

Virtualna okruženja

Virtualni ljudi

Virtualni ljudi

- Simulacija ljudi na računalu
- Modeliranje ljudskih likova
 - 3D model
 - Stvaranje modela
- Animacija



[izvor]

Realizam virtualnih likova



[\[izvor\]](#)



[\[izvor\]](#)



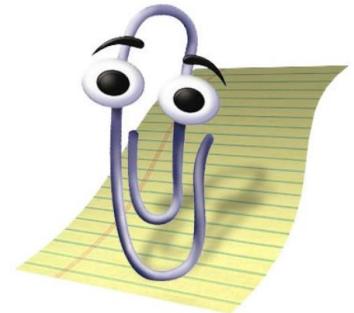
[\[izvor\]](#)



[\[izvor\]](#)



[\[izvor\]](#)



[\[izvor\]](#)

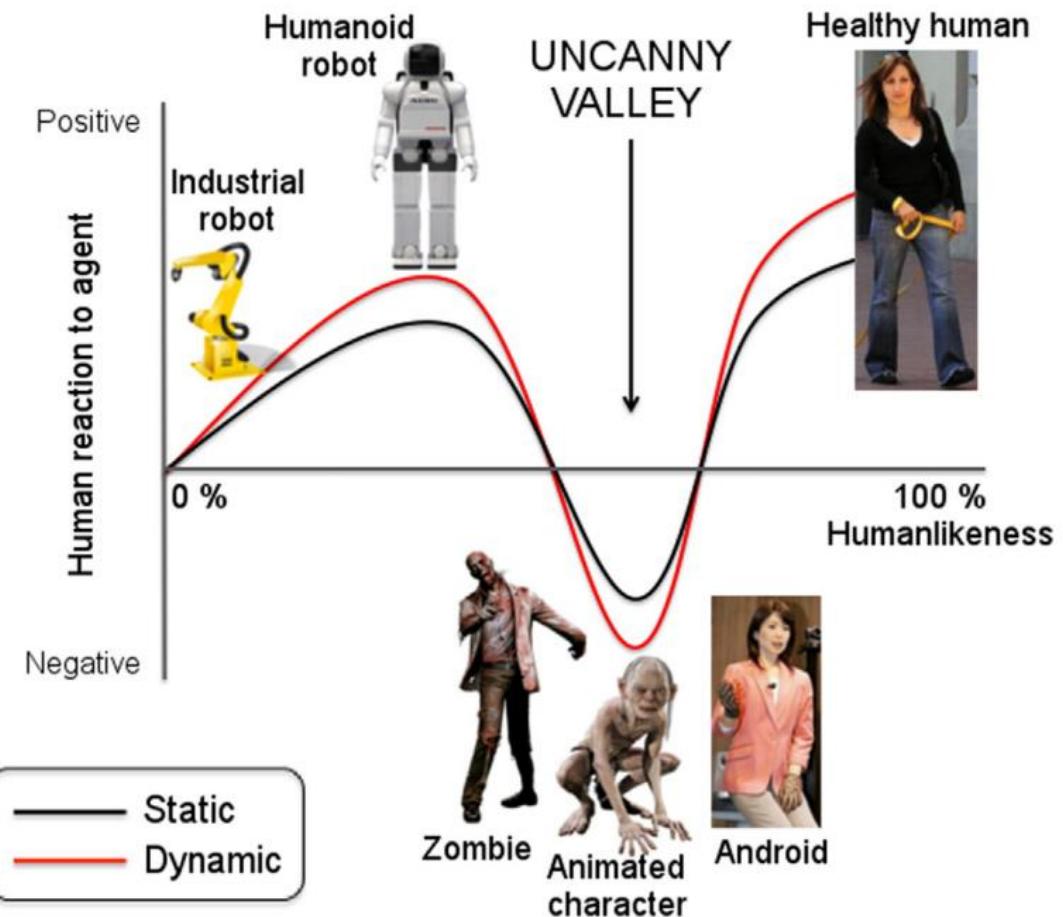
- Foto-realizam je vrlo teško postići
 - Statične slike je lakše učiniti realističnima, dok je kod animacije riječ o većem izazovu
 - Ovisno o aplikaciji, foto-realizam je često nepotreban, a ponekad i zastrašujući

Realizam virtualnih likova

- „*Uncanny valley*“ ili jeziva dolina
 - Humanoidni objekti koji su vrlo slični pravim ljudima, ali kod kojih potpuni realizam nije postignut, u promatračima mogu izazvati negativne osjećaje (jeza, odbojnost)
 - Npr. beba Billy u Pixarovom kratkometražnom filmu *Tin Toy* (1988)

“Pixar took a lesson from ‘Tin Toy.’ We have to nail the human form or not even go there.”

Thalia Wheatley

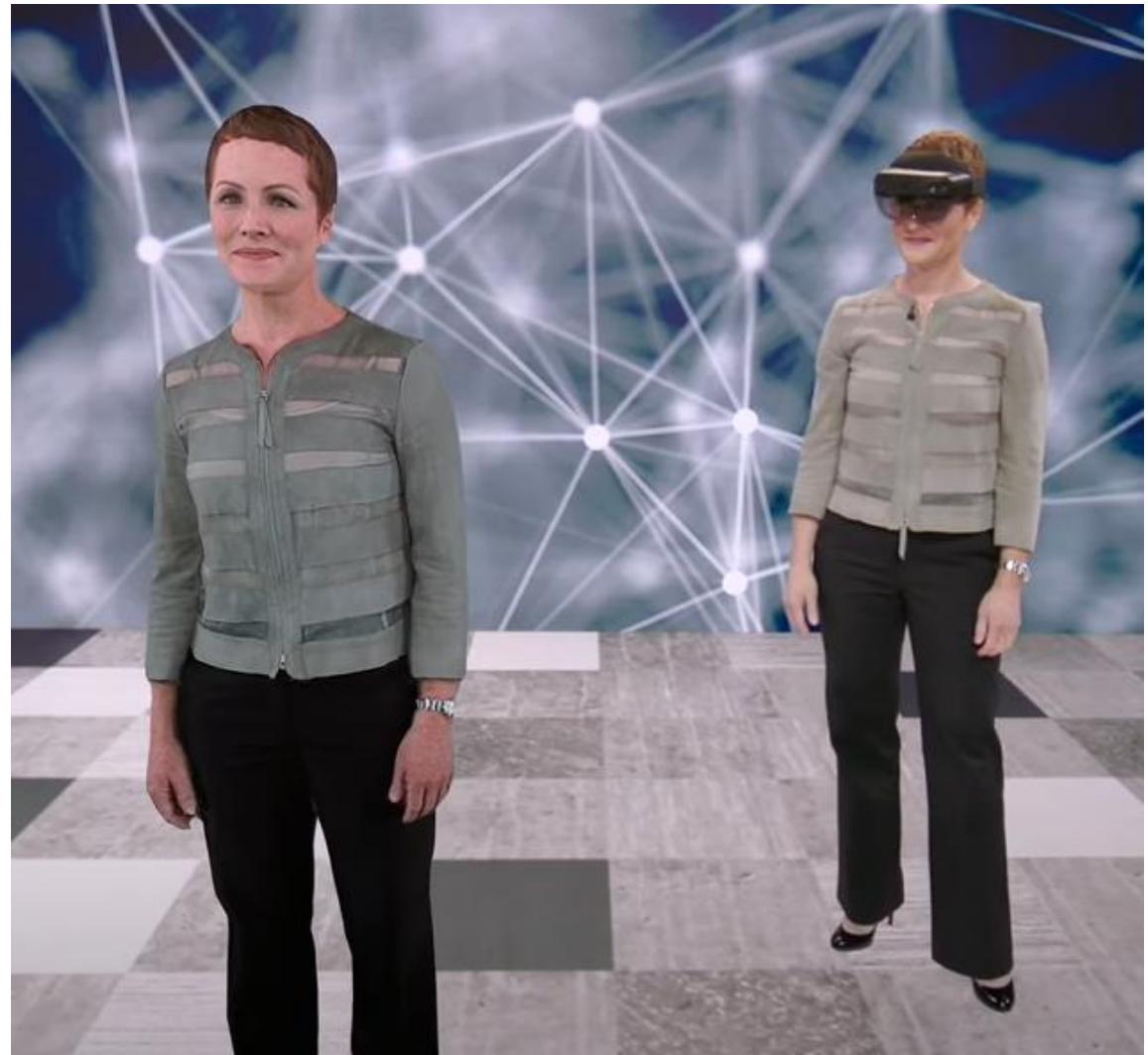


Urgen, B. A., Kutas, M., & Saygin, A. P. (2018). Uncanny valley as a window into predictive processing in the social brain. *Neuropsychologia*, 114, 181–185.

Primjene virtualnih ljudi

- Filmove, TV, igre
- Ergonomija
- Komunikacije
 - Marketing
 - Osobne poruke/zabava
 - Broadcasting (npr. vijesti)
 - Servisi, prodaja, podrška korisnicima...
- Učenje
 - Podučavanje djece s teškoćama
 - Trening, korporativna komunikacija
- Utjelovljeni razgovorni agenti
 - Korisnik razgovara s računalom

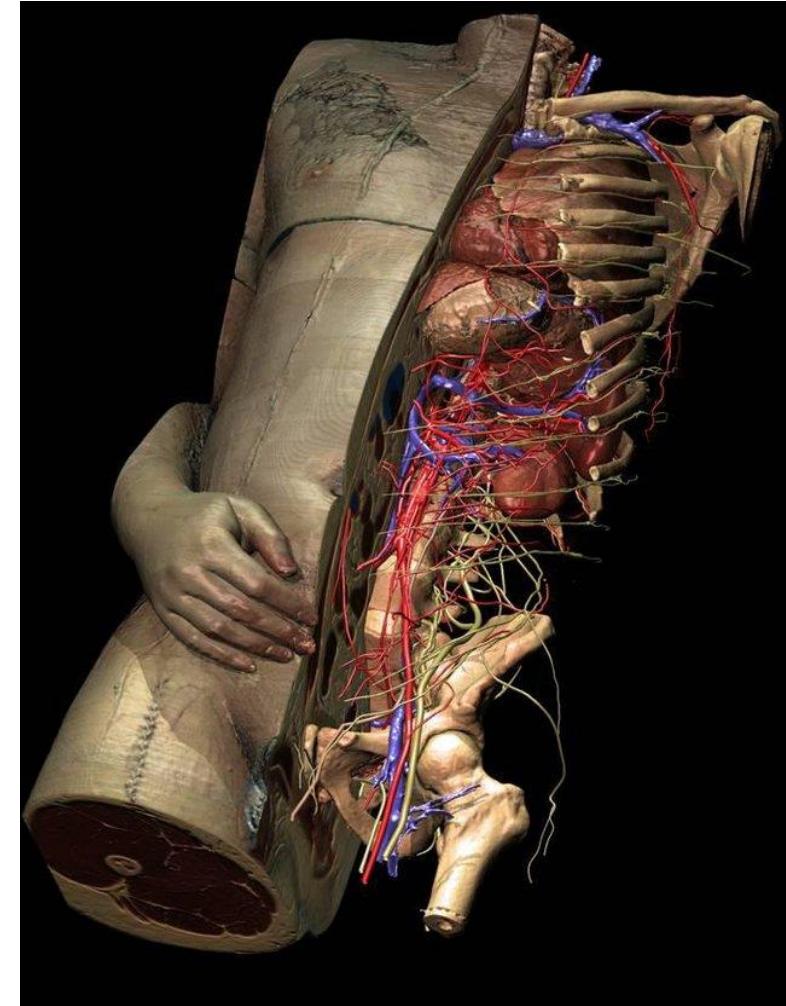
Microsoftova implementacija virtualnog prevodioca korištenjem tehnologija umjetne inteligencije i volumetrijskog prikaza



[\[originalni video\]](#)

3D model

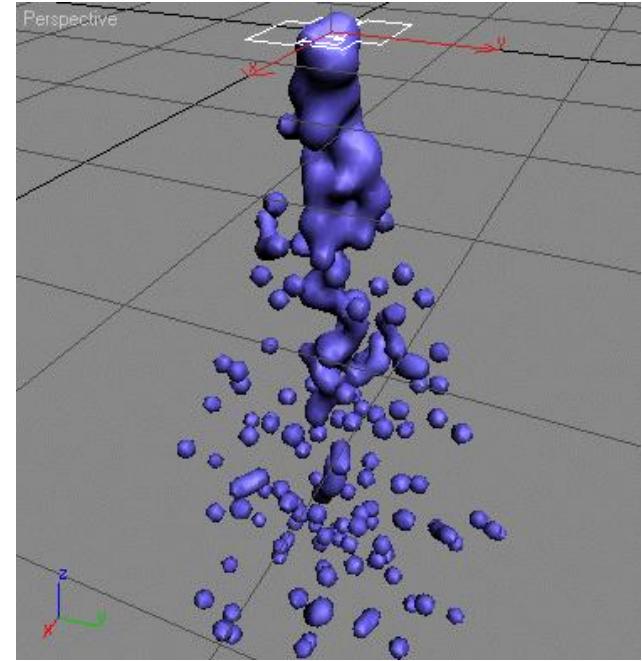
- Služi za definiciju oblika i izgleda
- Ljudsko tijelo je izuzetno složeno
 - Kosti, mišići, živci, žile, žljezde, masno tkivo, vezivno tkivo, koža...
- Za sada ne postoji jedinstveni i potpuni model
- Zahtjevi na model ovise o primjeni
 - Medicinske primjene zahtijevaju visoku preciznost i razinu detalja
 - U animaciji se mogu koristiti aproksimacije
- Pri modeliranju treba voditi računa o animaciji
 - Mogućnost otvaranja usta, okretanja očiju itd.



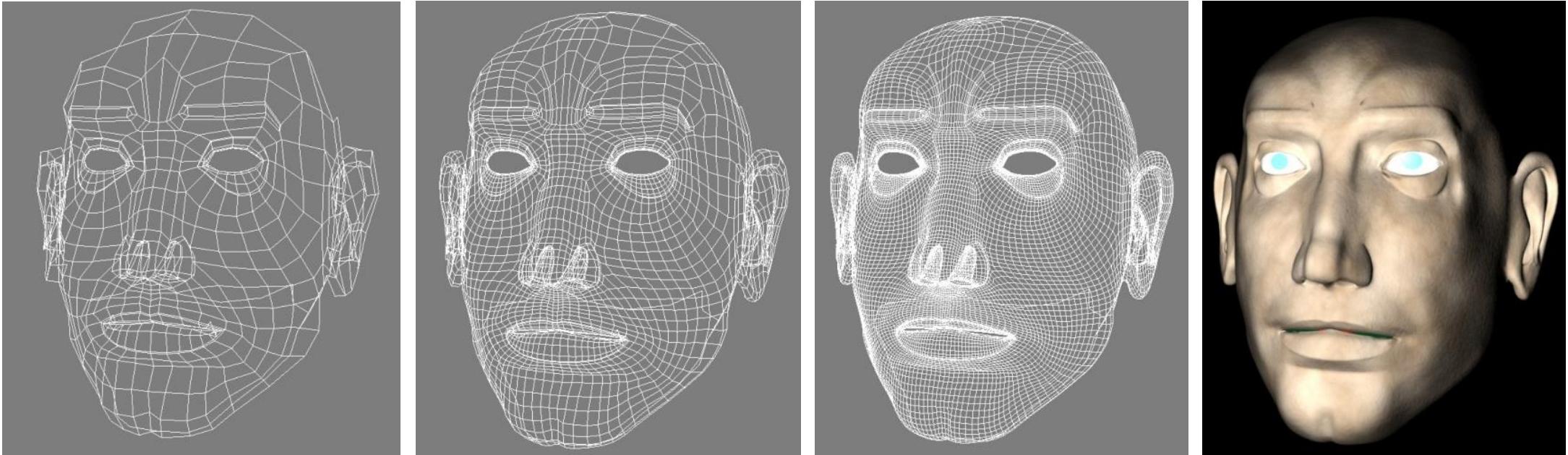
Hacker, Silke, and Heinz Handels. "Representation and visualization of variability in a 3D anatomical atlas using the kidney as an example." Medical Imaging 2006: Visualization, Image-Guided Procedures, and Display. Vol. 6141. International Society for Optics and Photonics, 2006.

Parametarske plohe

- Stapajuće plohe: mekani predmeti, „metaballs”
 - Računski zahtjevne, složena manipulacija
 - Ponekad u uporabi za modele tijela jer mogu dobro prikazati zaobljenost tijela
- Splines, pogotovo NURBS
 - Dobro izražavaju glatke, zaobljene površine
 - Relativno jednostavno modeliranje i manipulacija
 - Danas se primarno koriste za modeliranje objekata s tvrdim površinama, a ne za modeliranje likova



Razdjelne plohe



- Omogućuju jednostavnu kontrolu glatkoće dijelova modela
- Kontroliranjem je moguće dobiti oštре ili glatke rubove dijelova modela

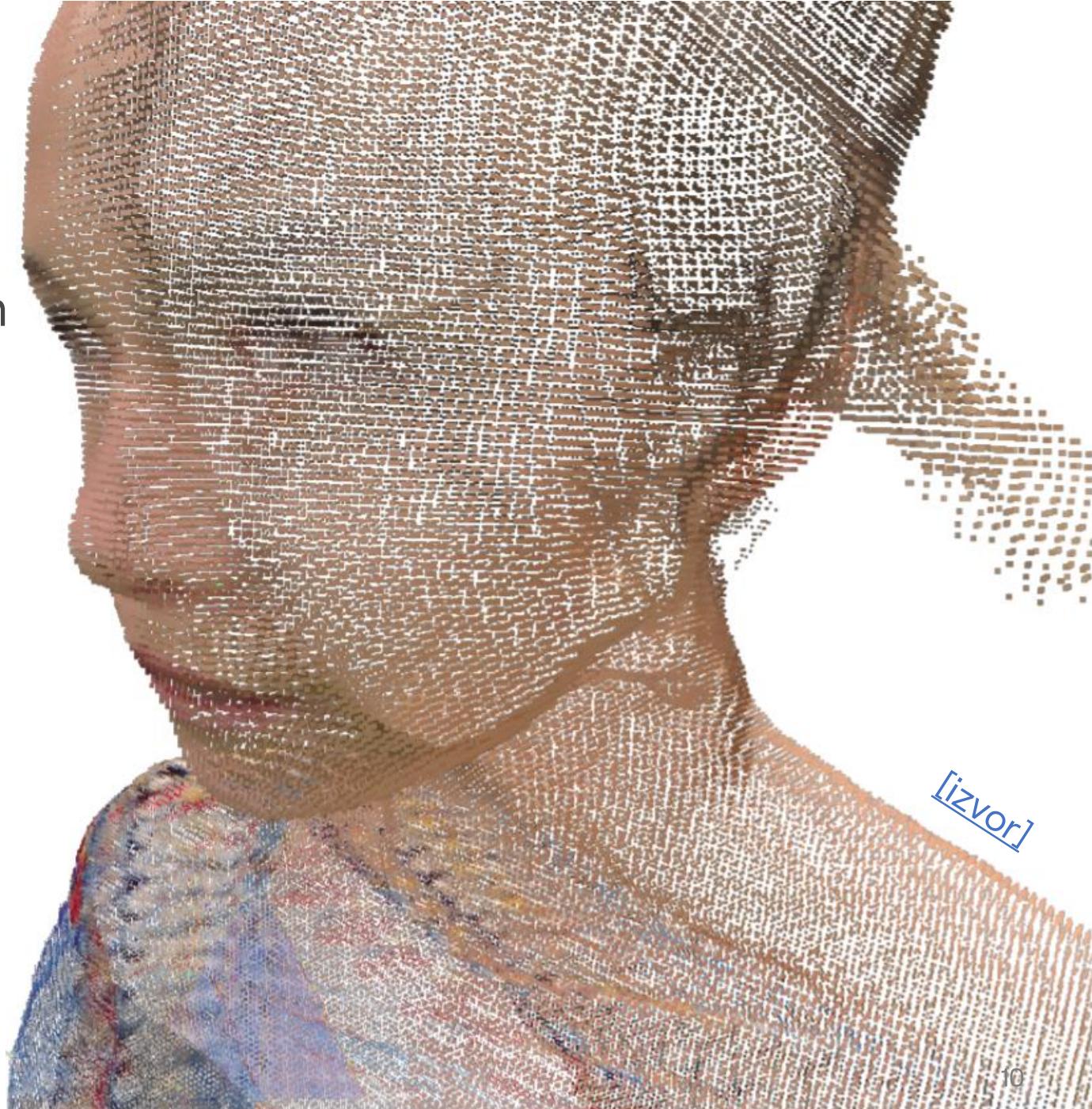
Mreže poligona

- Kao i u ostalim područjima grafike, tako i u modeliranju ljudskih likova, poligoni su izuzetno popularni zbog univerzalnosti
- Najzastupljenija vrsta prikaza
- Ogroman broj modela lica
- Za tijelo se koristi i graf scene koji definira hijerarhiju dijelova tijela



Oblaci točaka

- Skup točaka u trodimenzionalnom prostoru
- Točke su definirane svojim koordinatama, bez topoloških podataka
- Najčešće nastaju 3D skeniranjem
- Rekonstrukcija površine (engl. *surface reconstruction*)
 - Proces kojim se oblak točaka može pretvoriti u drugi format (npr. mreža poligona, NURBS)

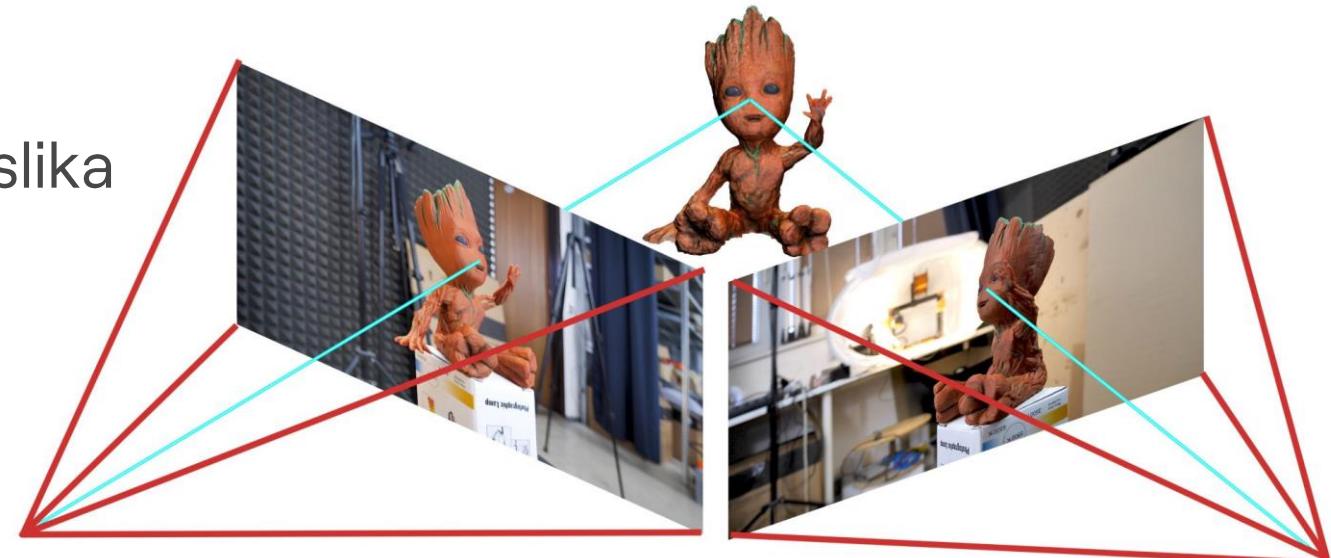


Modeliranje ljudskog lica

- Ručno digitaliziranje
- Fotogrametrija
- Lasersko skaniranje
- Ručna izrada
- Modifikacija postojećih modela

Fotogrametrija

- Razne metode dobivanja 3D oblika iz 2D slika
- Često se koriste dvije ortogonalne slike u kojima se identificiraju 3D točke i koordinate se zatim prenose na računalo
- Metode:
 - Poluautomatska obrada slika
 - Strukturirano svjetlo



[izvor]

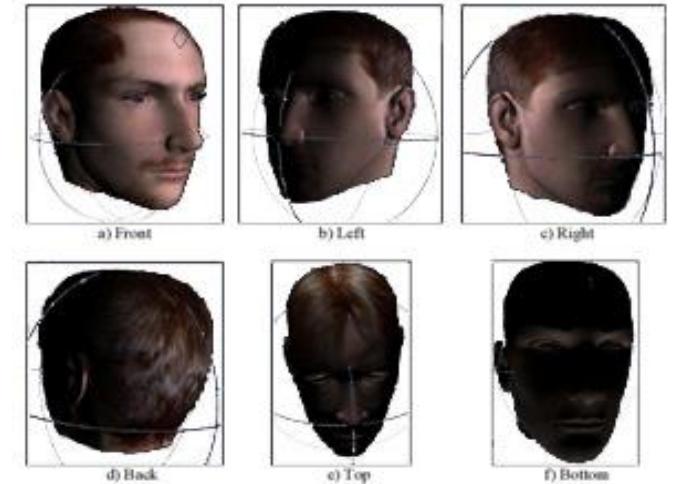
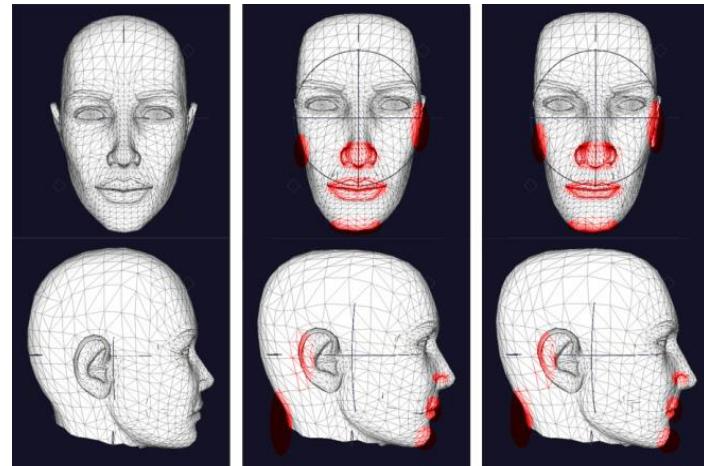
Fotogrametrija

- Za potrebe igara i filmova osobe i predmeti snimaju se u posebnim fotogrametrijskim studijima koji sadrže velik broj (nekoliko desetaka ili čak više od stotinu) sinkroniziranih kamera, postavljenih u pravilnim razmacima oko snimanog objekta



Poluautomatska obrada slika

- Automatski ili ručno se biraju karakteristične točke na licu
- Točke se prenose na univerzalni model lica koji se time deformira; dodaje se tekstura



Automatske korespondencije

- Prepoznatljivi uzorci se identificiraju u 2 ili više slika (ili videozapisu) i koriste za korespondenciju



Strukturirana svjetlost

- Projektor projicira na predmet
- Iz svake crte dobija se krivulja koja predstavlja profil
- Iz krivulja se određuje reljef predmeta
- Mnoge suvremene dubinske kamere (iPhone X) umjesto crta na objekt projiciraju unikatni uzorak točkica, ali u infracrvenom spektru kako ne bi bile vidljive golim okom



[izvor]

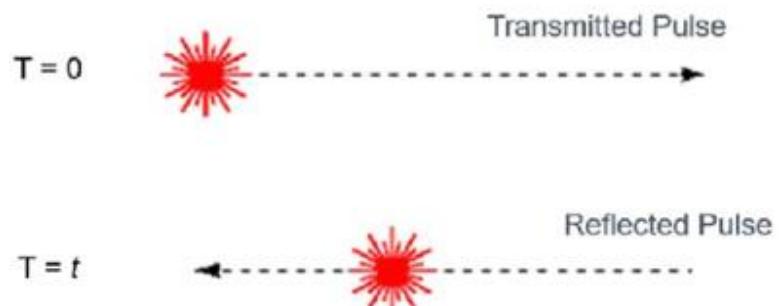
Lasersko skeniranje

- Pojavljuje se ranih 90tih (tvrtka Cyberware)
- Danas vrlo velik izbor uređaja, od ručnih skenera do skenerskih kabina i daljinskih skenera za velike objekte
- Vrlo gusti i detaljni podaci (dubina i boja)

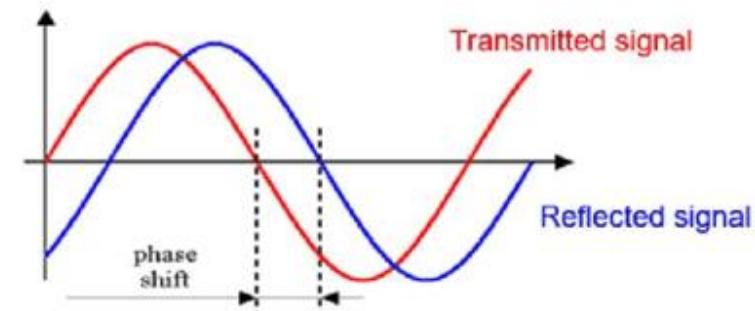


Lasersko skeniranje – tehnologije

- **Time-of-flight (ToF):** određivanje udaljenosti između senzora i objekta mjeranjem vremena koje je proteklo između odašiljanja laserskog signala i njegovog povratka na senzor nakon što se odbio od snimanog objekta
- **Phase-shift:** određivanje udaljenosti između senzora i objekta na temelju faznog pomaka između odaslanog i reflektiranog signala



Time-of-flight



Phase-shift

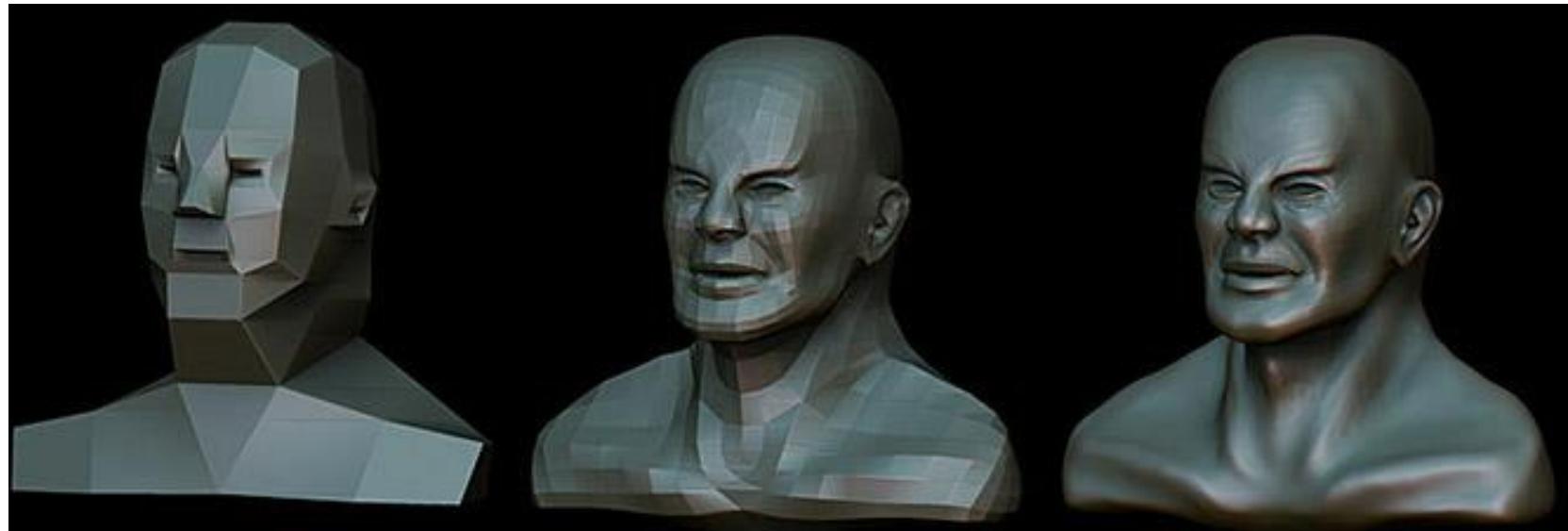
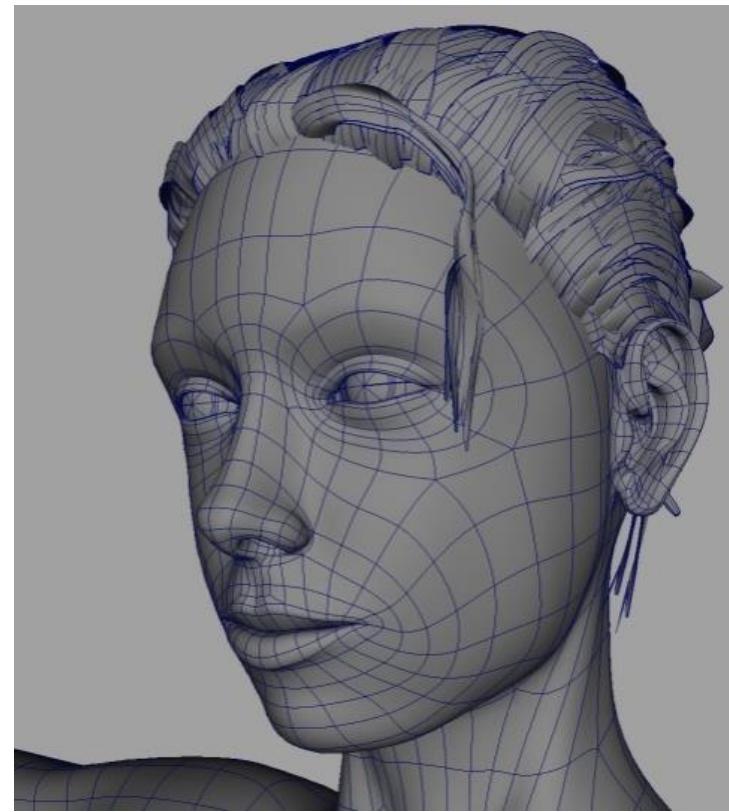
Lasersko skeniranje

- Disperzija (npr. na kosi) i prekrivenost
 - Dio točaka nedostaje
 - Rješava se interpolacijom
- Oscilacije dobivene površene
 - Potrebno je izglađivanje filtriranjem
- Loši podaci na polovima
- Mrežu točaka je potrebno optimizirati



Ručna izrada

- Najraširenija metoda
 - Najčešće se koriste mreže poligona
 - Slažu se jednostavni oblici
 - Modeliranje postepenim rafiniranjem

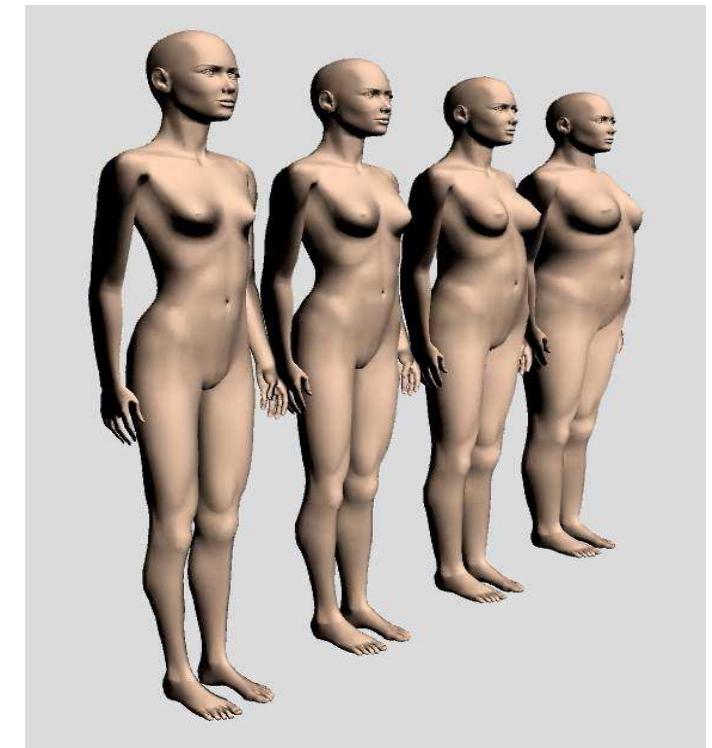
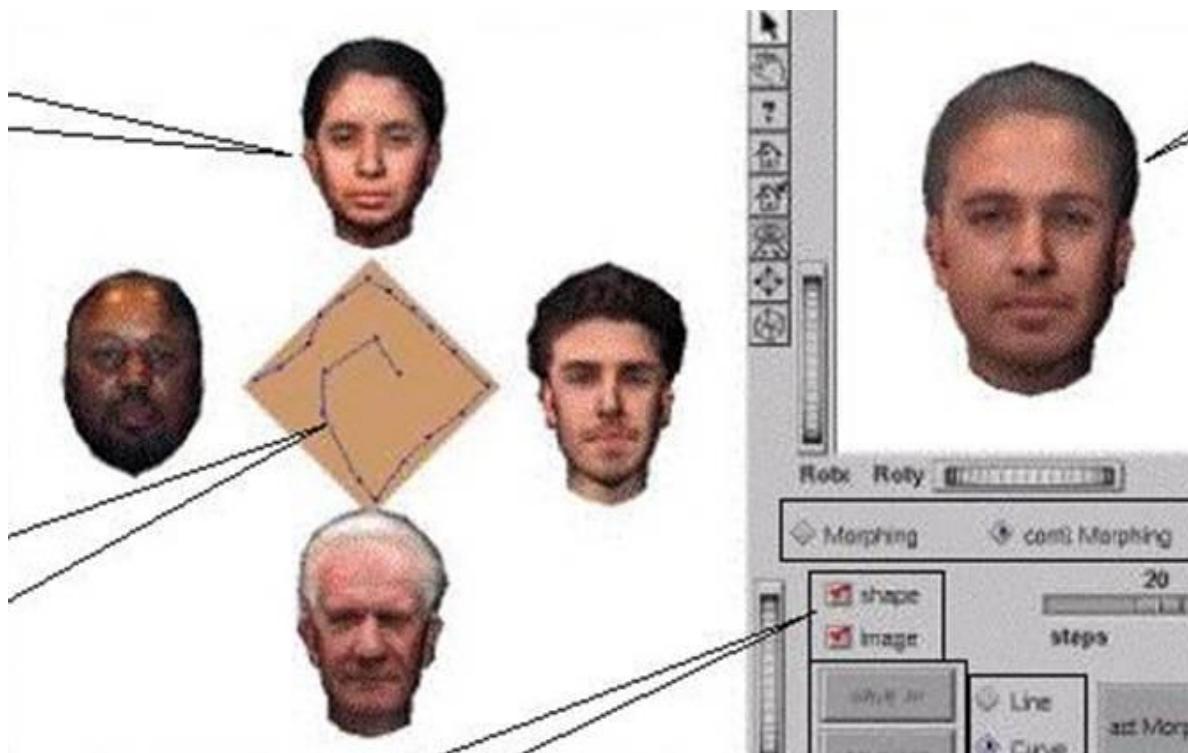


Modifikacija postojećih modela

- Interpolacija
- Deformacija univerzalnog modela
- Lokalne deformacije
- Statistički modeli populacije

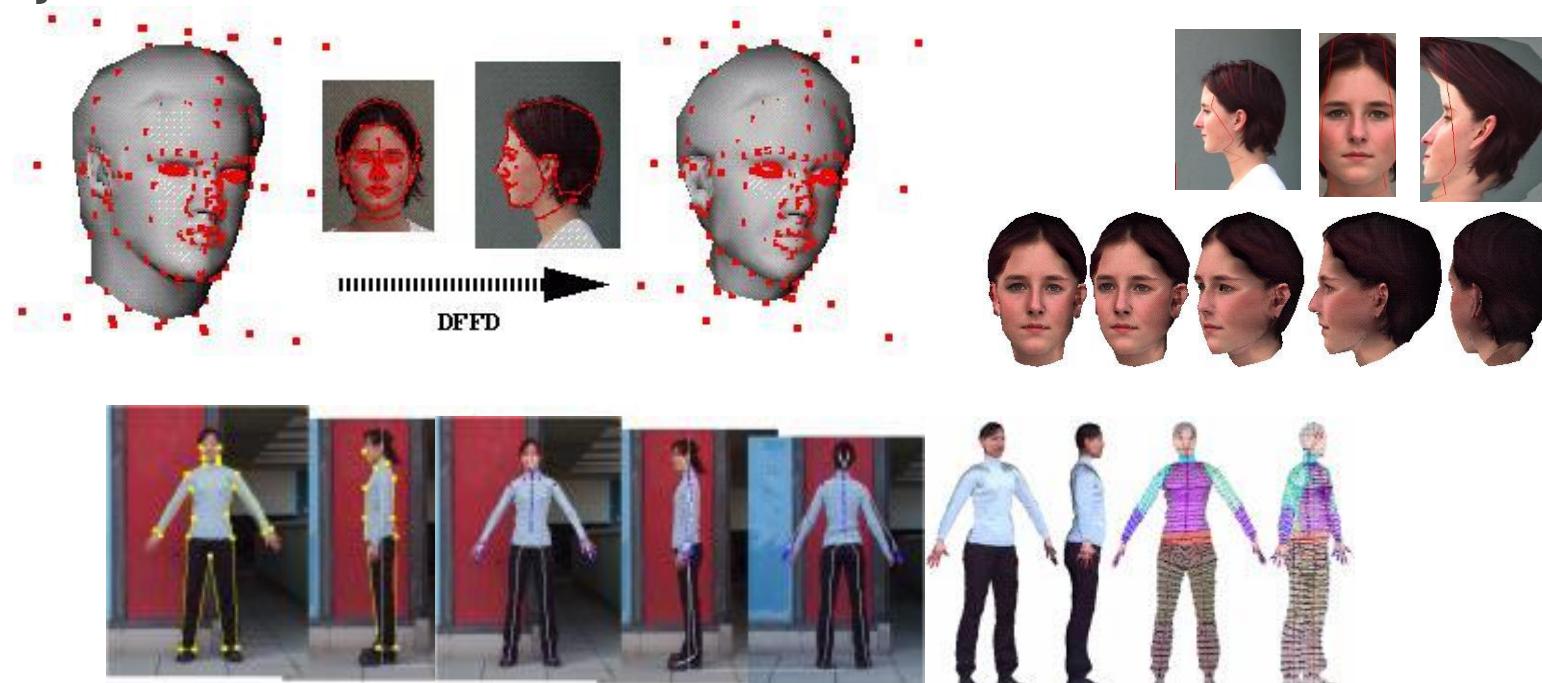
Interpolacija

- Potrebna je jednaka topologija modela



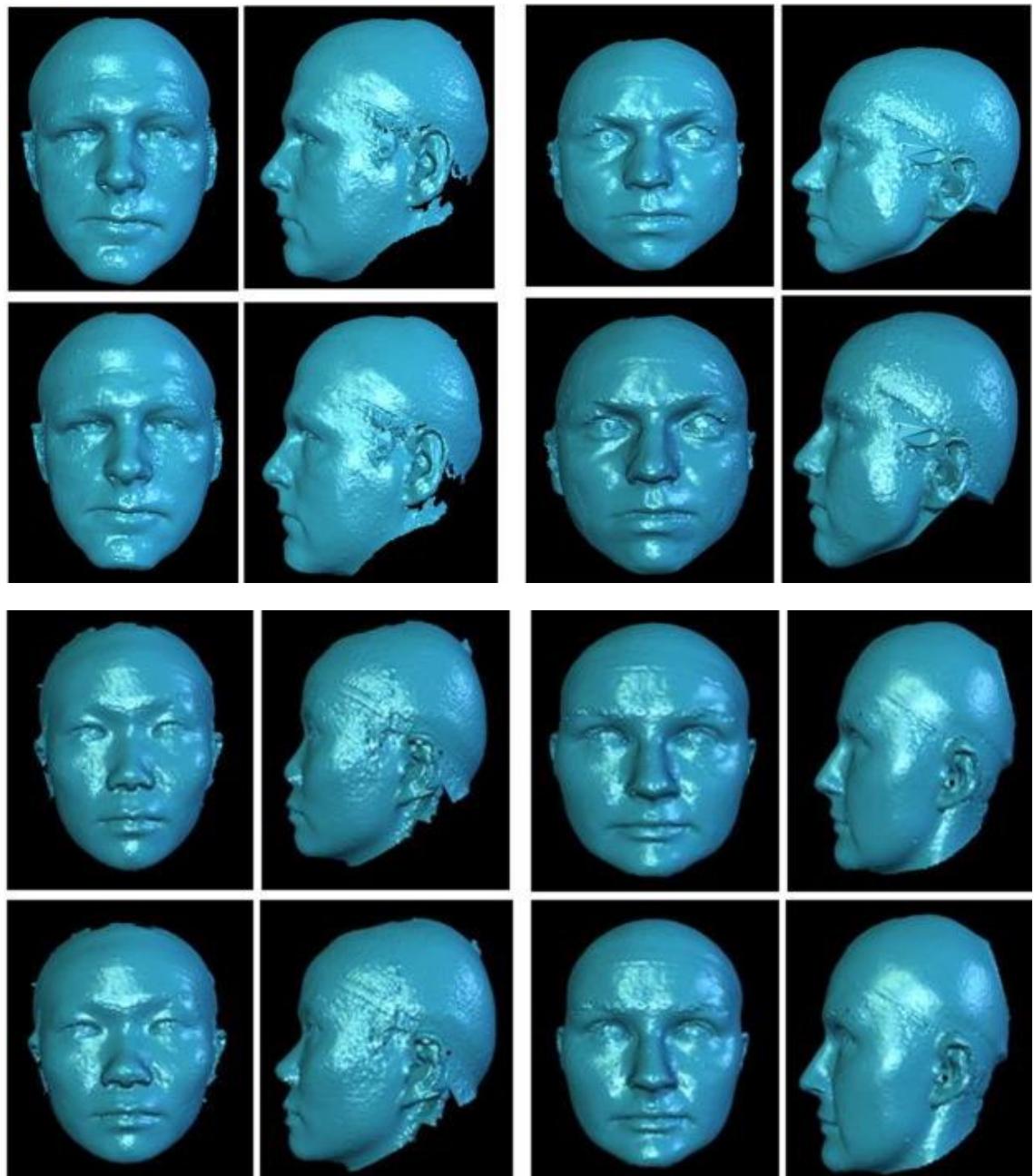
Deformacija univerzalnog modela

- Univerzalni model je relativno neutralno lice sa definiranim karakterističkim točkama
- Deformacija prema predlošku, tekstura
- Univerzalni model sadrži funkcionalni model: novi model je odmah spremam za animaciju



Lokalne deformacije

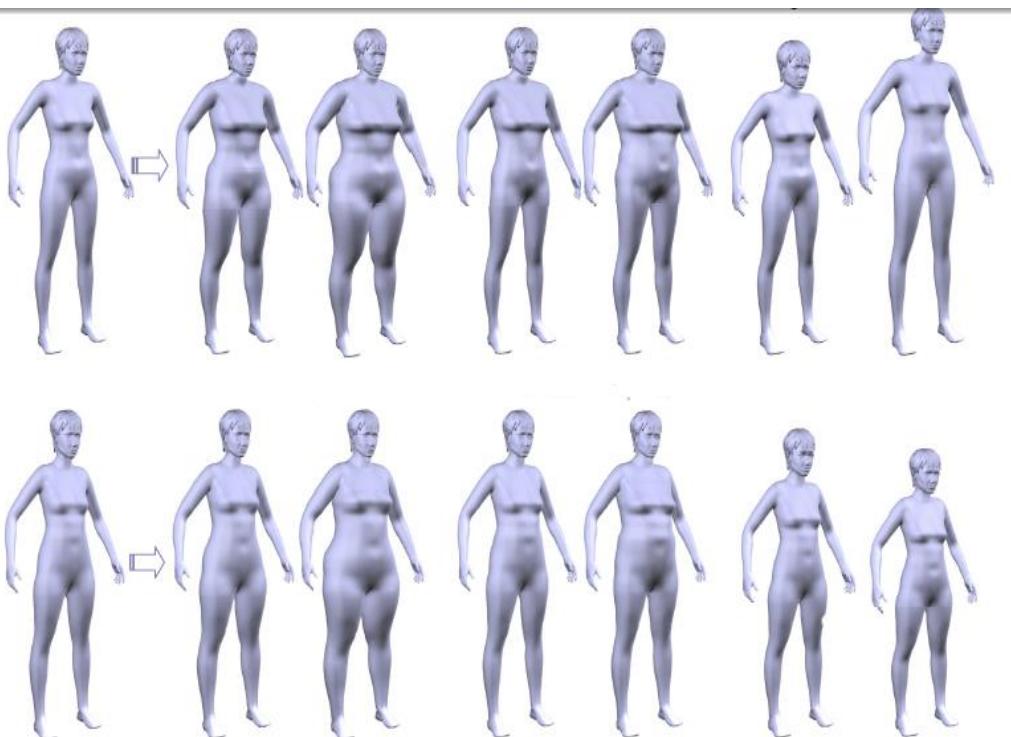
- Selekcija i deformiranje dijela modela
- Koristi se pri ručnom modeliraju
- Razne metode
- Primjer: Free form deformations



Arsalane, Zaghili, Majda Aicha, and Oufkir Ayat Allah. "3D facial attractiveness enhancement using free form deformation." Journal of King Saud University- Computer and Information Sciences (2020)..

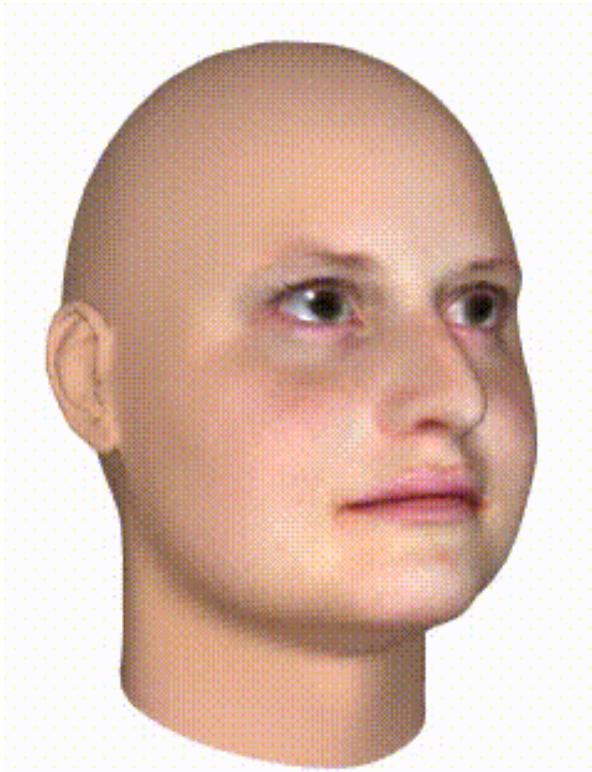
Statistički modeli populacije

- Počevši od manjeg broja postojećih lica, varijacijom parametara lica dobiva se čitava populacija



Integrirani alati

- Današnji komercijalni alati koji su dostupni na tržištu objedinjuju predložene metode kako bi se na što lakši način omogućilo modeliranje virtualnih likova



FaceGen

Easily create realistic 3D human faces

[\[izvor\]](#)

Deepfakes

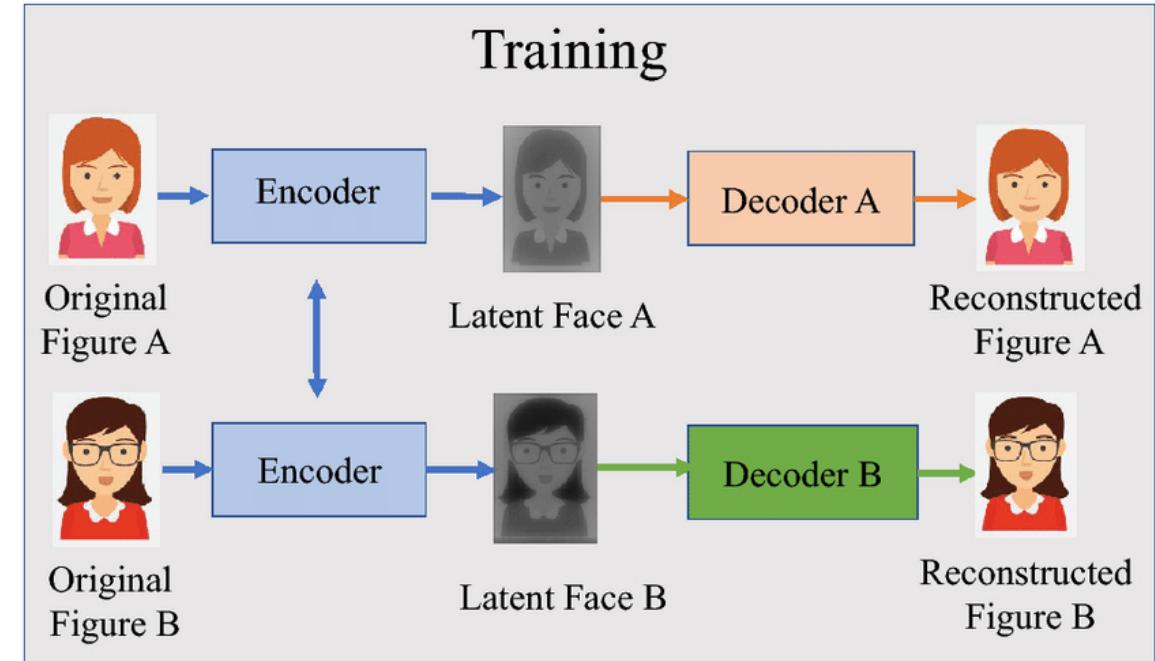
- Naziv *deepfake* je kombinacija pojmoveva *deep learning* (duboko učenje) i *fake* (lažno)
- Sintetizirani prikazi koji se najčešće sastoje od lica jedne osobe „zalijepljenog“ preko lica druge osobe
 - pravi *deepfake* podrazumijeva korištenje metoda strojnog učenja



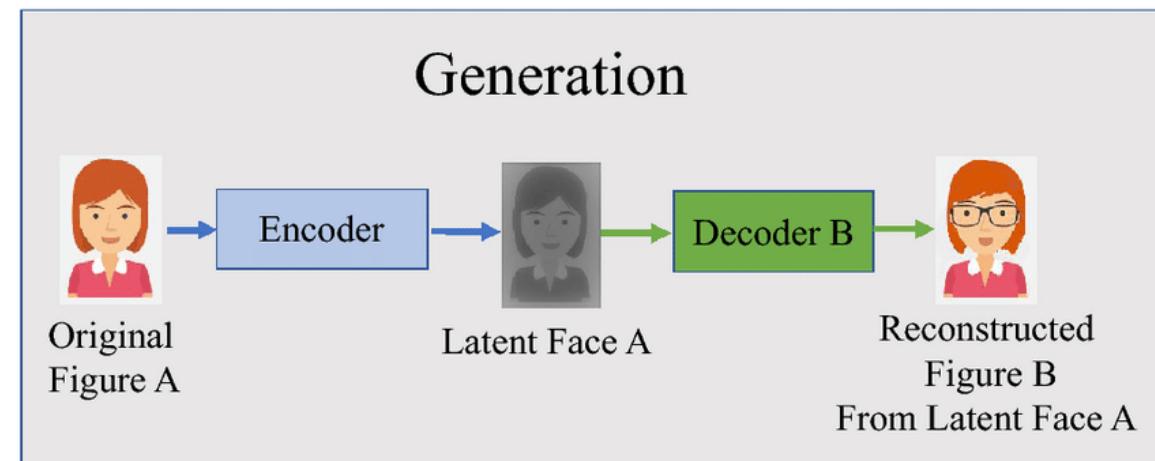
Deepfakes

■ Proces kreiranja deepfake sadržaja: treniranje i generiranje

- Treniranje neuronske mreže na stvarnim snimkama osoba kako bi se postiglo razumijevanje toga kako one izgledaju iz različitih kutova i u različitim uvjetima osvjetljenja
- Isti enkoder koristi se za obje osobe, na temelju čega nastaju „latentna lica”, zasnovana na specifičnim značajkama
- Pri generiranju deepfakea latentno lice osobe A ulazi na dekoder B



(a) Training Phase



(b) Generation Phase

Deepfakes



- Problemi s *deepfake* prikazima

- Mogu biti vrlo realistični
- Zbog dostupnosti potrebne tehnologije, može ih kreirati bilo tko
- Ovaj se princip može iskoristiti i za iznimno realistične sintetizirane glasove
- Problemi: krađa identiteta, lažni dokazi, širenje lažnih vijesti, pornografija...
- Kako prepoznati *deepfake*?
 - Postoji li razlika u osvjetljenju, manji broj detalja na određenim dijelovima lica, promotriti odraze u naočalama, podudaranje naušnica...
 - *watermark* i *block chain* tehnologija kao potencijalna rješenja za detekciju sintetiziranog sadržaja

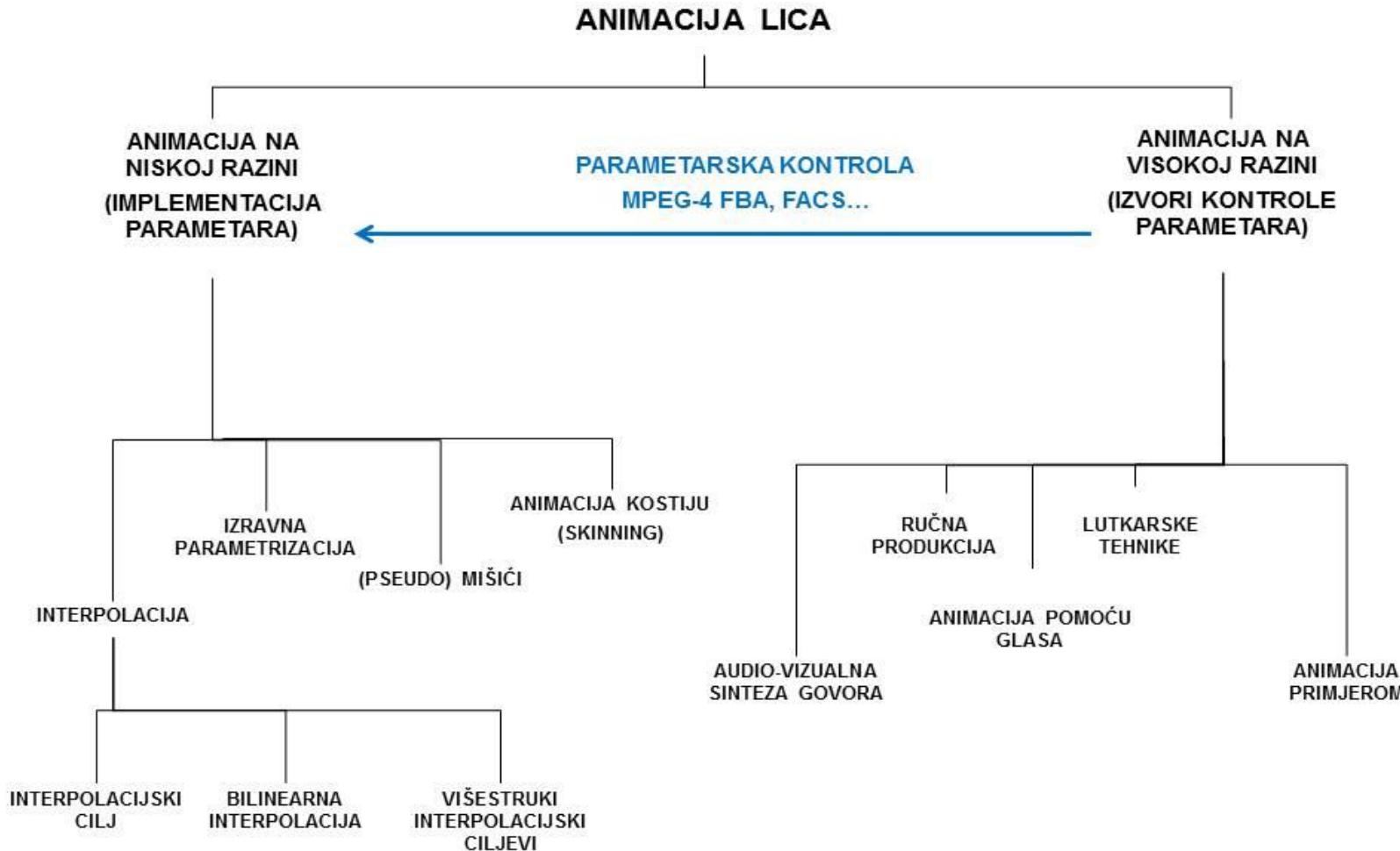
Animacija

- 3D model je potrebno pripremiti za animaciju
 - Definira se skup parametara koji deformira model, npr. za tijelo se koristi model kostura čije se gibanje prenosi na površinu modela
- Područja animacije virtualnih ljudi u predavanju
 - Animacija lica
 - Animacija tijela
 - Animacija odjeće
 - Animacija kose

Animacija lica

- Izuzetno složena struktura kostiju, mišića i tkiva
- Animacija lica se dijeli na dva područja
- Animacija na niskoj razini
 - Parametrizacija pokreta lica
 - Algoritmi za pomicanje geometrije lica (otvaranje usta, dizanje obrva, itd.)
 - Bitno je stvoriti dobar set parametara za animaciju
- Animacija na visokoj razini
 - Stvaranje animacijske sekvence
 - Vremenski slijed animacijskih parametara niske razine stvara potpunu animacijsku sekvencu

Animacija lica



Animacija lica na niskoj razini

- Razni načini implementacije skupa parametara koji pomiču lice
 - Treba odabratи smislen skup parametara
 - Za svaki parametar, pomak dijela lica
 - Miješanje parametara može biti problem
- Metode
 - Interpolacija
 - Direktna parametrizacija
 - Pseudo-mišići
 - Simulacija mišića

Interpolacija

- Najjednostavnija i najviše korištena metoda
- Iz zadanih krajnjih položaja lica interpolacijom položaja se stvaraju novi položaji
 - Krajnji položaj = interpolacijski cilj



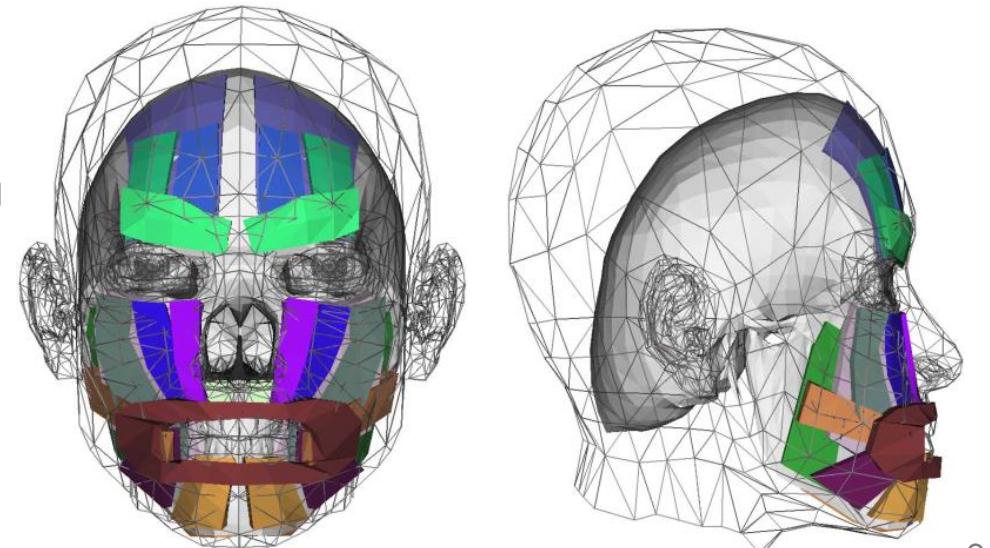
Interpolacija

- Interpolacijski ciljevi se pripremaju ručno ili automatski
- Bilinearna interpolacija: dobivanje novih međupoložaja uzimanjem središnjih vrijednosti više interpolacijskih ciljeva
- Težinsko kombiniranje više ciljeva može rezultirati nepravilnostima



Ostale metode

- Izravna parametrizacija: matematički modeli koji oponašaju stvarne pokrete lica, no bez modeliranja biomehanike lica
- Pseudo-mišići
 - Definicija pojedinih područja lica (usta, oči, obrve, itd.) koja se pokreću odgovarajućim parametrima
- Animacija kostiju (skinning)
 - Simulirane „kosti“ se spajaju s modelom

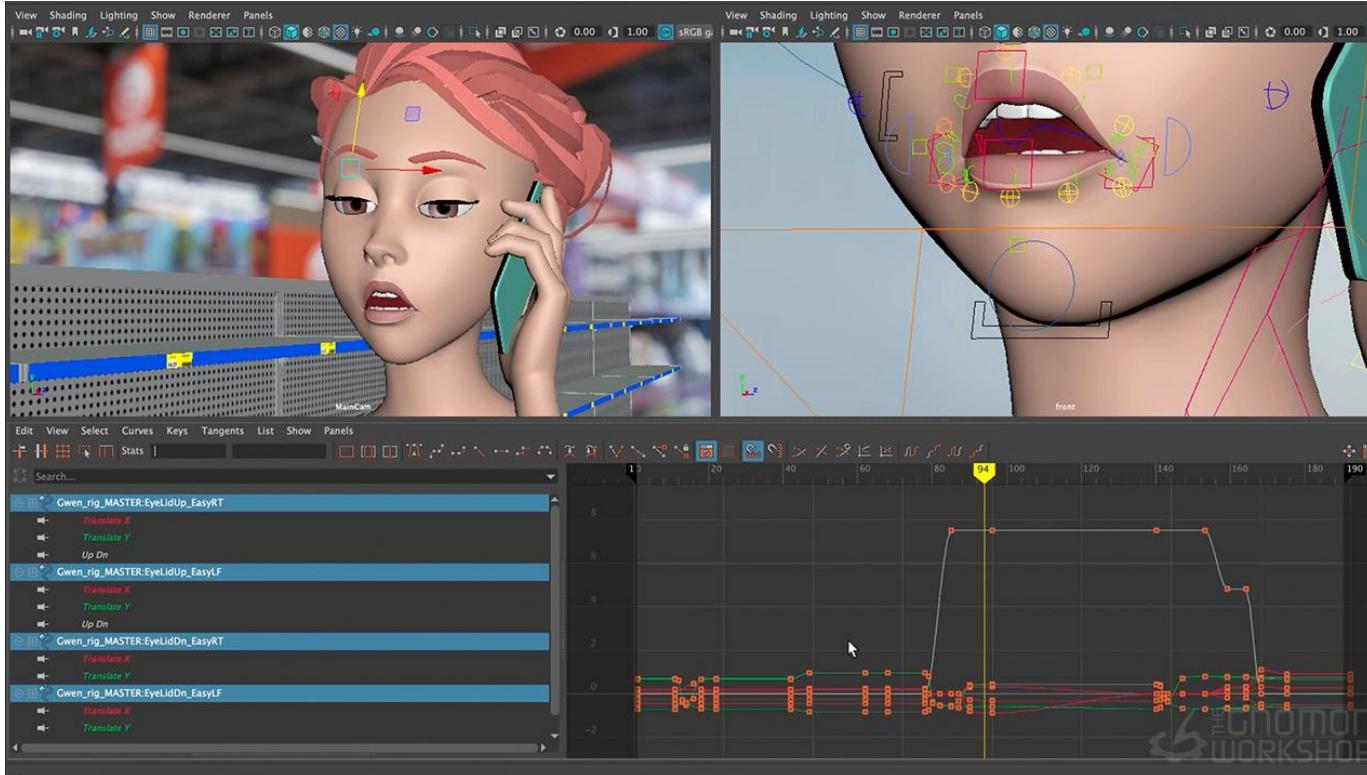


Animacija lica na visokoj razini

- Izvori slijedova animacijskih parametara
 - Ručna produkcija
 - Animacija iz teksta
 - Animacija pomoću glasa
 - Lutkarske tehnike
 - Animacija primjerom

Ručna produkcija

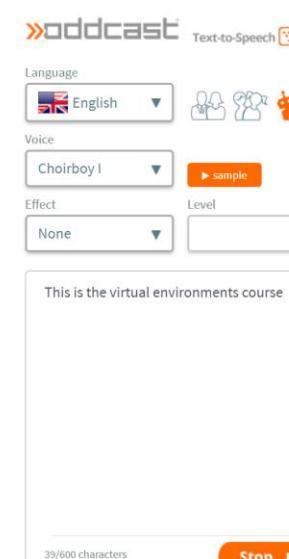
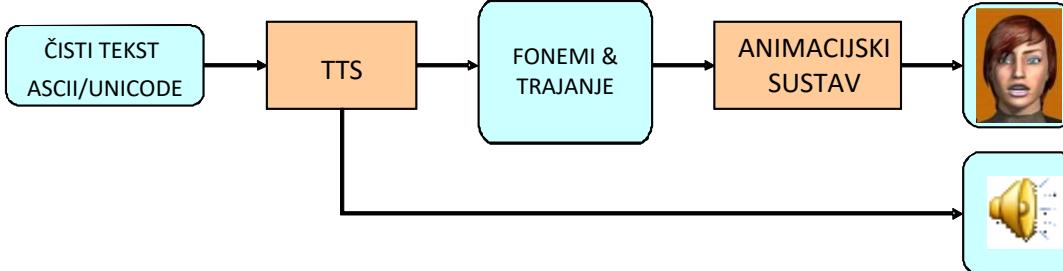
- Najprimitivniji način, najviše vremena
- Vrlo efektivna metoda za završno dotjerivanje



[izvor]

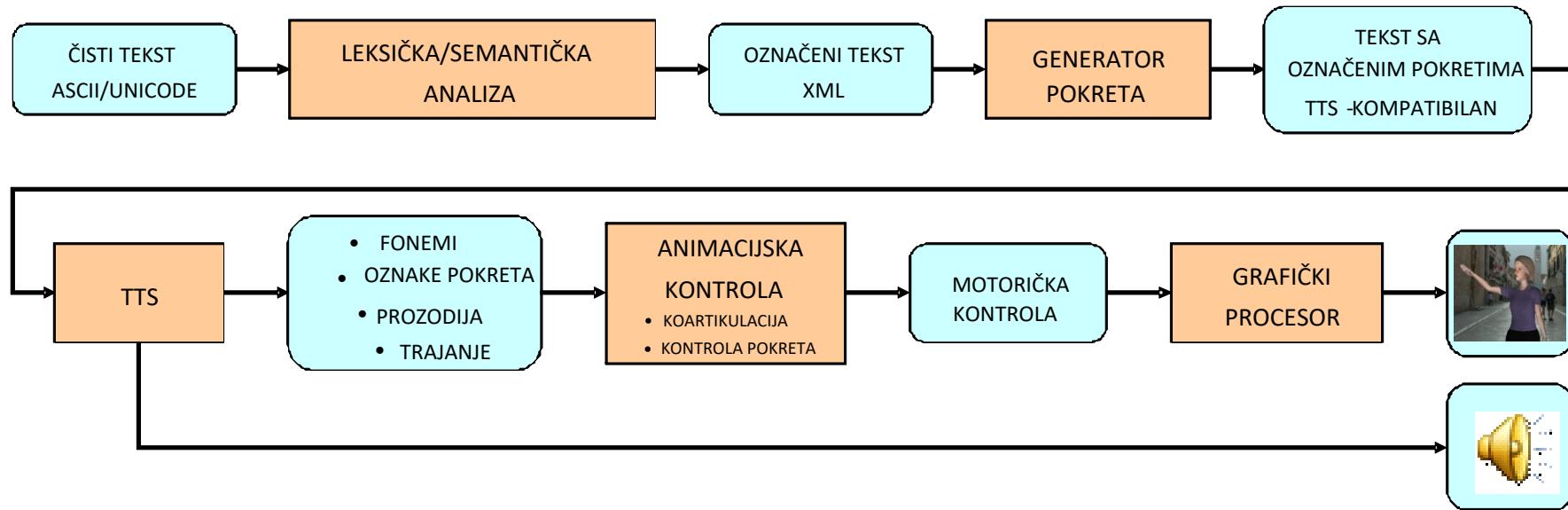
Audio-vizualna sinteza govora

- Primjer: [link](#)
- Automatska animacija dobivena iz teksta
 - Uz govor, često se animiraju geste lica
- Vizualna sinteza govora (VTTS)
 - Na bazi vremena fonema, uz sintetički govor generira se i animacija usana



Audio-vizualna sinteza govora

- Potpuna audio-vizualna sinteza
 - Pristup temeljen na pravilima
 - Pristup iz podataka

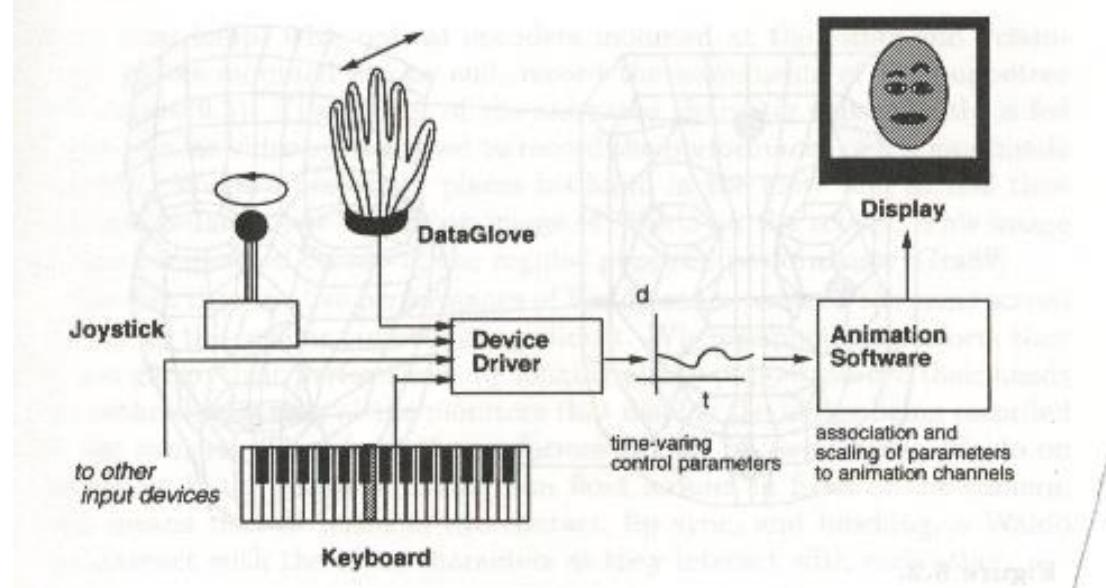


Animacija pomoću glasa

- Automatska sinkronizacija usana na postojeći glas (engl. lip sync)
- Zasniva se na analizi zvuka
- Primjeri metoda za sinkronizaciju
 - Jednostavno praćenje glasnoće
 - Uporaba metoda za prepoznavanje govora
 - Linearna predikcija

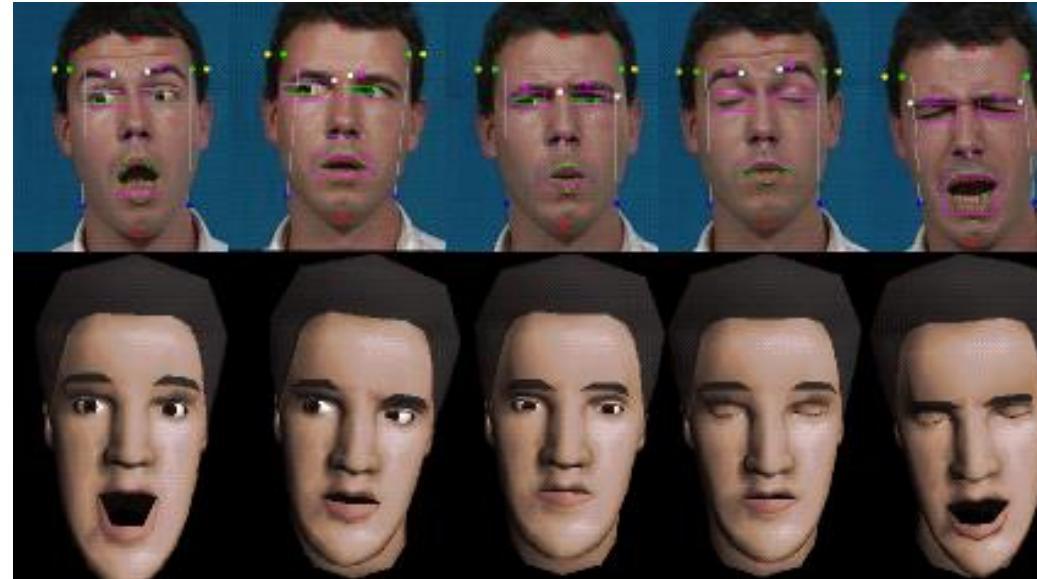
Lutkarske tehnike

- Klasično se koriste u produkciji filmova
 - Odgovarajućim uređajima lutkom se upravlja na daljinu (engl. *animatronics*)
- Umjesto upravljanja stvarnom lutkom, upravlja se licem na računalu



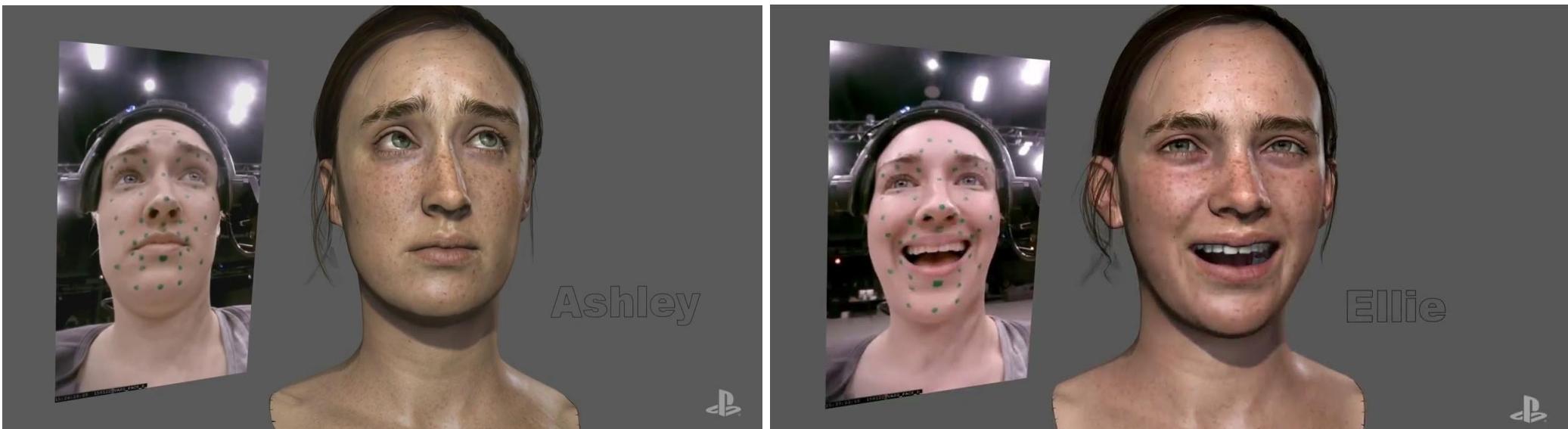
Animacija primjerom

- Pokreti lica glumca preslikavaju se direktno na virtualno lice
- Razne metode:
 - Slijedjenje pomoću markera
 - Slijedjenje iz čiste video slike



Slijedjenje s markerima

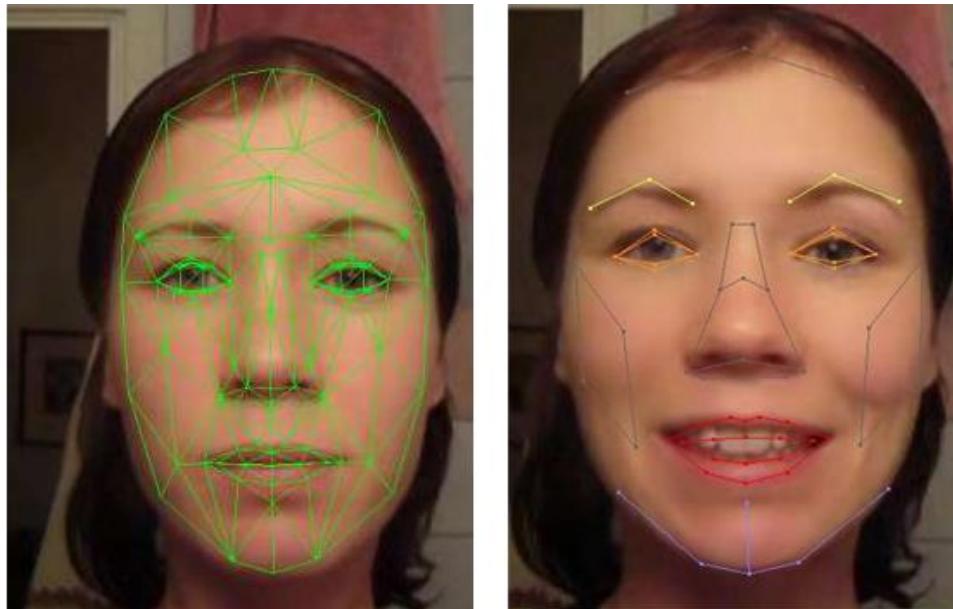
- Obično IR kamere, reflektivni markeri
- Skupo, osjetljivo, složena instalacija
- Rezultati često nisu u stvarnom vremenu
- Rezultati mogu biti vrlo visoke kvalitete



*The Last of Us: Part II - Slijedjenje lica pomoću markera
[izvorni video]*

Slijedeњe iz čiste video slike

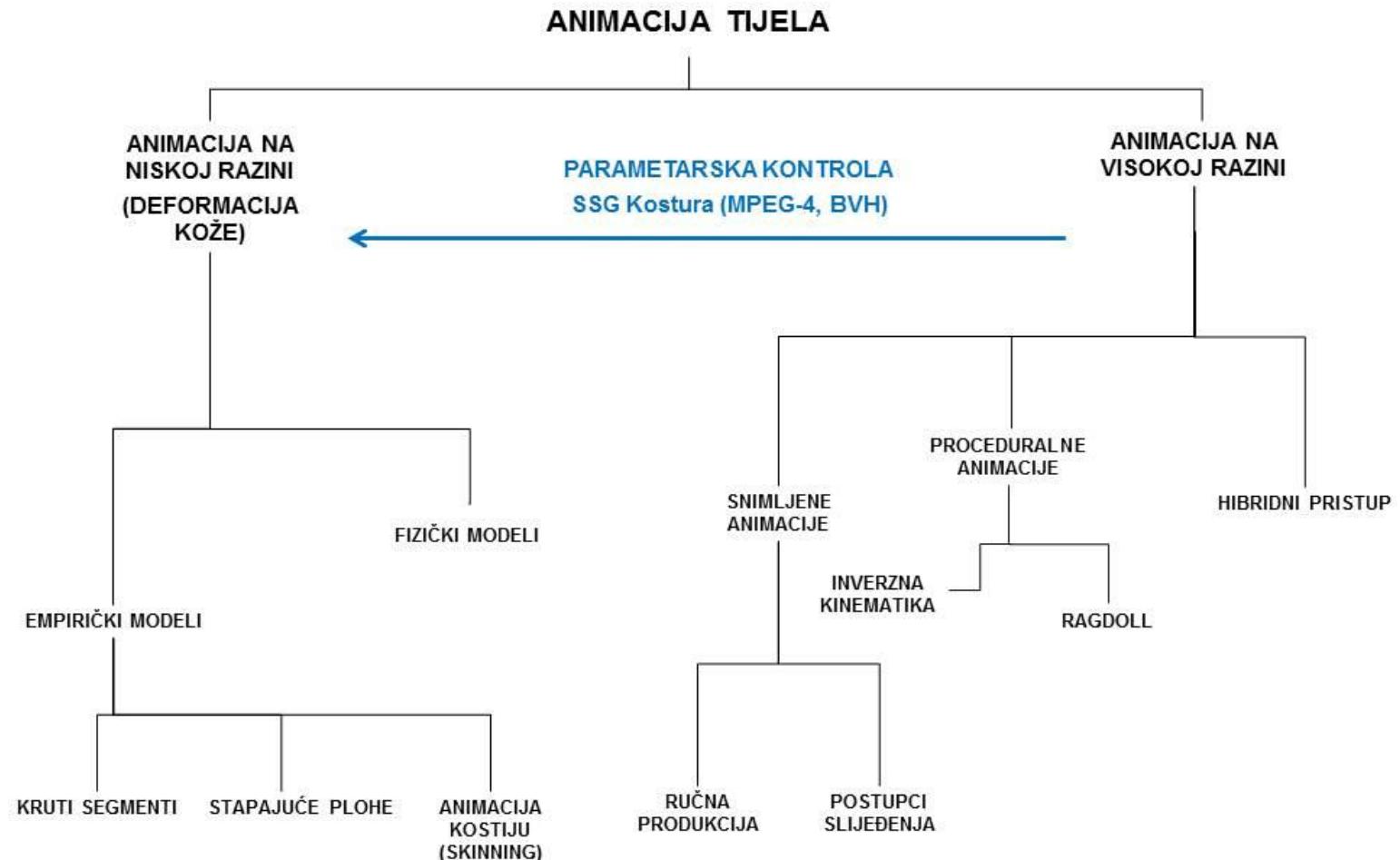
- Slijedeњe karakterističnih točaka lica (engl. *facial feature tracking*)
- Donedavno ideal, danas postoji vrlo dobri sustavi
- Osjetljivost na osvjetljenje, boju kože, bradu, naočale i slično



Animacija tijela

- Gotovo uvijek se zasniva na pojednostavljenom modelu kostura
- Animacija tijela na niskoj razini
 - Veza između kostiju i kože, parametri koji omogućuju pokretanje geometrije tijela
- Animacija tijela na visokoj razini
 - Stvaranje animacijske sekvence
 - Vremenski slijed animacijskih parametara niske razine stvara potpunu animacijsku sekvencu

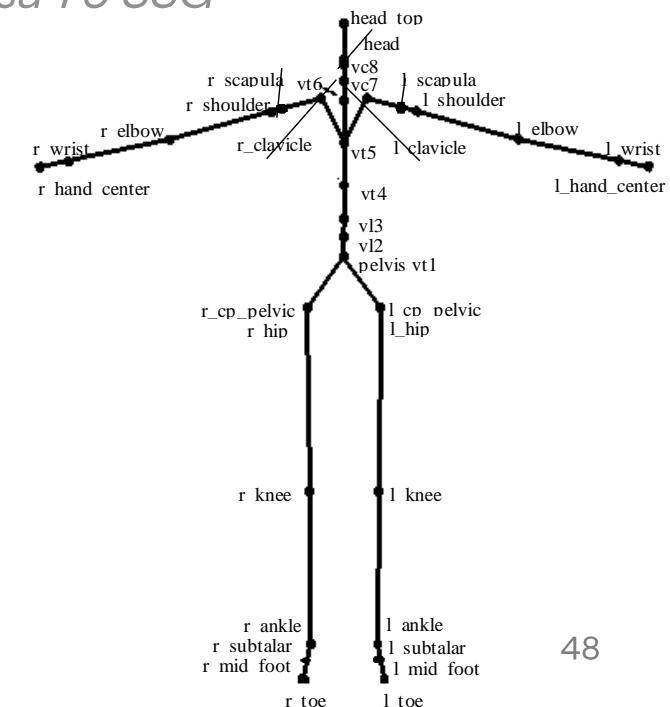
Animacija tijela



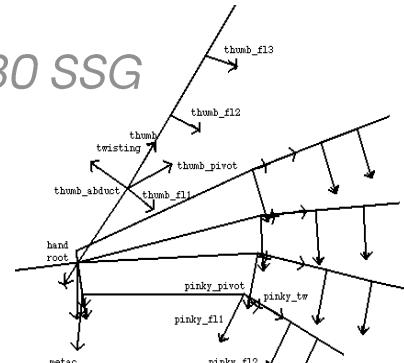
Kostur

- Kostur služi za upravljanje tijelom
- SSG == stupnjevi slobode gibanja
- Dobra aproksimacija anatomskega kostura: 75 SSG + 2x30 SSG za ruke; uglavnom rotacijski SSG
- Anatomski kostur ima daleko najviše SSG
- Često se koriste i grublje aproksimacije

Kostur sa 75 SSG



Kostur ruke sa 30 SSG



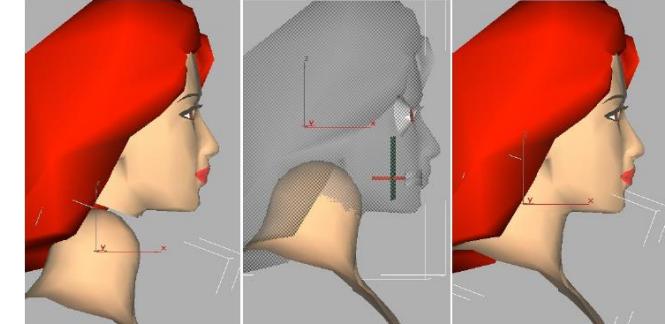
Animacija tijela na niskoj razini

- Tijelo nije kruto, nego se pri pokretu deformira na vrlo složen način
 - Interakcija kostiju, mišića, masnog tkiva, veznog tkiva, kože
 - Definirani su postupci kojima se pokreti kostura prenose na površinu 3D modela
- Metode
 - Empirički modeli
 - Metoda krutih segmenata
 - Slojeviti model
 - Animacija kostima (skinning)
 - Fizički modeli



[\[izvorni video\]](#)

Kruti segmenti i slojeviti modeli

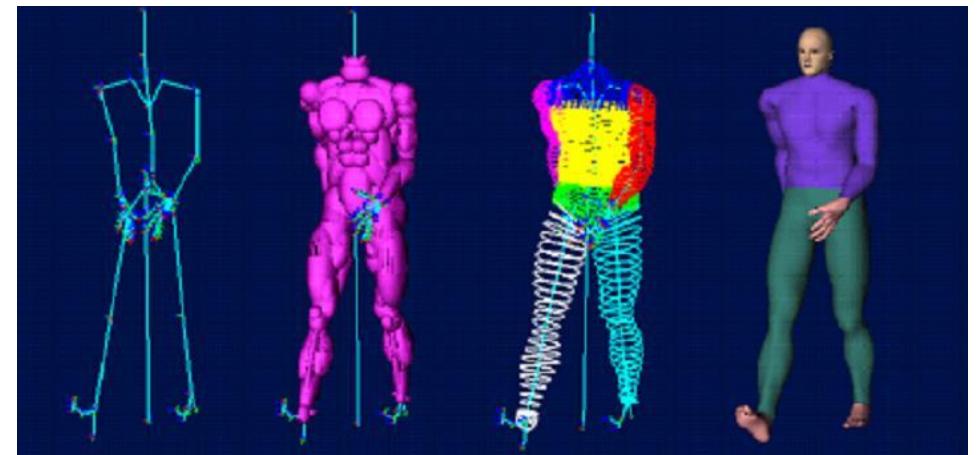


- Metode krutih segmenata

- Najjednostavniji pristup deformacije kože – segmenti tijela su kruti oblici spojeni na kosti
- Nedovoljno realistični rezultati
 - Rješavaju se pažljivim preklapanjem segmenata u zglobu

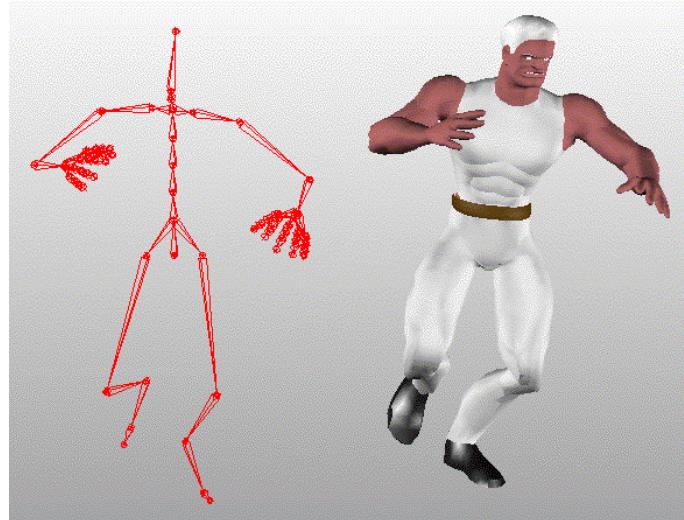
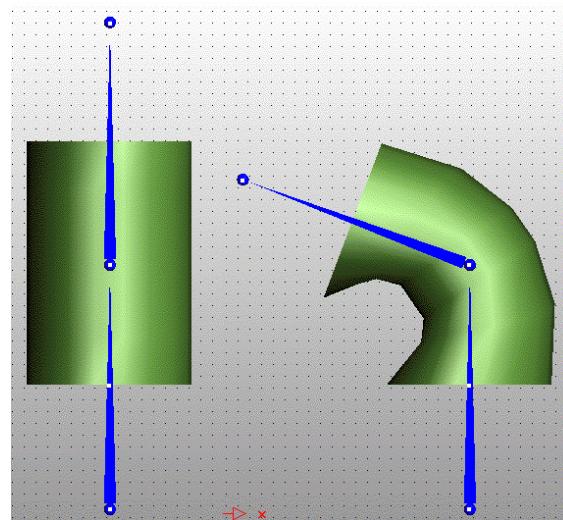
- Slojeviti model

- Simulacija slojeva između kostiju i kože
 - Npr. stapajuće plohe



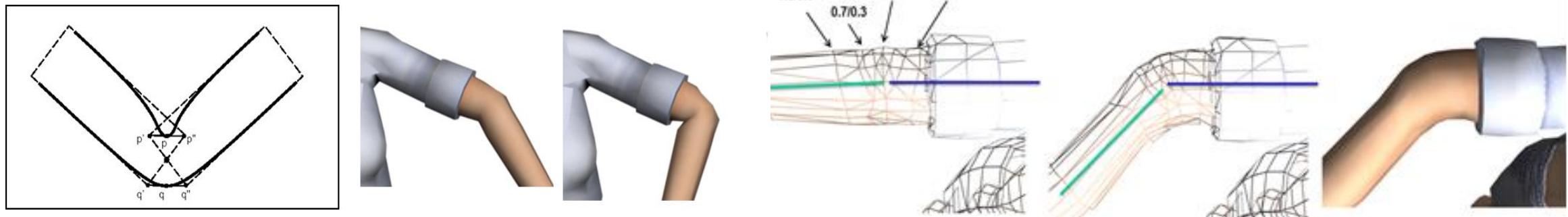
Animacija kostima (*skinning*)

- *Rigging* – proces kreiranja unutarnjeg digitalnog kostura za neku poligonalnu mrežu
- *Skinning* – proces vezanja površinske 3D mreže na unutarnji kostur tako da zglobovi mogu imati utjecaj na vrhove mreže
- Najrašireniji postupak animacije tijela
- Koža se deformira pomicanjem kostura, ali deformacija se izvodi težinskim miješanjem



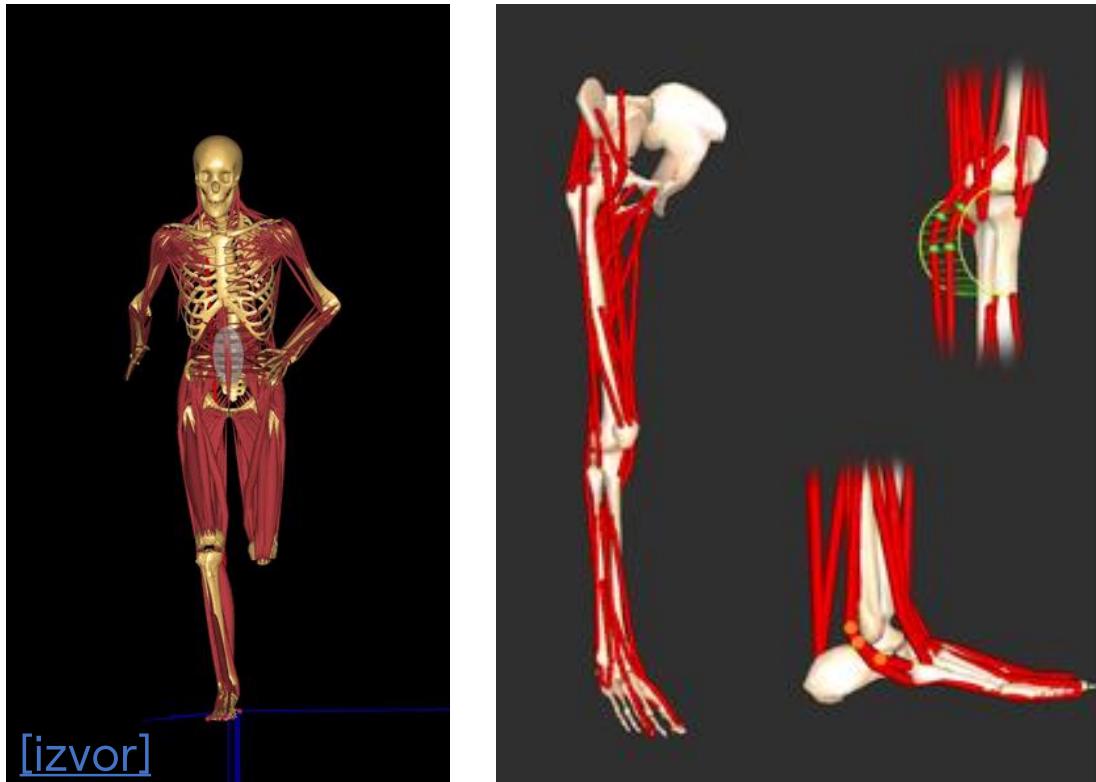
Animacija kostima – osnovna ideja

- Vrhove poligona pomicu jedna ili više kostiju (obično do 4 kosti)
- Kosti koje utječu na pomak imaju svoju težinu za svaki vrh
 - Težine se pripisuju ručno ili automatski
- Konačna pozicija vrha se određuje miješanjem težina i pomaka kostiju



Fizički modeli

- Simulacija stvarnih mišića i stvaranje biomehaničkog modela tijela
- Računalno izuzetno zahtjevno
 - Pribjegava se aproksimaciji



Animacija tijela na visokoj razini

- Izvori slijedova animacijskih parametara
 - Snimljene animacije (ručna izrada, tehnike slijedeњa)
 - Proceduralne animacije
 - Hibridni pristup

Snimljene animacije

- Snimanje ili stvaranje animacijskih sekvenci u svrhu kasnije reprodukcije
 - Vrlo prirodne animacijske sekвенце
- Ručna izrada
 - Animacija ključnim položajima
- Metode slijedeњenja
 - Film, računalne igre
 - Problem: primjena na različite anatomije tijela, poravnanje sa ravniom (npr. hodanje)



[\[izvorni video\]](#)

Proceduralne animacije

- Uporaba matematičkih modela koji simuliraju fizikalne zakone i sile
 - Jednostavne za kontrolu
- Inverzna kinematika
 - Primjer: iz zadanog položaja šake može se odrediti položaj i poza čitavog tijela
- Ragdoll fizika
 - Animacija padova
 - Animacija borbi i scena u koje su uključene fizikalne sile



Hibridni pristup

- Modifikacija snimljenih animacija kako bi se dobile nove animacije
 - Iz ulaznih parametara i baze snimljenih animacija dinamički se generiraju sekvence novih animacija
 - Velik potencijal za interaktivne primjene
- Temelj hibridnog pristupa – miješanje pokreta (*engl. motion blending*)
 - Postupak kojim se iz dvije ili više zadanih animacijskih sekvenci uz pomoć težinske funkcije dobiva nova animacijska sekvenca
 - Miješaju se animacije koje su slične

Hibridni pristup – miješanje pokreta

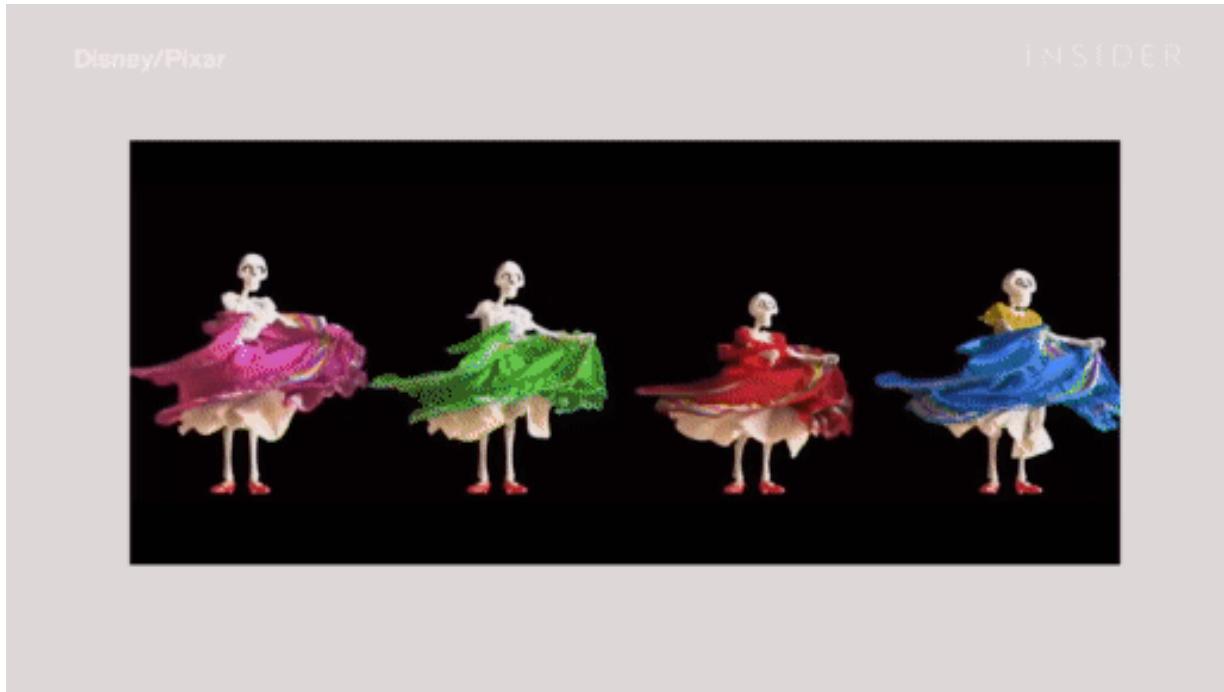
- Specifikacija animacijske sekvence, odnosno kretanje u prostoru
$$M(f) = (p(f), q_1(f), \dots, q_n(f))$$
- Rezultat miješanja $B(t)$ se dobiva iz sekvenci M_1, \dots, M_N i N-dimenzionalne težinske funkcije $w(t)$ koje određuje doprinos sekvence
- Zbroj težina za bilo koje vrijeme je 1
- Tranzicija – ako je $N=2$, w_1 opada od 1 do 0, w_2 raste od 0 do 1
- Interpolacija : $w_i = \text{const.}$

Hibridni pristup – karakteristike

- Snimljene animacije su spremljene u baze
- Problemi
 - Pronaći slične sekvence i okvire za miješanje i zapisati ih u odgovarajuće strukture kako bi se dobio odziv u stvarnom vremenu
 - Omogućiti parametarsku kontrolu rezultata miješanja
 - Poravnanje u 3D prostoru, npr. kretanje, kolizija s objektima
- Rješenja
 - Grafova pokreta – strukture koje sadrže slične okvire za miješanje
 - Registracijske krivulje – poravnanje animacijskih sekvenci na zajedničku koordinatnu os
 - Parametrizirani grafovi pokreta i prostor pokreta – parametrizacija prostora

Animacija odjeće

- Vrlo često, odjeća se uopće ne simulira kao takva nego postoji jedna površina tijela na kojoj se bojom razlikuje odjeća
- Fizikalna simulacija odjeće – sustavi čestica



[\[izvorni video\]](#)

Animacija kose

- Kruti model kose
- Postoje modeli za animaciju kose
 - Model sa trakama
 - Sustavi čestica
 - Volumenske teksture
 - Simulacija pojedinih vlasa
 - Simuliraju se poput elastičnih opruga



[izvor]



Koh, Chuan Koon, and Zhiyong Huang. "Modeling and animation of human hair in strips." SIGGRAPH. 2000.