijelo u sebi imalo i akcelerometar, žiroskop i magnetometar. Tjelesne mjere samog glumca su također uzete u obzir prilikom kalibracijskog koraka.

Još jedan problem nastaje kada je potrebno znati referentnu prostornu točku skeleta u virtualnom svijetu u odnosu na stvarni. Ponekad je to lakše izračunati (primjerice: ako znamo da u jednoj sceni skelet stoji na mjestu njegova najniža točka dodiruje tlo), a ponekad i ne (prilikom trčanja, skakanja ili penjanja po stepenicama).



Slika 32 Keyframe detekcija za slijed capoeire [6]

Nadalje, veliki problem koji se pokazao u samom radu jest mapiranje pokreta na skelet koji nije istih tjelesnih dimenzija kao i glumac korišten za snimanje *motion capture*-a.

Kao rješenje za problem referentne točke u prostoru su autori rada razvili algoritam za detekciju koji dio tijela je u kontaktu s tlom, uzevši u obzir visinu skeleta (u odnosu na baznu točku u kuku skeleta) i brzinu kretnje. Iako, autori sami priznaju da ovaj algoritam nije savršen i ima još mjesta za poboljšanja, primjerice detekcija kod skeleta čiji tjelesni omjeri nisu isti kao kod čovjeka (crtani likovi s dugačkim nogama).

Iako ne postoje dokazi da *motion capture* ubrzava proces animiranja crtanih filmova i serija, algoritam opisan u ovom radu već sada donosi nekoliko beneficija: izvlačenjem *keyframe*-ova iz snimljenih pokreta pokazalo se animatorima korisnim iako animatori možda ne bi sami odabrali takve *keyframe*-ove. Jedan od dijelova gdje postoji mjesta za poboljšanje je estetika izvučenih *keyframe*-ova. Jedan od predložaka je napraviti kompleksniji algoritam kojem bi animatori dali

*keyframe*-ove koji su estetski privlačniji i time bi „naučili” algoritam da sam bolje izvlači *keyframe*-ove iz *motion capture* podataka.

#### **4.4.7. Znanstveni rad 7: Animacija iz reference: snimanje pokreta i uređivanje pokreta (engl. Animation From Observation: Motion Capture and Motion Editing)**

Autor ovog članka nastoji dati uvid u proces stvaranja animacije promatrajući stvarne objekte kao referencu za animiranje ili pomoću *motion capture* ili *motion editing* tehnika animiranja te kako bi ti procesi pridonijeli animatorima i koji su njihovi vidljivi potencijali. Budući da se *motion capture* može koristiti za animaciju tijela ili lica, ovaj rad se fokusira na animiranje tijela.

Članak je raspoređen tako da prvo počinje s raspravom o korištenju *motion capture*-a za stvaranje animacije, zatim ostale moguće alternative. Na kraju se detaljno razmotri cijeli proces stvaranja animacija od *motion capture*-a, uzimajući u obzir sve potrebne korake i probleme koji dolaze sa stvaranjem animacija pomoću *motion capture*-a.

Autori su uočili da se tradicionalnim načinom animiranja postižu vrlo uvjerljivi rezultati, no negativna strana tog načina je da zahtjeva puno vremena i vještina kako bi se postigli uvjerljivi pokreti.

Kod hibridne animacije u kojoj se koriste algoritmi za opis krajnjeg cilja animacije je lakši način animiranja od tradicionalne tehnike i *motion capture* tehnike animiranja jer na jednostavan način mogu dobiti pokret animacije koji žele. Negativna strana hibridne animacije koji su autori rada otkrili je da takav način animiranja ne isporučuje kvalitetne animacije kod kompliciranih pokreta.

Kako bi *motion capture* bio bolji od prethodno opisanih metoda kreiranja pokreta, mora biti u mogućnosti prikazati dovoljno suptilne i kvalitetne pokrete.

Kako bi uspješno animirali iz reference, potrebno je:

- planirati snimanje scene tog pokreta i ostale produkcijske korake nakon snimanja
- snimanje samog pokreta
- uređivanje snimke
- uređivanje pokreta
- preslikavanje snimljenog pokreta na lika.

Uređivanje pokreta i preslikavanje pokreta na lika se mogu više puta ponavljati u produkcijskom proces.

Za stvaranje animacije pomoću *motion capture*-a se mogu koristiti različite metode. Autori ovog članka su napomenuli kako s jedne strane te različite metode su beznačajne jer svaka od tih metoda bi trebala dovesti do sličnih rezultata. Međutim, svaka ta različita metoda ima drugačiji pristup, rezultate, kao i prednosti i nedostatke kod svake pojedine metode za *motion capture*.

Jedan od problema na koji su naišli tijekom korištenja optičkog sustava je da, iako su se markeri mogli vidjeti, nisu imali metodu po kojoj bi se znalo koji marker je koji, što znači da bi se za svaki taj marker trebala odrediti njihova korespondencija markera između okvira (engl. *frames*), za razliku od magnetske metode gdje svaki marker ima svoj vlastiti senzorski kanal podataka. Takav problem se onda rješava kasnije u post produkciji gdje se pomoću programa radi ispravna pozicija markera. Zbog tih razloga su magnetski sustavi bili češće u uporabi od optičkih sustava. [7]

Autori ovog članka su zaključili da je potencijal stvaranja animacija temeljen na snimanju pokreta preko kamere velik. Kako se video tehnologija razvija, postaje sve više pristupačna, jeftinija, može funkcionirati u više različitih ambijenata i manje opterećujuće glumce. Ali loša strana takvog načina animiranja je da su animacije manje kvalitete i izgledaju manje uvjerljivo u odnosu na ostale metode animiranja.

## **4.5. Nedavna istraživanja**

### **4.5.1. Usporedba tradicionalnog načina animiranja i hibridnog načina animiranja za ljudske karaktere (engl. Comparing Traditional Key Frame Animation Approach and Hybrid Animation Approach of Humanoid Characters)**

Ovaj rad opisuje različite pristupe animaciji korištenjem *keyframe*-a zajedno s proceduralnom animacijom u svrhu smanjenja ukupnog broja *keyframe*-ova u animacijskom isječku. Takav hibridni pristup korišten je u komercijalnim video igrama, ali o samim razlikama između hibridnog i tradicionalnog korištenja nema previše informacija ni usporedba. Hibridni pristup je poželjan u studijima gdje su ograničena sredstva jer se pomoću proceduralne animacije kretanje postiže koristeći matematičkim funkcijama i metodama. Za usporedbu dva pristupa autori su proveli eksperiment koji se sastoji od usporedne usporedbe animiranih isječaka, koje je od ispitanih subjekata zatraženo da ocijene na vizualnu privlačnost. Kako bi se procijenila izvedba dva pristupa, oba su implementirana i mjerena u FPS-ima (Frames per Second).

Autori su osmislili eksperiment kako bi otkrili koliko je hibridni pristup vizualno privlačan u usporedbi s tradicionalnim pristupom ključnim okvirima. Eksperiment je osmišljen za usporedbu

dva pristupa jedan uz drugog. Postojale su četiri različite animacije s dva različita seta *keyframe*-ova koji su trebali biti evaluirani.

Eksperiment je osmišljen tako da ne bude djelomičan na bilo koji pristup na bilo koji način. Da bi se to postiglo, u pokusu su izvršene sve usporedbe dva puta, jednom s modelom hibridnog pristupa s lijeve strane i *keyframe* modela s desne strane i obrnuto. Sudionici nisu znali koja se tehnika koristi za koji model. Animacije su bile sinkronizirane i istog tipa, npr. kada desni model reproducira animaciju hoda, lijevi model također reproducira animaciju hoda.

Autori su htjeli znati kako se hibridni pristup uspoređuje s tradicionalnim pristupom *keyframe*-a, ali i ako je hibridni pristup s više *keyframe*-ova percipiran bolje nego s manje *keyframe*-ova.

Eksperiment je imao ukupno šesnaest usporedbi, četiri animacije s dva različita skupa ključnih okvira što rezultira s osam usporedbi. Što se udvostručuje zamjenom stranica i njihovim ponovnim uspoređivanjem. Pokus je također osmišljen kako bi redosljed usporedbi bio potpuno slučajan jer se nasumičnim redosljedom usporedbi smanjuje rizik pristranosti učenja. Ponuđeni odgovori su za ocjenu animacije bili su potpuno individualni. Sudionicima je rečeno da ocijene isječak prema tome koji su isječak smatrali vizualno privlačnijim. Rezultati su pokazali da je u većini animacija (hodanje, čučanje i stajanje na mjestu) *keyframe* animacija pokazala kao vizualno privlačnijim rješenjem dok se za animaciju trčanja hibridni pristup pokazao boljim. Što se tiče izvedbe, *keyframe* animacija se pokazala kao bolji izbor i to sa skoro duplo boljim izmjerenim FPS-ima pri malim brojem animiranih likova, kako se broj animiranih likova povećavao, razlika između hibridnog pristupa i *keyframe* animacije je postala znatno manja. [8]

#### **4.5.2. Sustav snimanja pokreta, izazovi i najnoviji trendovi (engl. *Motion capture system, challenges, and recent trends*)**

Ovaj rad prikazuje razne tipove *motion capture* načina animiranja. Za svaki od spomenutih tipova autori rada ukazuju na prednosti i mane i na kraju donose zaključak o trenutnoj situaciji korištenja *motion capture*-a i problema koje je potrebno riješiti.

Postoji više od jednog načina kako animirati pomoću *motion capture* tehnike. Stoga se *motion capture* može podijeliti u dvije kategorije: *motion capture* baziran na markerima i *motion capture* baziran bez korištenja markera.

Postoji nekoliko *motion capture* tehnika koje su autori opisivali u ovom znanstvenom radu:

- bez markera
- s markerima:
  - akustični sustavi



- mehanički sustavi
- magnetski sustavi
- optički sustavi.

Tehnike *motion capture*-a bez markera najčešće koriste običnu kameru i posebne algoritme za detekciju pokreta, poput Microsoft-ovog Kinect-a. Ovo smanjuje trošak snimanja, ali je zato kvaliteta slabija i animacija nepreciznija.

Od davnih dana tehnika korištenja *motion capture*-a se mijenjala. Glavni faktori koji su na to utjecali su razvoj tehnologije i budžet koji su studiji imali na raspolaganju. Danas postoji mnogo tipova *motion capture*-a za odabrati, ali još uvijek postoji nekoliko problema koje je potrebno riješiti:

- korištenje *motion capture*-a je još uvijek skup način animiranja, no razvojem *motion capture* metode bez markera bi to učinilo pristupačnijim manjim studijima i studijima video igara
- vrlo teško je preslikati snimljene podatke na animiranog lika koji nije tjelesnih dimenzija isti kao i glumac, što zahtijeva daljnje korekcije od strane animatora
- *motion capture* zahtijeva posebnu opremu i ograničen prostor za snimanje i dobivanje podataka
- za neke tipove *motion capture*-a (npr. magnetsko) razne smetnje mogu utjecati na kvalitetu 3D podataka. [9]

#### **4.5.3. Tehnologija snimanja pokreta - beneficije i izazovi (engl. *Motion Capture Technology – Benefits and Challenges*)**

Ovaj rad opisuje tipove *motion capture*-a, gdje se najčešće koristi te koje su prednosti i mane korištenja *motion capture* tehnike animiranja.

I danas se *motion capture* koristi u raznim područjima: zabavi (reklame, tv serije, filmovi i video igre), zdravstvu (primjerice kod izrade protetike koja je posebno napravljena za pacijenta s obzirom gdje prebacuje svoje težište prilikom hoda), sportu (kod procjene fizičke spremnosti sportaša).

Kao što možemo primijetiti, *motion capture* je dostupniji široj publici jer donosi nekoliko beneficija:

- vrijeme potrebno za snimanje pokreta. Glumac može istog trena ponoviti pokret ako je potrebno.

- količina podataka koje je moguće snimiti u ograničenom vremenu, što smanjuje trošak produkcije.
- preciznost podataka. Podaci snimljeni *motion capture*-om vjerno prikazuju i prenose osjećaj težine i snage u pokretima.

Naravno, još uvijek postoje dijelovi gdje je potrebno još doraditi *motion capture* kao tehniku animiranja:

- nije moguće prenijeti podatke na digitalnog lika čija tjelesna struktura nije slična glumcu. Ovo najčešće zahtjeva dodatan posao animatora kako bi prilagodili podatke digitalnom liku, no ponekad ni to nije moguće stoga se *motion capture* u nekim slučajevima ne može ni koristiti.
- moguće je snimiti samo pokrete unutar zakona fizike. Isto tako, potrebna je posebna prostorija za snimanje *motion capture* tehnikom.
- potrebna oprema i software čini snimanjem *motion capture* tehnikom vrlo skupim, što si neki manji studiji ne mogu priuštiti.
- ponekad animatori moraju dodatno urediti snimljene podatke, pogotovo ako se želi učiniti animacijom sličnom tradicionalnom načinu animiranja pomoću 12 principa animiranja.

[10]

## 5. Sažetak znanstvenih radova

Analizom ovih znanstvenih radova uspostavilo se da odabir metode animiranja nije tako jednostavan.

Iako bi se dalo pretpostaviti da bi *motion capture* metoda animiranja bila brža od klasičnog načina animiranja, postoji nekoliko faktora koji taj proces usporavaju: animacije koje su dobivene iz *motion capture*-a je potrebno dodatno urediti pomoću tradicionalnog načina animiranja u svrhu korekcije animacije, zahtjeva profesionalne i kvalificirane animatore da bi proces animiranja bio brz i efikasan [2] te su takve animacije kompleksnije za izraditi i zato postoji veća mogućnost za potencijalnim problemima. [1]

*Motion capture* se najbolje koristi kod animacija koje imaju karaktere po tjelesnoj strukturi ljudi ili vrlo sličnim njima. Animacije se prilikom korištenja *motion capture*-a ističu stvaranjem realističnih pokreta. Također animacije se mogu ponovo upotrebljavati ako su karakteri ili objekti isti unutar video igara i filmova. *Face tracking* je jedna od mogućnosti *motion capture*-a koji olakšava cijeli proces animiranja lica. Međutim kod *motion capture*-a nije moguće primijeniti neke od osnovnih principa animacije (pretjerivanje, zbijanje i rastezanje, prateća i preklapajuća akcija), što rezultira potrebom za korištenjem tradicionalnog načina animiranja. Tradicionalnim načinom animiranja može se postići veća razina detalja koja ističe osobnost animiranih likova. [2, 5]

Upravo zbog toga, tradicionalni način animiranja se pokazao kao dobar alat u učenju 12 principa animacija, dok *motion capture* bolje podučava pokretu, anatomiji i fizici čovjeka te glumi. [5] Uz zabavne i edukacijske svrhe, *motion capture* se koristi i u vojne, sportske i medicinske svrhe. Što se tiče edukacije i razvijanja kreativnosti, preporučljivo je koristiti obje tehnike kod podučavanja studenata. Prednost *motion capture*-a je da studenti odmah vide rezultat animacije i mogu ponoviti animaciju više puta u ograničenom vremenu. [5]

Mogućnost stvaranja velike količine animacija u kratkom vremenu odgovara većim tvrtkama te zato često odabiru *motion capture* kao tehniku animiranja budući da im je cilj masovno stvaranje animacija na godišnjoj razini. [1] Primjerice, kod animiranja lica pomoću *motion capture* metode glumci samo trebaju ponoviti scene, dok je kod tradicionalnog načina animiranja potrebno ponovo animirati i renderirati cijelu animaciju, što zahtijeva puno vremena. [5]

Malim tvrtaka *motion capture* nije preporučljiv jer je financijski skuplje (iz hardverskih i softverskih razloga) i ne profitabilno ako se ne planira koristiti za masovnu produkciju. [1] Stoga je u današnje vrijeme i dalje preporučljivo korištenje obiju metoda, dok se predviđa da će u budućnosti *motion capture* postati financijski isplativiji zbog velike količine *motion capture* podataka koje će se do tad generirati i moći ponovno upotrijebiti. [1, 2]

Postoji nekoliko alternativa i alata *motion capture* tehnici animiranja koji bi cijeli proces napravio financijski isplativijim. [6, 7] Moguće je snimiti pokrete preko kamere umjesto korištenja skupocjene opreme (infracrvenih kamera, odijela, senzora itd.) po cijeni smanjene kvalitete i uvjerljivosti animacije. [7] Također, u razvoju je alata koji iz *motion capture* podataka izvlače *keyframe*-ove, što bi potencijalno mogao ubrzati proces animiranja kod crtanih filmova i serija. [6]

Nedavni rezultati istraživanja su pokazali da, iako je tehnologija znatno napredovala što se tiče raznih tipova *motion capture* tehnologije, zaključci su ostali relativno isti.

*Motion capture* je i dalje skuplji način animiranja jer zahtijeva posebnu opremu (kamere, odijela, senzori i slično), što znači da se *keyframe* način animiranja i dalje preferira u manjim studijima. Teško je preslikati snimljene animacijske podatke na karaktere čije tjelesne dimenzije nisu slične čovjeku. U situacijama kada tjelesne dimenzije jesu slične čovjeku, animatori svejedno moraju uređivati podatke animiranja. [9] [10]

*Keyframe* način animiranja i dalje prevladava u slučajevima kada se želi primjenjivati 12 principa animiranja. U međuvremenu se razvila nova tehnologija animiranja koja potpomaže *keyframe* načinu animiranja, takozvani hibridni način animiranja. [8]

## 6. Zaključak

Usporedbom znanstvenih radova možemo zaključiti da odgovor na pitanje: „koja tehnika animiranja je preferirana za izradu animacije“ i nije tako jednostavan. Svaka od tih tehnika ima svoje prednosti i nedostatke, ovisno svrsi za koju ju koristimo.

Gotovo svi znanstveni radovi koji su istraženi ukazuju da iako *motion capture* tehnologija postaje sve više dostupna široj publici, ona je i dalje puno skuplja metoda animiranja od tradicionalnog načina. Razlog kupnje i korištenja *motion capture* tehnologije bi se trebao bazirati na potrebi proizvodnje animacija i koji tip animacije se želi postići, kao i samom budžetu kompanije. Na primjer, ako kompanija izrađuje animacije koje su primarno bazirane na realnim pokretima karaktera koji ima karakteristike ljudskog oblika, tada sva istraživanja ukazuju na korištenje *motion capture* tehnologije za animiranje. No, ako se radi o karakterima koji nemaju fizikalne karakteristike ljudskog oblika i pokreti nisu bazirani prema realnosti, nego se animacije deformiraju kako bi se stvorila uvjerljivost karaktera, tada sva istraživanja ukazuju na korištenje tradicionalnog načina animiranja.

Istraživanja također ukazuju na korištenje tradicionalnog načina animiranja čak ako se pokreti baziraju prema realnosti, ako bi se animiralo u svrhu edukacije kako bi se prilikom podučavanja studenata potaknula kreativnost i učenje vještina poput trajanja, estetike i ostalih principa animacije.

Prema istraživanjima možemo zaključiti da obje tehnika animiranja imaju svoju svrhu i primjenu u animaciji i da ne postoji samo jedna preferirana tehnika koja bi zamijenila drugu. Cilj obje tehnike je stvoriti animaciju kojom bi se privukla pozornost gledatelja te zbog toga će obje tehnike animiranja naći svoju svrhu u području animacije.

U Varaždinu, \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
Potpis studenta

IZJAVA O AUTORSTVU  
I  
SUGLASNOST ZA JAVNU OBJAVU

Završni/diplomski rad isključivo je autorsko djelo studenta koji je isti izradio te student odgovara za istinitost, izvornost i ispravnost teksta rada. U radu se ne smiju koristiti dijelovi tuđih radova (knjiga, članaka, doktorskih disertacija, magistarskih radova, izvora s interneta, i drugih izvora) bez navođenja izvora i autora navedenih radova. Svi dijelovi tuđih radova moraju biti pravilno navedeni i citirani. Dijelovi tuđih radova koji nisu pravilno citirani, smatraju se plagijatom, odnosno nezakonitim prisvajanjem tuđeg znanstvenog ili stručnoga rada. Sukladno navedenom studenti su dužni potpisati izjavu o autorstvu rada.

Ja, KRISTIJAN VARGA (ime i prezime) pod punom moralnom, materijalnom i kaznenom odgovornošću, izjavljujem da sam isključivi autor/ica završnog/diplomskog (obrisati nepotrebno) rada pod naslovom KOMPARATIVNO ISTRAŽIVANJE SNIMANJA POKRETA I TRADICIONALNE TEHNIKE ANIMIRANJA (upisati naslov) te da u navedenom radu nisu na nedozvoljeni način (bez pravilnog citiranja) korišteni dijelovi tuđih radova.

Student/ica:  
(upisati ime i prezime)

KRISTIJAN VARGA, Varga  
(vlastoručni potpis)

Sukladno Zakonu o znanstvenoj djelatnosti i visokom obrazovanju završne/diplomske radove sveučilišta su dužna trajno objaviti na javnoj internetskoj bazi sveučilišne knjižnice u sastavu sveučilišta te kopirati u javnu internetsku bazu završnih/diplomskih radova Nacionalne i sveučilišne knjižnice. Završni radovi istovrsnih umjetničkih studija koji se realiziraju kroz umjetnička ostvarenja objavljuju se na odgovarajući način.

Ja, KRISTIJAN VARGA (ime i prezime) neopozivo izjavljujem da sam suglasan/na s javnom objavom završnog/diplomskog (obrisati nepotrebno) rada pod naslovom KOMPARATIVNO ISTRAŽIVANJE SNIMANJA POKRETA I TRADICIONALNE TEHNIKE ANIMIRANJA (upisati naslov) čiji sam autor/ica.

Student/ica:  
(upisati ime i prezime)

KRISTIJAN VARGA, Varga  
(vlastoručni potpis)

## 7. Literatura

- [1] Grupa autora. (2004). *A study on practical approach of using motion capture and keyframe animation techniques*, Izdavač: London, UK  
Preuzeto: 18.7.2021.: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/1320239>
- [2] Grupa autora. (2003). *Keyframe Animation and Motion Capture for Creating Animation: A Survey and Perception from Industry People*, Izdavač: Putrajaya, Malazija.  
Preuzeto: 26.7.2021.:  
[https://www.researchgate.net/publication/4153541\\_Keyframe\\_animation\\_and\\_motion\\_capture\\_for\\_creating\\_animation\\_a\\_survey\\_and\\_perception\\_from\\_industry\\_people](https://www.researchgate.net/publication/4153541_Keyframe_animation_and_motion_capture_for_creating_animation_a_survey_and_perception_from_industry_people)
- [3] Izani M., Razak A., Rafi A. (2003). *Analysis of the Keyframe Animation and Motion Capture Case Studies*, Izdavač: Putrajaya, Malazija.  
Preuzeto: 2.08.2021.:  
[https://www.researchgate.net/publication/4153559\\_Analysis\\_of\\_the\\_keyframe\\_animation\\_and\\_motion\\_capture\\_case\\_studies](https://www.researchgate.net/publication/4153559_Analysis_of_the_keyframe_animation_and_motion_capture_case_studies)
- [4] Joon S., J., Hui Eu Soon E. (). *Techniques in lip-sync and facial tracking using motion capture: the pre-evolution to mocap*: Selangor, Malazija  
Preuzeto: 17.08.2021.: [http://gmm.fsksm.utm.my/~cogramm/cgi-bin/2004/upload\\_files/full\\_paper/316883.pdf](http://gmm.fsksm.utm.my/~cogramm/cgi-bin/2004/upload_files/full_paper/316883.pdf)
- [5] Mou T. (2018). *Keyframe or Motion Capture? Reflections on Education of Character Animation*, Izdavač: Tajvan.  
Preuzeto: 20.08.2021.: <https://www.ejmste.com/download/keyframe-or-motion-capture-reflections-on-education-of-character-animation-5604.pdf>
- [6] Tilmanne J., Hidot S., Ravet T., (2009). *Mockey: Motion Capture as a tool for Keyframing animation*, izdavač: University of Mons, Belgija.  
Preuzeto: 22.08.2021.:  
<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download;jsessionid=26E13481AFED311D29E6ADA0428BCA2D?doi=10.1.1.162.1701&rep=rep1&type=pdf>
- [7] Gleicher M. (2000). *Animation From Observation: Motion Capture and Motion Editing*  
Izdavač: University of Wisconsin, Madison  
Preuzeto: 23.08.2021.: <https://dl.acm.org/doi/10.1145/345370.345409>
- [8] Holmqvist L., Ahlström E. (2017). *Comparing Traditional Key Frame Animation Approach and Hybrid Animation Approach of Humanoid Characters*, izdavač: Karlskorna, Švedska  
Preuzeto: 26.09.2021.: <https://www.semanticscholar.org/paper/Comparing-Traditional-Key-Frame-Animation-Approach-Holmqvist-Ahlstr%C3%B6m/9b2b2af81d2d09ade3f4873f16ae5931b697f6a7>
- [9] Sharma S., Verma S., Kumar M., Sharma L. (2019). *Use of Motion Capture in 3D Animation: Motion Capture Systems, Challenges, and Recent Trends*, izdavač: Indija  
Preuzeto: 26.09.2021.: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8862448>
- [10] Ribeiro H. T., Vieira H. L. M. *Motion Capture Technology – Benefits and Challenges*  
Preuzeto: 26.09.2021.: <https://www.ijirts.org/volume4issue1/IJIRTSV4I1009.pdf>
- [11] Sárosi S. (2017). *Applying Traditional Animation Principles to 3D Games: animation in the Stardust Galaxy Warriors action game*, izadavč: University of Applied Sciences  
Preuzeto: 27.09.2021.: <https://www.theseus.fi/handle/10024/138930>

- [12] Bhatti Z., Shah A., Shahidi F., Karbasi M. (2013) Forward and Inverse Kinematics Seamless Matching Using Jacobian,  
Preuzeto: 27.09.2021.:  
[https://www.researchgate.net/publication/257947637\\_Forward\\_and\\_Inverse\\_Kinematics\\_Seamless\\_Matching\\_Using\\_Jacobian](https://www.researchgate.net/publication/257947637_Forward_and_Inverse_Kinematics_Seamless_Matching_Using_Jacobian)
- [13] Anić-Ivičić M., Bernik A., Vusić D. (2013). Vizualna prezentacija interijera  
Preuzeto: 20.09.2021.:  
<https://www.tiskarstvo.net/printing&design2013/dl/Tiskarstvo%202013%20zbornik%20radova%20web.pdf>
- [14] Naghdi A., Adib P. (). 3D texturing in animation production; a short overview of the workflow  
Preuzeto:20.09.2021.: <https://dreamfarmstudios.com/blog/getting-to-know-3d-texturing-in-animation-production/>
- [15] Arshad R. M., Yoon H. K., Manaf A. (2019). Physical Rigging Procedures Based on Character Type and Design in 3D Animation  
Preuzeto: 21.09.2021.:  
[https://www.researchgate.net/publication/336306246\\_Physical\\_Rigging\\_Procedures\\_Based\\_on\\_Character\\_Type\\_and\\_Design\\_in\\_3D\\_Animation](https://www.researchgate.net/publication/336306246_Physical_Rigging_Procedures_Based_on_Character_Type_and_Design_in_3D_Animation)
- [16] Bhati Z., Shah A., Waqas A., Mahmood N. (2015). Analysis of design principles and requirements for procedural rigging of bipeds and quadrupeds characters with custom manipulators for animation  
Preuzeto: 21.09.2021.:  
<https://arxiv.org/abs/1502.06419>
- [17] Baran I. (2010). Using Rigging and Transfer to Animate 3D Characters  
Preuzeto: 21.09.2021.:  
<https://dspace.mit.edu/bitstream/handle/1721.1/62383/709776868-MIT.pdf?sequence=2&isAllowed=y>
- [18] Box modeling (2016)  
Preuzeto: 21.09.2021.:  
<http://dcdesign.wikidot.com/wiki:box-modelling>
- [19] Što je 3D modeliranje i gdje se koristi? (2020.)  
Preuzeto: 21.09.2021.:  
<https://machina.academy/machina-blog/sto-je-3d-modeliranje>
- [20] Bernik A., Vrste i tehnike 3D modeliranja  
Preuzeto: 21.09.2021.:  
<https://hrcak.srce.hr/file/127863>
- [21] Thomas F., Johnston O. (1981). The Illusion of Life: Disney Animation
- [22] Internetski izvor, preuzeto 22.09.2021.:  
<https://www.pluralsight.com/blog/film-games/understanding-12-principles-animation>
- [23] Internetski izvor, preuzeto 23.09.2021.:  
<https://www.blender.org/>



- [24] Murdock L. K. (2019). Autodesk Maya 2019 Basics Guide, izdavač: Stephen Schroff, preuzeto: 23.09.2021.:  
[https://books.google.hr/books?hl=hr&lr=&id=hteMDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP3&dq=autodesk+maya&ots=yBztVbg1WF&sig=CzhhHbJn2zm3JmjtwSmFGTyFof&redir\\_esc=y#v=onepage&q=autodesk%20maya&f=false](https://books.google.hr/books?hl=hr&lr=&id=hteMDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP3&dq=autodesk+maya&ots=yBztVbg1WF&sig=CzhhHbJn2zm3JmjtwSmFGTyFof&redir_esc=y#v=onepage&q=autodesk%20maya&f=false)
- [25] Internetski izvor, preuzeto 23.09.2021.:  
<https://conceptartempire.com/what-is-3ds-max/>
- [26] Internetski izvor, preuzeto 23.09.2021.:  
<https://www.maxon.net/en/cinema-4d>

## Popis slika

Slika 1 Prikaz box modeliranja [18] .....	5
Slika 2 Razlika između visokih i niskih broja poligona[19] .....	6
Slika 3 Modeliranje pomoću digitalnog kiparstva [19] .....	7
Slika 4 Primjer slike bez teksture (slika lijevo) i s teksturom (slika desno).....	8
Slika 5 Primjer modela u A (lijevi model) i T (desni model) pozi .....	8
Slika 6 Izgled kostura modela .....	9
Slika 7 Osnovna podjela fonema [4] .....	12
Slika 8 Princip pravila spljošti i rastegni [22] .....	13
Slika 9 Primjer principa iščekivanja[22] .....	14
Slika 10 Primjer principa trajanja [22] .....	15
Slika 11 Primjer principa sceniranje [22] .....	15
Slika 12 Primjer principa prateće i preklapajuće akcije [22].....	16
Slika 13 Primjer principa usporenje na početku i usporenje na kraju [22].....	17
Slika 14 Primjer principa lukovi [22] .....	17
Slika 15 Primjer principa sekundarne radnje [22] .....	18
Slika 16 Primjer principa pretjerivanja <a href="https://www.pinterest.co.kr/pin/367536019573312033/">https://www.pinterest.co.kr/pin/367536019573312033/</a>	19
Slika 17 Primjer principa uvjerljivosti.....	19
Slika 18 Primjer principa jasnog crteža [22] .....	20
Slika 19 Primjer principa sukcesivne animacije i od poze do poze [22] .....	21
Slika 20 Prikaz uređivač grafikona (engl. graph editor).....	23
Slika 21 Tehnika rotoskopije, izvor: <a href="https://en.wikipedia.org/wiki/Rotoscoping">https://en.wikipedia.org/wiki/Rotoscoping</a> .....	25
Slika 22 Prikaz markera za snimanje pokreta lica, izvor: <a href="http://kinectic.net/motion-capture-face/">http://kinectic.net/motion-capture-face/</a> .....	26
Slika 23 Oprema magnetskog sustava za hvatanje pokreta, izvor: <a href="https://www.researchgate.net/figure/3-A-performer-wearing-a-suit-for-magnetic-motion-capture-AMM-2010_fig4_255990108">https://www.researchgate.net/figure/3-A-performer-wearing-a-suit-for-magnetic-motion-capture-AMM-2010_fig4_255990108</a> .....	27
Slika 24 Oprema optičkog sustava za snimanje pokreta, izvor: <a href="https://www.researchgate.net/figure/Human-motion-capture-with-Kinect-and-an-optical-motion-capture-system_fig2_272170781">https://www.researchgate.net/figure/Human-motion-capture-with-Kinect-and-an-optical-motion-capture-system_fig2_272170781</a> .....	28
Slika 25 Oprema mehaničkog sustava za snimanje pokreta, izvor: <a href="https://metamotion.com/gypsy/gypsy-motion-capture-system-workflow.htm">https://metamotion.com/gypsy/gypsy-motion-capture-system-workflow.htm</a> .....	29
Slika 26 Konfiguracija opreme prilikom istraživanja za snimanje pokreta [1].....	31
Slika 27 Korištenje snimanje pokreta za izradu filma Final Fantasy, .....	35

Slika 28 Primjer korištenja snimanja pokreta u filmu Titanic, izvor: <a href="https://beforesandafters.com/2019/09/18/the-secrets-behind-the-life-and-death-of-titanics-propeller-guy/">https://beforesandafters.com/2019/09/18/the-secrets-behind-the-life-and-death-of-titanics-propeller-guy/</a> .....	36
Slika 29 Struktura i sučelje sustava za snimanje pokreta [5].....	39
Slika 30 3D karakter korišten u eksperimentu [5] .....	39
Slika 31 Usporedba poza od snimanja pokreta i tradicionalne tehnike animiranja[5] .....	40
Slika 32 Keyframe detekcija za slijed capoeire [6] .....	42