

UNIVERZA V LJUBLJANI
FAKULTETA ZA RAČUNALNIŠTVO IN INFORMATIKO
FAKULTETA ZA MATEMATIKO IN FIZIKO

Tanja Malić

**Ustvarjanje modela za animacijo –
postavljanje obraznih in telesnih
kontrol**

DIPLOMSKO DELO
UNIVERZITETNI ŠTUDIJSKI PROGRAM PRVE STOPNJE
RAČUNALNIŠTVO IN MATEMATIKA

MENTOR: doc. dr. Matija Marolt

Ljubljana, 2012

Rezultati diplomskega dela so intelektualna lastnina avtorja in Fakultete za računalništvo in informatiko Univerze v Ljubljani. Za objavlanje ali izkoriščanje rezultatov diplomskega dela je potrebno pisno soglasje avtorja, Fakultete za računalništvo in informatiko ter mentorja.

Besedilo je oblikovano z urejevalnikom besedil \LaTeX .



Št. naloge: 00006/2012

Datum: 04.04.2012

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za računalništvo in informatiko ter Fakulteta za matematiko in fiziko izdaja naslednjo nalogo:

Kandidat: **TANJA MALIČ**

Naslov: **USTVARJANJE LIKA ZA ANIMACIJO
CREATION OF CHARACTER RIGS**

Vrsta naloge: Diplomsko delo univerzitetnega študija prve stopnje

Tematika naloge:

V diplomskem delu podajte pregled ustvarjanja lika primernega za animiranje. Predstavite proces celotne izdelave 3D animiranega lika, od predprodukcije in produkcije do postprodukcije. Raziščite postopke ustvarjanja 3D modela, okostja, lepljenja kože in dodajanja premikalnih kontrol na lik. Na podlagi ugotovitev izdelajte lasten lik pripravljen za animiranje.

Mentor:


doc. dr. Matija Marolt



Dekan Fakultete za računalništvo in informatiko:

prof. dr. Nikolaj Zimic 

Dekan Fakultete za matematiko in fiziko:

akad. prof. dr. Franc Forstnerič



IZJAVA O AVTORSTVU DIPLOMSKEGA DELA

Spodaj podpisana Tanja Malić, z vpisno številko **63080114**, sem avtorica diplomskega dela z naslovom:

Ustvarjanje modela za animacijo - postavljanje obraznih in telesnih kontrol

S svojim podpisom zagotavljam, da:

- sem diplomsko delo izdelal samostojno pod mentorstvom doc. dr. Matije Marolta,
- so elektronska oblika diplomskega dela, naslov (slov., angl.), povzetek (slov., angl.) ter ključne besede (slov., angl.) identični s tiskano obliko diplomskega dela
- soglašam z javno objavo elektronske oblike diplomskega dela v zbirki "Dela FRI".

V Ljubljani, dne 14. septembra 2012

Podpis avtorja:

Najlepše bi se zahvalila vsem, ki so karkoli pripomogli k nastanku mojega diplomskega dela. Predvsem pa hvala družini in vsem bližnjim, ki so me podpirali in spodbujali tekom študija.

Kazalo

Povzetek

Abstract

1	Uvod	1
2	Postopek animiranja lika	3
2.1	Predprodukcija	4
2.2	Produkcija	4
2.2.1	Modeliranje	4
2.2.2	Teksturiranje	7
2.2.3	Osvetljevanje	10
2.2.4	Postavljanje kontrol	18
	1. Postavljanje kontrol telesa	18
	2. Postavljanje kontrol obraza	30
2.2.5	Animiranje	32
2.3	Postprodukcija	34
3	Ustvarjanje lastnega animiranega lika	35
3.1	Opis programskega orodja Maya	35
3.2	Opis izdelave lastnega animiranega lika	36
3.2.1	Modeliranje	36
3.2.2	Teksturiranje in osvetljevanje	38
3.2.3	Postavitev kontrol	39

KAZALO

3.2.4	Deformacija kože	43
3.2.5	Animiranje lika	44
4	Sklep	47
5	Zaključek	51
6	Priloge	57

Slike

2.1	Delovni proces animatorja	3
2.2	Modeli ustvarjeni s poligoni, NURBS in deljenimi ploskvami	6
2.3	Teksturiranje obraza	8
2.4	Tritočkovno osvetljevanje	11
2.5	Osnovni tipi luči	13
2.6	Lambertov model	14
2.7	Phongov model	15
2.8	Blinnov model	16
2.9	BRDF	17
2.10	Hierarhija sklepov animiranega lika	19
2.11	Koordinatni sistemi	20
2.12	Kinematika z delovanjem v naprej in inverzna kinematika	22
2.13	FFD pristop deformacije predmetov	27
2.14	Deformacija z de Casteljaujevim algoritmom	28
2.15	Mišična krivulja	29
2.16	Okostje, mišice in koža 3D modela	29
2.17	Anatomska struktura človeškega obraza	30
2.18	Osnovni človeški obrazni izrazi	31
2.19	Animacija s ključnimi slikami	32
2.20	Zajem gibanja obraza	33
3.1	Glava lika po operaciji glajenja	37
3.2	Izgled lika po teksturiranju	38

SLIKE

3.3	Izgled zobovja in oči	39
3.4	Sklepi noge	40
3.5	Sklepi roke	41
3.6	Sklepi v glavi	41
3.7	Kontrole obrvi	42
3.8	Deformacija nog ob počepu	43
3.9	Obrazne deformacije	44
3.10	Zunanje kontrole lika	45

Tabele

3.1	Tabela uporabljenih materialov	38
3.2	Tabela uteži gruč na kontrolne točke krivulje obrvi	42

Povzetek

Diplomsko delo vsebuje celoten pregled ustvarjanja lika, primernega za animiranje. Teoretični del predstavlja pregled celotnega procesa izdelave 3D animiranega filma; predprodukcija, produkcija in postprodukcija. Poudarek leži na raziskavi o ustvarjanju 3D modela, postavljanju 3D okostja in ostalih kontrol na model. Dalje vsebuje matematični pregled kinematike z delovanjem v naprej in inverzne kinematike, ki služita premikanju sklepov in izračunavi kotov med kostmi. Ob premikanju kosti se lahko koža nerealistično deformira, zato je vsebovan tudi pregled pripenjanja kože na okostje ter deformacija kože z načinom barvanja uteži in deformacija kože kot posledica mišične deformacije.

Praktični del predstavlja izdelavo lastnega lika, pripravljenega za animiranje v programskem orodju Autodesk Maya. Vsebuje vse korake od izdelave modela do postavljanja okostja in ostalih kontrol telesa ter povezovanja okostja z našim modelom. V naslednjem koraku vsebuje še opis postavljanja vplivov sklepov na točke modela ob deformaciji pri premikih.

Ključne besede

3D animacija, 3D modeliranje, postavljanje okostja, postavljanje kontrol, kinematika z delovanjem v naprej, inverzna kinematika, 3D barvanje uteži

Abstract

The thesis contains a complete overview of creating a character for computer animation. The theoretical part provides an overview of the entire process of 3D animation; preproduction, production and postproduction. The focus is on research on how to create a 3D model and how to set up a 3D skeleton and other kind of controls for the model. It also contains a mathematical overview of forward and inverse kinematics, which are used to move joints and to calculate angles between bones. Due to unrealistic skin deformation when moving joints thesis also contains an overview of applying skin to skeleton and skin deformation with weight painting and skin deformation with muscle deformation.

Practical part is about making own character ready for animation in Autodesk Maya software tool. It contains all the steps of the production including making model, setting up the skeleton and other controls and binding them to our model. It also contains steps on how to set up joint influence on vertices of the model.

Keywords

3D animation, 3D modeling, skeleton set up, character rigging, forward kinematics, inverse kinematics, 3D painting weights

Poglavje 1

Uvod

Kdo še ni slišal za navihane modre palčke, ki jim pravimo smrkci in so povzročili pravo smrkastično revolucijo, ali pa velikega Shreka, ki straši pravljurna bitja, pa celo za izgubljenega Nema, ki ga išče cel podvodni svet, da o Avatarju sploh ne govorimo. Vsa ta bitja so dobila življenje skozi animacijo. Izmišljene like, ki jih niti z dobro masko ne moremo ustvariti, vidimo na velikih zaslonih povsod po svetu. Prva misel, ki se človeku porodi ob gledanju animiranih celovečercev, je, kako je vse skupaj nastalo. Kako lahko iz lika, ustvarjenega v stripu, danes modri smrkci hodijo po ulicah New Yorka?

Prav v odgovor na to vprašanje je nastalo diplomsko delo, ki ga držite v rokah. Skozi celotno delo preučimo, kako veliki ustvarjalci ustvarjajo modele, kakšni načini modeliranja obstajajo in v kakšne namene ter kako take like pobarvati, da dobijo tisti faktor srčanosti (ali pa groze, odvisno od lika), pa vse do tega, kako ga premikati in animirati.

Pri svojem delu smo želeli doseči naslednje cilje:

- seznaniti se s procesom ustvarjanja lika za animiranje,
- seznaniti se z osnovnimi prijemi modeliranja modela,
- seznaniti se z osnovnimi prijemi teksturiranja in osvetljevanja modela,
- spoznati osnovno zgradbo kontrol telesa lika,

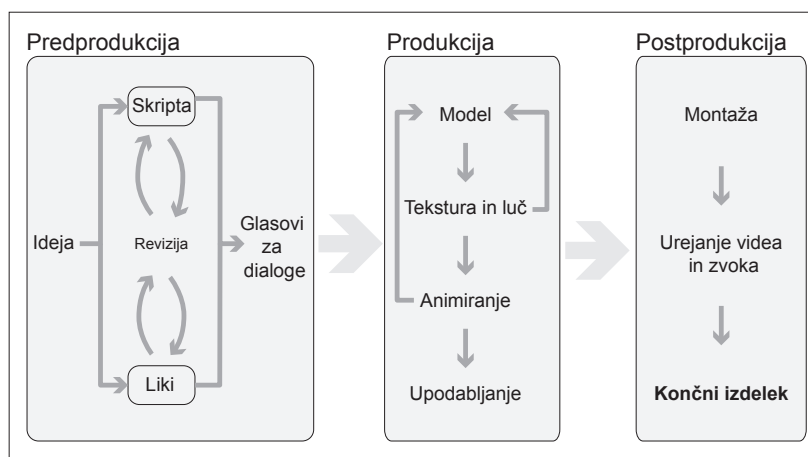
- spoznati osnovno zgradbo kontrol obraza lika,
- spoznati in preučiti osnovne načine premikanja kontrol,
- samostojno izdelati 3D model in kontrole za njegovo gibanje in
- samostojno izdelati kratek animiran posnetek, ki vsebuje ustvarjen model.

Diplomsko delo je vsebinsko razdeljeno na dva dela. Prvi del, vsebovan v poglavju 2, bo teoretičen pregled celotnega procesa ustvarjanja 3D modela, ki bo pripravljen za animiranje. Preučili bomo 3 faze ustvarjanja animiranega filma s poudarkom na produkciji. Največ časa bomo posvetili raziskavi postavljanja kontrol in delovanja gibanja med kontrolami. Spoznali se bomo z zgradbo kontrol in kinematiko premikanja kontrol. V drugem delu, poglavju 3, se bomo posvetili praktični izdelavi 3D lika, ki mu bomo postavili kontrole na telo in glavo. Ustvarili bomo kratek animiran posnetek, v katerem bomo prikazali delovanje vseh ustvarjenih kontrol. Lik in posnetek bomo izdelali v programskem orodju Autodesk Maya.

Poglavje 2

Postopek animiranja lika

Animacija je beseda, izpeljana iz latinske besede *anima* in pomeni igra oziroma v širšem pomenu besede posnemanje življenja, gibanja in duha. Danes se je pomen malce spremenil in razdelil v izraza klasična animacija in 3D animacija. Pod pojmom klasična animacija razumemo risanje sekvenčnih slik, ki jih postavimo eno za drugo v video posnetek in dobimo dvodimenzionalno animacijo. Pri 3D animaciji pa imamo opravka s 3D modeli, ki jih animiramo in vstavimo v 3D svet. Postopek ustvarjanja animiranega filma ločimo v fazo predprodukcije, produkcije in postprodukcije, kot je prikazano na sliki 2.1; [1].



Slika 2.1: Slika predstavlja celoten delovni proces animatorja.

2.1 Predprodukcija

V fazi predprodukcije načrtujemo celoten postopek ustvarjanja animiranega filma. Ta korak je zelo pomemben pri prihranku časa in tudi denarja, saj z dobrim načrtovanjem (predvidevanjem napak in največjih težav) lahko probleme rešujemo sproti. V fazi predprodukcije se domislamo ideje, ki bi jo radi sporočili z našim animiranim filmom, si izmislimo vse karakterje in scene ter vsa dogajanja in dialoge. Ustvarimo vizualne in karakterne lastnosti naših likov in vsa možna premikanja, ki jih bo lik zmožen. Iz tega ustvarimo knjigo modela (angl. *model sheet*). Podobno ustvarimo zapiske o vseh scenah in predmetih, ki se bodo pojavljali. Zadnji korak pa je priprava celotnega scenarija.

2.2 Produkcija

Produkcija je faza izdelave animiranega filma, kjer idejo iz papirja prenesemo v 3D svet. Model najprej ustvarimo, ga »pobarvamo«, mu določimo kontrole in ga animiramo. Vsak prizor posebej potem upodobimo (angl. *rendering*) in tako pripravimo material za fazo postprodukcije.

2.2.1 Modeliranje

Prvi in najbolj logični korak produkcije je modeliranje. Lik, ki smo si ga izmislili, dejansko ustvarimo in mu določimo obliko (angl. *mesh*), kar pomeni, da mu določimo natančen položaj vseh oglišč. Oglišča dalje tvorijo poligone, iz katerih je model sestavljen. Modeliranje se lahko lotimo na različne načine, izbor pa je odvisen predvsem od nas in našega znanja; [6]

Modeliranje s poligoni

Poligon ali lice, kot mu lahko še pravimo (angl. *face*), je z daljicami omejena površina, ki cela leži v eni ravnini. Daljicam, ki omejujejo poligon, pravimo robovi. Poznamo dva pristopa za modeliranje s poligoni.

- **Modeliranje s škatlami (Box modeling)**

Modeliranje s škatlami (angl. *box modeling*) je tehnika modeliranja s poligoni, kjer modelar začne z nekim primitivnim geometrijskim telesom (kvader, sfera, cilindar ...) in ga preoblikuje v želeno obliko. Modelarji, ki se poslužujejo te oblike modeliranja, navadno začnejo z nizko kvalitetno obliko in jo nato gladijo in dodajajo podrobnosti. Taka oblika modeliranja je najbolj razširjena in se jo uporablja v kombinaciji s tehniko modeliranja z robovi.

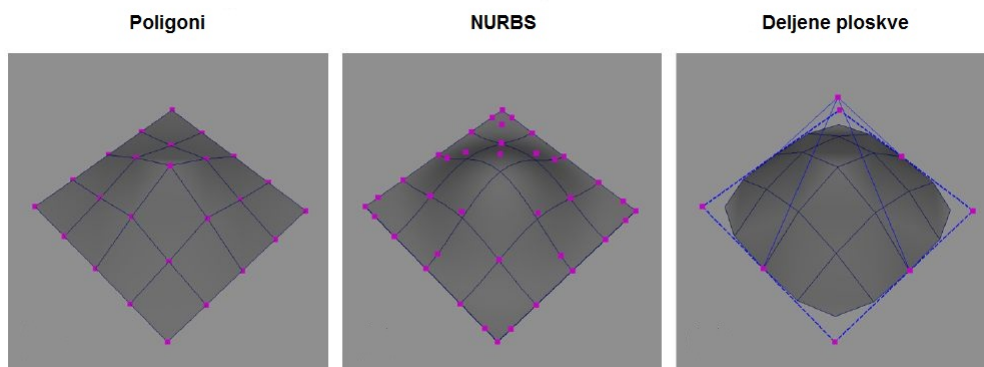
- **Modeliranje z robovi**

Modeliranje z robovi (angl. *edge modeling*) je drugi način modeliranja s poligoni, kjer model gradimo del za delom. Za razliko od modeliranja s škatlami ne začnemo s telesom, temveč z licem, ki mu dodajamo zanke in tako oblikujemo. Robove lic podaljšujemo in s tem ustvarjamo nova lica. Vrzeli, ki nastanejo med podaljševanjem robov, napolnimo tako, da robove povežemo med seboj. Kakorkoli to deluje zamudno delo, je včasih neizogibno. Dober primer skoraj obveznega modeliranja s to tehniko je modeliranje obraza, kjer sledimo obraznim linijam in to najlažje naredimo tako, da s poligoni prekrijemo izpostavljene obrazne dele (nos, oči, usta, lok obrvi ter čeljust) in potem robove skupin poligonov povežemo med seboj.

NURBS modeliranje

NURBS (*Non-Uniform Rational B-Spline*) temelji na matematičnih enačbah, ki so bolj kompleksne od poligonske predstavitve. NURBS modeliranje navadno zahteva več procesiranja in se uporablja predvsem tam, kjer obstaja možnost predhodnega upodabljanja (televizija in film). Je tehnika, ki se uporablja predvsem za industrijsko modeliranje in pa organske oblike kot so živali in osebe. Modeli, za razliko od polinomskih, nimajo izrazitih lomljenih robov, kot lahko vidimo na sliki 2.2. Videz predmeta nadziramo s točkami krivulj, ki opisujejo predmet. Tem točkam pravimo kontrolne točke.

Na tem mestu omenimo še eno vrsto modeliranja, to je modeliranje z deljenimi ploskvami. Modeliranje z deljenimi ploskvami ima prednost preprostega upravljanja z modelom, kot je to pri poligonskem modeliranju, in prednost lepe gladke površine, kot jo imajo NURBS modeli.



Slika 2.2: Slika prikazuje razliko med modelom, narejenim s poligoni, NURBS in deljenimi ploskvami; [16].

Digitalno kiparstvo

Kot že ime samo pove gre za način modeliranja, ki ga lahko razumemo iz kiparstva. Začetni model je približek (oris) našemu zelenemu rezultatu, končne podrobnosti pa »izklesamo« ven iz začetnega stanja. Digitalno kiparstvo je relativno nov način modeliranja, ki omogoča hitro modeliranje oblik visoke ločljivosti.

Proceduralno modeliranje

Proceduralno modeliranje je tehnika modeliranja, kjer modele generiramo algoritmično. Veliko naravnih struktur, kot so drevesa, pokrajine, mesta in podobno, je za človeka napornih in obsežnih, zato se poslužujemo algoritmov, ki nam olajšajo delo. Algoritmi za ustvarjanje takih modelov vključujejo naključje (strukture niso videti vse enake), visoke podrobnosti (za človeka težko in zamudno) in samopodobnost. Velika prednost takega načina modeliranja je, da ob majhni količini vhodnih podatkov, kot so preproste enačbe in začetni parametri dobimo kot izhod veliko količino izhodnih podatkov v

obliki kompleksnih modelov, ki skupaj sestavljajo celoto. Ti modeli se med seboj razlikujejo, a so si vseeno podobni. Tako dobimo vtis neke enotnosti (npr. mešan gozd dreves).

Modeliranje na podlagi slik

Modeliranje na podlagi slik (angl. *image based modeling*) je proces, kjer model nastane na podlagi velike množice slik. Algoritem obdela množico in ustvari končni izdelek. Ta metoda se uporablja, ko zaradi denarnih ali časovnih omejitev ni mogoče, da bi človek ustvaril model.

3D skeniranje

3D skeniranje je metoda digitalizacije objektov ali celo oseb iz realnega sveta. Predmet se poskenira in analizira ter iz podatkov ustvari ustrezen poligonski ali NURBS model. Ta oblika modeliranja se uporablja predvsem takrat, ko želimo realen predmet ali osebo digitalizirati. Tak način modeliranja je povsem neuporaben pri predmetih, ki jih na zemlji ni (vesoljske ladje, izmišljeni liki ...).

2.2.2 Teksturiranje

Ko končamo z modeliranjem je privzeto naš model kot prazno platno. To pomeni, da je model brez barve in brez tekstur. Da bo model zanimiv in pisan, bolj prisrčen in s tem bolj priljubljen, ga moramo pobarvati, to je dodeliti barvo, vzorce, izbokline, območja prosojnosti in podobno. Procesu dodajanja lastnosti 3D površinam, ki vključuje ustvarjanje UV postavitve in lepljenje tekstur, z eno besedo pravimo teksturiranje; [2, 7].

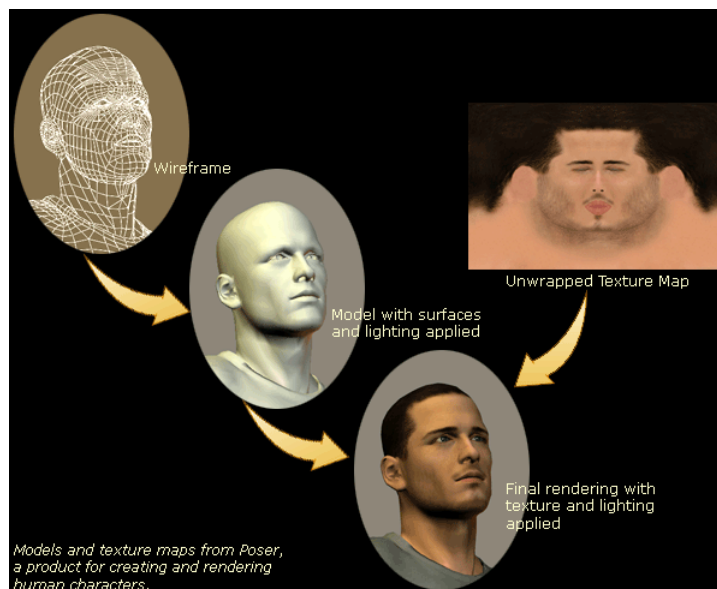
Razvitje modela in UV postavitev

UV postavitev je vizualna predstavitev 3D modela, sploščenega v dvodimenzionalno ravnino. Vsaka točka na dvodimenzionalni ravnini se imenuje UV in predstavlja točko na 3D objektu. Na ta način dobimo dve množici točk, kjer iz prve množice (točke UV postavitve v ravnini) vsaki točki ustreza natanko

ena točka iz druge množice (točke 3D modela v prostoru). Od tu dalje sledi proces lepljenja tekstur na raztegnjeno UV površino.

Lepljenje tekstur

Teksturni zemljevid (angl. *texture map*) je dvodimenzionalna slikovna datoteka, ki jo prilepimo na površino 3D modela in tako modelu določimo barvo, teksturo ali ostale podrobnosti na površini, kot so odboj svetlobe, odboj okolice ali prosojnost. Teksturni zemljevid ustvarimo tako, da ustreza UV postavitvi koordinat 3D modela in ga lahko ali ročno narišemo, ga pobarvamo ali pa prilepimo sliko iz realnega sveta.



Slika 2.3: Slika prikazuje proces dodajanja teksture na model glave.

Ločimo 3 skupine teksturnih zemljevidov:

- **Barvni zemljevid**

Kot že ime samo pove, je prva in najbolj očitna uporaba teksturnih zemljevidov za dodajanje barv in vzorcev modelu oziroma njegovi površini. To je lahko dokaj enostavno, kot je na primer dodajanje vzorca lesa modelu mize, ali pa kompleksno, kot dodajanje barv vsem modelom, sceni in ozadju neke igre.

- **Zemljevidi izboklin, normal ali odmikov**

Malo bolj kompleksna oblika zemljevidov od barvnih so zemljevidi izboklin, normal in odmikov. Ti zemljevidi pripomorejo k bolj realističnemu videzu modela. Če si samo zamislimo opečnat zid, si lahko predstavljamo, kako te vrsta zemljevidov vpliva na realizem. Z barvnim zemljevidom modelu dodamo vzorec opek, z zemljevidom izboklin pa tudi globino.

- **Zemljevidi lastnosti**

- Zrcalni zemljevid**

Zrcalni zemljevid (angl. *specular map*) pove, kateri del modela je sijoč ali sijajen in nosi podatek o moči odboja svetlobe. Svetleče površine, kot so kovina, keramika in tudi plastika, imajo zelo močan zrcalni odboj in ta zemljevid doda realizem na take predmete. Zrcalni zemljevid je sivinska slika in je nujno potreben za površine, ki niso enakomerno sijajne, na primer avtomobil, ki ima opazne praske in vdrtine.

- Zemljevid odsevov**

Zemljevid odsevov (angl. *reflection map*) nam pove, kateri deli modela so odsevni. Če je cel model odseven ali pa je odsevnost enakomerna, se ta vrsta zemljevida navadno opusti. Drugače pa so ti zemljevidi sivinske slike, kjer črna barva predstavlja 0-%, bela pa 100-% odsevnost.

- Zemljevid prosojnosti**

Zemljevid prosojnosti (angl. *transparency map*) ima podobno vlogo kot zemljevid odsevov, le da nosi podatek o prosojnosti modela. Navadno ga uporabimo takrat, ko želimo poenostaviti model. To si lahko predstavljamo z ograjo, narejeno iz žic. Model ograje bi bil zelo kompleksen in časovno zamuden, če bi modelirali žico in jo postavili v pravilno obliko. Pomagamo si tako, da predele, kjer ograje ni, nastavimo kot transparentne na zemljevidu prosojnosti. Seveda s predpostavko, da se oko gledalca ne približa preveč, saj bi se opazila razlika med oblikovanim modelom in modelom, ustvarjenim z zemljevidom barv in prosojnosti.

2.2.3 Osvetljevanje

Osvetljevanje (angl. *lighting*) lahko drastično spremeni celoten videz našega končnega izdelka, odločilno vpliva na realističen videz modela in ustvari pravo ozračje. Čez celotno sceno lahko postavimo luči in tako osvetlimo naše modele in prostoru dodamo globino. Vpliva tudi na dožemanje barv in tekstur na modelih. Med samim procesom modeliranja in teksturiranja si na sceno postavimo par osnovnih luči, da si osvetlimo model in ga testno upodabljam. Na koncu pa se lotimo še resnega osvetljevanja, ki bo naš model in sceno predstavil v kar se da najboljši luči. Pomembno je, kako se lotimo procesa osvetljevanja modela in celotnega prostora, saj luči in osvetlitev scene močno vplivajo na čas upodabljanja.

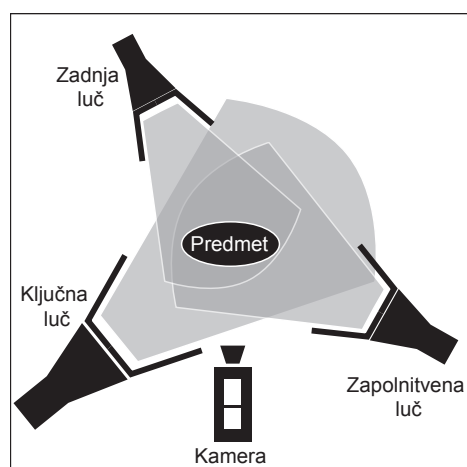
S pravilnim številom luči in postavitvijo le teh lahko naše predmete v sceni zadovoljivo osvetlimo in pri tem ne povečamo čas upodabljanja. Poznamo dva osnovna koncepta osvetljevanja predmeta: tritočkovno osvetljevanje in praktično osvetljevanje; [1].

Tritočkovno osvetljevanje

Najbolj tradicionalen pristop za učinkovito osvetljevanje prihaja iz filmske industrije in se imenuje tritočkovno osvetljevanje (angl. *three-point lighting*). Kar pomeni, da za osvetlitev predmetov znotraj posnetka uporabimo 3 skupine luči, vsako s svojo vlogo pri osvetljevanju. Ena skupina ima primarno oziroma ključno vlogo, druga ima vlogo zapolnitve osvetlitve scene in tretja za poudarjanje predmeta. Za dober osnovni učinek je dovolj, če je v vsaki skupini samo ena luč.

Ključna luč:

Ključna ali primarna luč, kot ji še lahko pravimo, je postavljena pred objekt, kot je prikazano na sliki 2.4 in zagotavlja osnovno osvetlitev predmeta. Ker navadno sveti pred sprednjim stranskim delom modela, je ena stran bolj osvetljena kot druga, kar pripomore k temu, da predmet dobi globino v posnetku. Ta luč povzroči, da imajo predmeti sence in tako postane glavni vir luči v posnetku, ker gledalec dobi vtis, da vsa svetloba prihaja iz njene smeri.



Slika 2.4: Slika prikazuje kocept tritočkovnega osvetljevanja predmeta.

Zapolnitvena luč

Zapolnitvena luč (angl. *fill light*) je glede na ključno luč bolj razpršena in deluje, kot da je brez usmeritve (tako mora biti, da se gledalec ne zmede, od kod prihaja glavna svetloba). Njena glavna vloga je enakomerna osvetlitev temne strani predmeta, da je tudi ta gledalcem vidna. Tako je zapolnjena osvetlitev celotnega predmeta in se zmanjša področje teme, ki nastane kot posledica ključne luči. Zapolnitvena luč ne povzroči, da predmeti dobijo sence, temveč le zgladi sence, ki nastanejo od ključne luči.

Zadnja luč

Zadnja luč je, kot že ime samo pove, postavljena za objekt, kar povzroči, da predmet izstopi iz scene in je gledalcu bolj viden. Gledalec predmet boljše dojema in ima boljšo predstavo o predmetu glede na ozadje. Navadno ta luč poudari robove predmeta in nas tako usmeri nanj. Na tem mestu je pomembno tudi poudariti, da zadnja luč ni enako kot luč ozadja, ki osvetljuje sceno oziroma okolje za našim predmetom. Sistem osvetljevanja po principu treh točk se navadno uporablja za osvetljevanje glavnega predmeta v sceni. Ker je postavitev odvisna od trenutnega položaja predmeta in zornega kota kamere, je tritočkovno osvetljevanje odvisno od posnetka in ne od scene.

Praktično osvetljevanje

Praktično osvetljevanje je izraz, ki opisuje postavitev luči v sceno na mesta, kjer stojijo predmeti, ki oddajajo svetlobo v realnem svetu. Če imamo na primer namizno svetilko, je, ko je ta prižgana, tudi vir svetlobe. Pomembno pa je, da njena svetloba ne podre celotne naše osvetlitve glavnega predmeta in scene.

Tipi luči

Poznamo več tipov luči, s katerimi lahko osvetlimo naš prostor in model; [1, 8]. Glede na namen, ki ga želimo doseči pri osvetljevanju, se odločimo, katera najboljše ustreza.

Točkasta luč:

Točkasta luč iz ene, neskončno majhne točke znotraj 3D prostora meče osvetlitev navzven v vse smeri. Uporabne so za simulacijo svetlobnih virov, ki oddajajo svetlobo v vse smeri, kot so sveče, žarnice, novoletne lučke in podobno.

Usmerjena luč:

Za razliko od točkastih luči, ki zasedajo posebno mesto v 3D sceni, usmerjena luč predstavlja nek oddaljen vir svetlobe (kot sonce ali luna). Žarki z virom v usmerjeni luči tečejo vzporedno v eni smeri od vsake točke na nebu in se navadno uporabljajo za simulacijo sončnih žarkov. Ker usmerjena luč predstavlja oddaljen vir svetlobe, njene lokalne x, y, z koordinate niso pomembne, pomembna je samo njena rotacija (torej kam oziroma v katero smer je usmerjena). Rotacija ima vpliv na to kako bodo prikazane sence. Tak tip luči se dostikrat uporablja za ključno luč ali za zadnjo luč v tritočkovnem osvetljevanju.

Žarometi:

Žarometi (angl. *spot light*) imajo zelo podobno funkcijo kot žarometi v realnem svetu. Žaromet oddaja svetlobo v obliki stožca, torej iz točke v prostoru meče svoje žarke v drugo točko v prostoru, ki je center neke omejene množice. Žarometi se pogosto uporabljajo kot ključna luč v tritočkovnem osvetljevanju in pa tudi za predmete, ki v realnem svetu delujejo kot žarometi, na pri-

mer ulične svetilke, namizne svetilke oziroma katerekoli luči, ki imajo obliko stožca.

Ambientna luč:

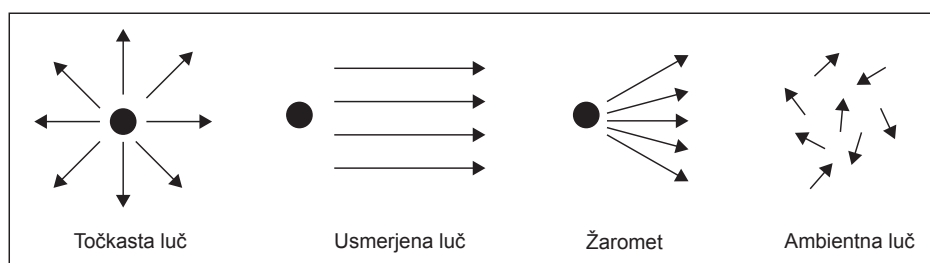
Ambientna luč (angl. *ambient light*) meče enakomerne mehke svetlobne žarke v vse smeri čez celotno sceno. Nima nobene posebne usmerjenosti in osvetljuje vse predmete v sceni z enako intenziteto. Navadno se uporablja za osvetljevanje temnih prostorov, da so tudi ti vidni gledalcu, in sicer kot zapolnitvena luč ali pa kot luč ozadja.

Območna luč:

Območna luč (angl. *area light*) meče osvetlitev usmerjeno iz omejene množice. Je edina luč, kjer z nastavljanjem velikosti vplivamo na osvetlitev, torej če povečamo območje vira, se s tem poveča tudi svetlost. Čeprav imajo območne luči neko vsesplošno usmerjenost, ne oddajajo žarkov vzporedno, kot to počnejo usmerjene luči.

Volumetrična luč:

Volumetrična luč (angl. *volume light*) je posebna luč, s katero dosežemo žarke s posebno obliko. Ozračje bo osvetljeno samo znotraj določenega volumna. Nazoren primer uporabe volumetrične luči, je odprto okno, kjer je svetloba znotraj območja od okna do tal ali pa pronicanje žarkov skozi veje drevesa. Volumetrično luč je mogoče nastaviti v katero koli primitivno geometrijsko telo (kocka, krogla, valj ...) in bo njena svetloba osvetlila površine samo znotraj tega obsega.



Slika 2.5: Slika prikazuje razpršenost žarkov pri osnovnih tipih luči.

Osvetljevanje površin

Pogledali si bomo dva načina računanja osvetljenosti (angl. *lighting*) površine. Prvi način je osvetljenost kot vsota razpršenega odboja (angl. *diffuse reflection*), zrcalnega odboja (angl. *specular reflection*) in ambientne svetlobe ter drugič osvetljenost kot rezultat funkcije BRDF; [5].

1. Vsota enostavnih modelov

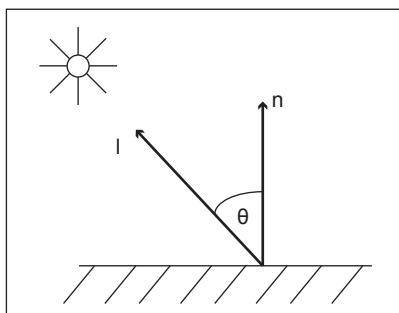
Razpršeni odboj

Objekti, kot so papir, nespoliran les in suh, neobdelan kamen, imajo enakomeren odboj svetlobe in navadno niso svetleči. Če gledamo v eno točko na takem predmetu in spreminjamo svoj zorni kot gledanja, bo odboj v tej točki (in njeni bližji okolici) razmeroma konstanten. Takim predmetom pravimo tudi Lambertovi modeli; [2].

Lambertov model:

Lambertovi modeli so dobili tako ime, ker delujejo po Lambertovem kosinusnem zakonu (angl. *Lambert's cosinuse law*). Lambertov kosinusni zakon pravi, da je odboj površine c_r sorazmeren s kosinusom kota med normalo površine \mathbf{n} in vektorjem, usmerjenim proti viru luči \mathbf{l} , kot je prikazano na sliki 2.6.

Manjši kot je kot vpada svetlobe glede na normalo površine, večji bo kosinus in večja bo intenziteta odboja svetlobe. Z drugimi besedami, bolj kot se bo naš vir svetlobe bližal normalni \mathbf{n} , bolj osvetljena bo naša površina.



Slika 2.6: Slika prikazuje odboj svetlobe pri Lambertovem modelu.

Iz enačbe skalarnega produkta med normaliziranimi vektorjema \mathbf{n} in \mathbf{l} , katerih dolžina je enaka 1, dobimo enačbo 2.1.

$$\mathbf{n} \cdot \mathbf{l} = |\mathbf{n}| |\mathbf{l}| \cos\theta = \cos\theta \quad (2.1)$$

Kot θ je kot med vektorjema \mathbf{n} in \mathbf{l} . Dalje lahko vključimo še barvo in dobimo odboj c_{rd} , odvisen od vpadne svetlobe c_l , barve materiala c_m in kosinusom kota θ :

$$c_{rd} = c_l c_m \mathbf{n} \cdot \mathbf{l} = c_l c_m \cos\theta \quad (2.2)$$

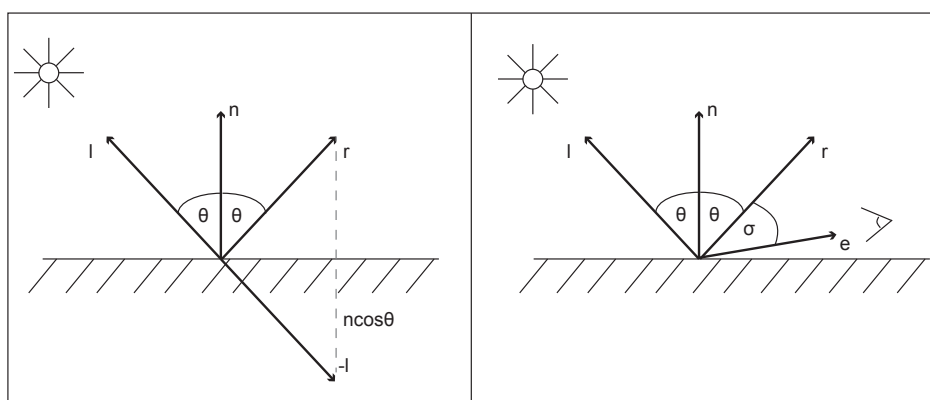
Zrcalni odboj

Določeni materiali, kot so spoliran les, lakirani materiali ali plastika, imajo zrcalni odboj, ki je odvisen od smeri gledanja. Spoznali bomo dva modela, s katerima lahko izračunamo zrcalni odboj površine.

Phongov model:

Za izračun zrcalnega odboja, bomo najprej izračunali vektor idealnega odboja \mathbf{r} , ki je čez \mathbf{n} zrcaljen \mathbf{l} . Na sliki 2.7 levo vidimo, da lahko vektor \mathbf{r} z vektorskim seštevanjem izračunamo po enačbi 2.3.

$$\mathbf{r} = 2(\mathbf{l} \cdot \mathbf{n})\mathbf{n} - \mathbf{l} \quad (2.3)$$



Slika 2.7: Slika na levi prikazuje izračun vektorja popolnega odboja \mathbf{r} in na desni odboj svetlobe pri Phongovem modelu.

Zrcalni odboj c_{rs} , odvisen od vpadne svetlobe c_l , barve materiala c_m , idealnim odbojem \mathbf{r} in vektorjem gledišča \mathbf{e} izračunamo po enačbi 2.4.

$$c_{rs} = c_l c_m (\mathbf{r} \cdot \mathbf{e})^p \quad (2.4)$$

Eksponent p (Phongov eksponent) je pozitivno realno število in ima vpliv na razpršenost zrcalnega odboja; večji kot je Phongov eksponent, manj razpršen bo zrcalni odboj.

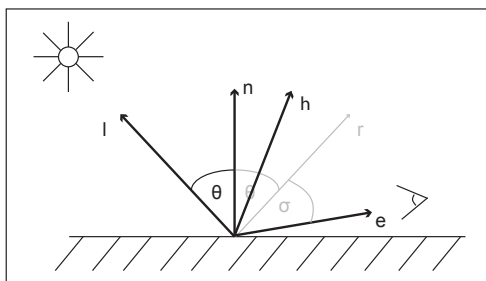
Blinnov model:

Če Phongov model malo dodelamo, dobimo Blinnov model, kjer namesto idealnega odboja \mathbf{r} izračunamo normaliziran vektor \mathbf{h} , ki leži točno na polovici med \mathbf{l} in \mathbf{e} . Blinnov model uporabljamo kadar sta luč in gledalec daleč od površine in lahko predpostavimo, da je \mathbf{h} konstanten (torej neodvisen od pozicije in ukrivljenosti površine) in se ga lahko izračuna enkrat ter uporabi večkrat. Pri Phongovem modelu, kjer je \mathbf{r} odvisen od površine modela, se \mathbf{r} računa za vsak piksel slike posebej in se zato poveča čas upodabljanja. Z vektorskim seštevanjem izračunamo vektor \mathbf{h} in ga vstavimo v enačbo 2.4 namesto vektorja \mathbf{r} .

$$\mathbf{h} = \frac{\mathbf{e} + \mathbf{l}}{\|\mathbf{e} + \mathbf{l}\|} \quad (2.5)$$

Dobimo enačbo zrcalnega odboja 2.6.

$$c_{rs} = c_l c_m (\mathbf{h} \cdot \mathbf{n})^p \quad (2.6)$$



Slika 2.8: Slika prikazuje Blinnov model odboja svetlobe.

Ambientna svetloba

Če dodamo še ambientno svetlobo, nimamo več temnih delov na predmetu. Ambientno svetlobo računamo po enačbi 2.7. Parameter c_l predstavlja vpadno svetlobo in parameter c_m barvo materiala.

$$c_{ra} = c_l c_m \quad (2.7)$$

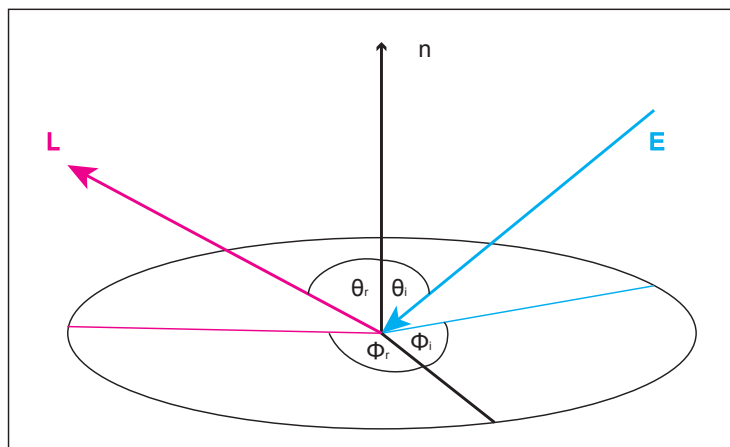
Končna vsota

Če upoštevamo dejstvo, da imamo lahko več virov svetlobe, izračun osvetlitve površine izračunamo po enačbi 2.8, kjer je c_{ra} prispevek ambientne svetlobe, c_{rd} prispevki razpršenih odbojev svetlobnih virov in c_{rs} prispevki zrcalnih odbojev svetlobnih virov.

$$c = c_{ra} + \sum_i (c_{rd} + c_{rs}) \quad (2.8)$$

2. BRDF

BRDF (*Bidirectional Reflection Distribution Function*) je funkcija, s katero lahko izračunamo odboj svetlobe. Je štiridimenzionalna funkcija kotov vpadne in odbite svetlobe; [9].



Slika 2.9: Slika prikazuje kote vpadne svetlobe in odbite svetlobe, ki jih potrebujemo za izračun odboja svetlobe z uporabo BRDF funkcije.

BRDF funkcijo zapišemo z enačbo 2.9, kjer je E vpadna svetloba in L odbita svetloba.

$$\rho(\theta_i, \phi_i, \theta_r, \phi_r) = \frac{L_r(\theta_r, \phi_r)}{E_i(\theta_i, \phi_i)} \quad (2.9)$$

Hitro opazimo, da so Lambertov model, Blinnov in Phongov model pravzaprav posebne oblike BRDF modela. Na primer Lambertov model lahko zapišemo kot BRDF model z enačbo:

$$\rho_L = \frac{\rho_0}{\pi} \quad (2.10)$$

kjer je ρ_0 konstanten (ni odvisen od kota vpada) in π služi za normalizacijo BRDF funkcije.

2.2.4 Postavljanje kontrol

Ko končamo z modeliranjem, je naš model statične 3D oblike, kot kip, ki se ne premika. Preden model prenesemo v naslednjo fazo procesa, ga moramo »pripeti« na sistem spojev in krmilnih ročic, da ga bomo lahko premikali po sceni kot marioneto. Kontrole telesa lika pravzaprav predstavlja digitalno okostje, ki je vezano na 3D mrežo modela. Kot pravo okostje ima tudi to sklepe (angl. *joints*) in kosti, ki delujejo kot ročaji, s katerimi postavljamo model v želeno pozo. Kontrole obraza lika pa so točke, ki nadzorujejo oglišča poligonov. Procesu, kjer na model pripnemo kontrolne točke, pravimo proces postavljanja kontrol (angl. *rigging*); [1, 4].

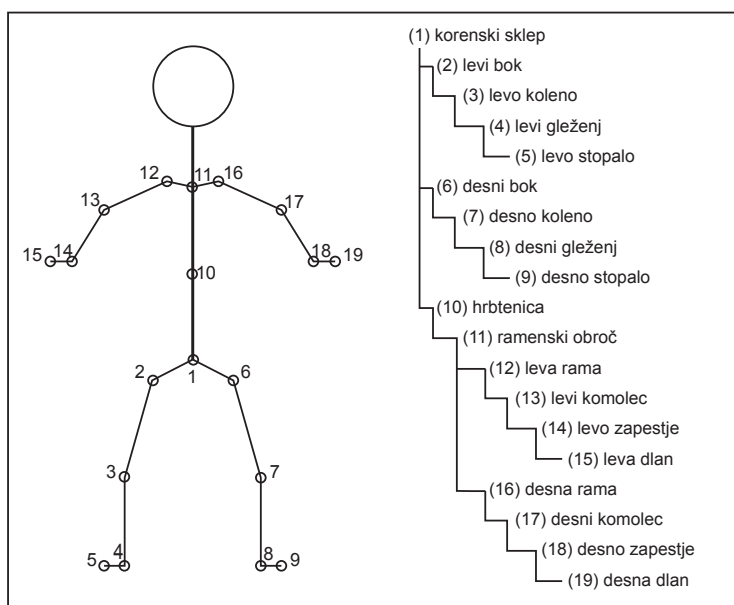
1. Postavljanje kontrol telesa

Hierarhija sklepov

Vsak lik, namenjen animiranju, je sestavljen iz dveh delov – mreže modela, ki predstavlja njegovo kožo in pa povezanih členov, ki predstavljajo sklepe. Členi stojijo na mestih, kjer imamo ljudje sklepe, povezave med členi pa predstavljajo kosti (zaradi lažje predstave, bomo člene poimenovali kar sklepi, povezave pa kosti, čeprav se strogo gledano to ne ujema vedno). Okostje modela je hierarhična struktura (drevo) sklepov. Če se sklep v hierarhičnem

drevesu pojavi pred nekim drugim sklepom, bomo rekli, da je prvi starš oziroma prednik drugega. Mesto sklepa v hierarhiji sklepov je pomembno, saj premikanje starša vpliva na vse njegove naslednike (celotno poddrevo).

Na tem mestu še dodajmo, da z levo polovico telesa mislimo na levo polovico gledano s strani modela in ne opazovalca. Slika 2.10 prikazuje osnovno postavitev sklepov za animiranje človeškega telesa. S tako postavitvijo dosežemo dober osnovni učinek premikanja okončin. Za bolj kompleksne modele razčlenimo zapestje dalje še na 5 prstov in prav tako gležnje (če hočemo res poudariti, da ima naš model tudi prste na nogah) ter dodamo še več sklepov v hrbtenico (posnemamo zgradbo vretenc). Sklep ključne kosti lahko nadaljujemo v glavo in tako dobimo kontrole za premikanje glave. Navadno se iz kosti glave spelje še kost v spodnjo čeljust in v oči, da lahko model široko odpre usta in obrača očesna zrkla.

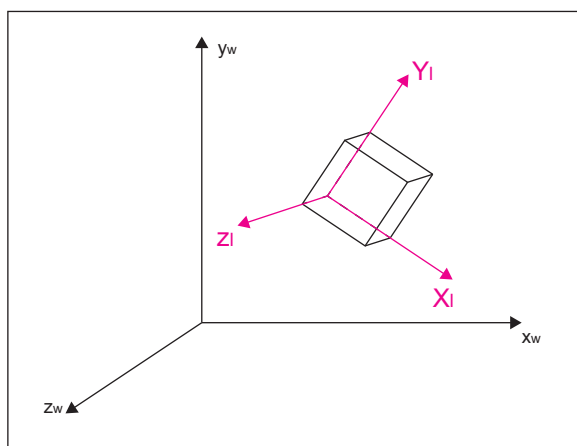


Slika 2.10: Slika prikazuje osnovno hierarhijo sklepov, s katero lahko premikamo celotno telo. Sklepi so kontrolne točke animiranega lika.

Preden si pogledamo, kako premik enega sklepa vpliva na vse sosednje sklepe, si za začetek pogledajmo najprej nekaj osnovnih pojmov glede koordinatnih sistemov in predstavitve točk; [5].

Koordinatni sistemi

Za naše potrebe si bomo obrazložili razliko med svetovnim in lokalnim koordinatnim sistemom. Vsak predmet ima lokalni koordinatni sistem, ki nam poda podatke o razporeditvi točk, torej o sami obliki modela. Da lahko model postavimo v svet pa potrebujemo svetovne koordinate v svetovnem koordinatnem sistemu. Za vsak predmet, ki ima svoje lokalne koordinate, lahko s transformacijami izračunamo svetovne koordinate.



Slika 2.11: Slika prikazuje svetovni koordinatni sistem in v njem kocko z lastnim lokalnim sistemom (označen z rdečo barvo).

Predstavitev točk in njihovih transformacij v svetu

Vsaka točka je zapisana kot vektor s tremi koordinatami $[x, y, z]^T$. Za naše potrebe si bomo ogledali, kako se spremenijo koordinate te točke, če jo rotiramo ali transliramo; operacijo skaliranja bomo preskočili, saj ta za nas pri kinematiki ni toliko pomembna, ker se dolžina kosti načeloma ne spreminja. Zaradi hitrejšega računanja vsaki točki v zapisu dodamo tudi četrto komponento (s privzeto vrednostjo 1), s pomočjo katere bomo vse operacije (seštevanje in množenje) spremenili v eno samo operacijo (množenje). Točka je sedaj vektor s štirimi komponentami $[x, y, z, 1]^T$, takemu zapisu koordinat pravimo homogene koordinate.

Translacija:

Točko u s koordinatami $[x, y, z, 1]^T$ transliramo tako, da koordinate pomnožimo s translacijsko matriko T , ki v zadnjem stolpcu vsebuje vektor premika $\mathbf{p} = [dx, dy, dz, 1]^T$, kjer dx predstavlja premik po x osi, dy po y osi in dz po z osi.

$$u' = Tu \quad (2.11)$$

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \\ z' \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & dx \\ 0 & 1 & 0 & dy \\ 0 & 0 & 1 & dz \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{bmatrix}$$

Rotacija:

Točko u s koordinatami $[x, y, z, 1]^T$ rotiramo okoli koordinatnega izhodišča tako, da začetni položaj točke u pomnožimo z rotacijsko matriko R , ki je produkt rotacijskih matrik R_x (rotacija okoli x osi), R_y (rotacija okoli y osi) in R_z (rotacija okoli z osi). Ker množenje matrik ni komutativno (razen v izjemnih primerih), je pomembno, v kakšnem vrstnem redu množimo matrike. V našem primeru točko u najprej rotiramo okoli x osi, nato y in nazadnje še okoli z osi.

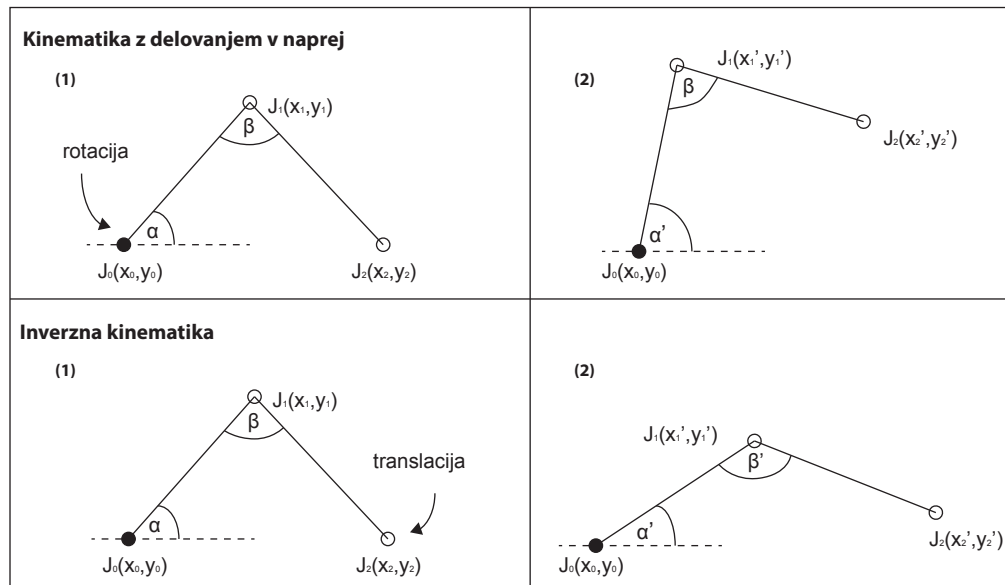
$$u' = Ru \quad (2.12)$$

$$u' = R_z R_y R_x u$$

$$\begin{aligned} \begin{bmatrix} x' \\ y' \\ z' \\ 1 \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} \cos\theta & -\sin\theta & 0 & 0 \\ \sin\theta & \cos\theta & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos\psi & 0 & \sin\psi & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\sin\psi & 0 & \cos\psi & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\phi & -\sin\phi & 0 \\ 0 & \sin\phi & \cos\phi & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{bmatrix} = \\ &= \begin{bmatrix} \cos\theta\cos\phi & \cos\theta\sin\psi\sin\phi - \sin\theta\cos\phi & \cos\theta\sin\psi\cos\phi + \sin\theta\sin\phi & 0 \\ \sin\theta\cos\phi & \sin\theta\sin\psi\sin\phi + \cos\theta\cos\phi & \sin\theta\sin\psi\cos\phi - \cos\theta\sin\phi & 0 \\ -\sin\psi & \cos\psi\sin\phi & \cos\psi\cos\phi & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{bmatrix} \end{aligned}$$

Kinematika

Kinematika je veda, ki se ukvarja z gibanjem telesa glede na sile, ki delujejo nanj. V našem primeru to pomeni, kako bo premik enega od sklepov deloval na vse ostale. Poznamo dve vrsti delovanja kinematike: kinematiko z delovanjem v naprej in inverzno kinematiko. Pri prvi se glede na trenutni sklep računa položaj vseh ostalih sklepov v njegovem poddrevesu, pri drugi pa se glede na končni sklep računa položaj vseh sklepov, ki so v hierarhičnem drevesu pred njim. Pri animiranju lika največkrat uporabljamo kar kombinacijo obeh kinematik; [11].



Slika 2.12: Slika zgoraj predstavlja delovanje kinematike v naprej, kjer z rotacijo prvega sklepa premaknemo tudi drugi in tretji sklep, pri čemer se kot med obema kostema ohrani. Slika spodaj prikazuje inverzno kinematiko, kjer s premikanjem končnega sklepa premaknemo sklep pred njim.

Kinematika z delovanjem v naprej

Pri kinematiki z delovanjem v naprej (angl. *forward kinematics*) nas zanima, kakšna je nova pozicija (nove koordinate) zadnjega sklepa v hierarhiji, če spreminjamo kote prednikov; [5, 12].

Odvisnost pozicije sklepa od kotov med kostmi lahko zapišemo z enačbo 2.13.

$$\mathbf{x} = f(\Phi) \quad (2.13)$$

Vektor \mathbf{x} predstavlja koordinate sklepa, Φ pa kote na poti.

Povezava:

Naj bo J_{i-1} poljubni sklep v hierarhiji sklepov, ki ni korenski ali končni in naj bo J_i njegov neposredni naslednik, s koordinatami $[x_i, y_i, z_i, 1]^T$. Zanimajo nas koordinate sklepa J_i , če premaknemo ali rotiramo sklep J_{i-1} .

Pri premikanju sklep J_i množimo z isto transformacijsko matriko, kot smo pri premiku sklepa J_{i-1} .

$$J'_i = T(p)J_i \quad (2.14)$$

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \\ z' \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & dx \\ 0 & 1 & 0 & dy \\ 0 & 0 & 1 & dz \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{bmatrix}$$

Pri rotaciji sklepa je pomembno, okoli katere osi sučemo. Recimo, da rotiramo sklep J_i okoli J_{i-1} v ravnini x,y (pomeni rotacija okoli z osi). Najprej koordinatno izhodišče za translacijski vektor \mathbf{p} premaknemo v sklep J_{i-1} , nato rotiramo okoli x osi, y osi in nato še le z. Dalje rotiramo nazaj po y osi in nazaj po x osi ter premaknemo izhodišče v prvotno stanje (premik za $-\mathbf{p}$). Tako dobimo nove koordinate sklepa J_i , rotiranega po z osi.

$$J'_i = T(-p)R(\theta, \phi, \psi)T(p) = T(-p)R_x^{-1}(\phi)R_y^{-1}(\psi)R_z(\theta)R_y(\psi)R_x(\phi)T(p)J_{i-1} \quad (2.15)$$

$$J'_i = MJ_{i-1}$$

kjer je M sestavljena transformacijska matrika.

Računanje kinematike v naprej:

Iz ene povezave lahko tako razmišljanje razširimo naprej na celo verigo sklepov. Naj bosta J_i in J_j sklepa v hierarhiji sklepov, kjer je J_i prednik sklepa J_j . Potem izračunamo koordinate sklepa J_j po enačbi 2.16 in je M produkt transformacijskih matrik na poti.

$$J'_j = M_{j-1}M_{j-2} \dots M_{i+1}M_iJ_i \quad (2.16)$$

Inverzna kinematika

Kot smo že povedali, pri inverzni kinematiki (angl. *inverse kinematics*) spreminjamo položaj zadnjega sklepa in računamo nove kote med kostmi in nove položaje sklepov. Ker imamo pri računanju kotov opravka z nelinearnimi enačbami (sinusna in kosinusna funkcija v rotacijski matriki), je iskanje pozicij vmesnih sklepov z inverzno kinematiko težje kot pri kinematiki z delovanjem v naprej. Pravzaprav obstaja analitična rešitev za največ dve kosti (3 sklepi), v splošnem pa ne; [4, 10, 11].

Za začetek najprej definirajmo Jacobijevo matriko. Jacobijeva matrika (oznaka $J(\mathbf{f}, \mathbf{x})$) je matrika, ki ima za elemente parcialne odvode funkcije f z m komponentami glede na dani vektor \mathbf{x} dimenzije n .

$$J(\mathbf{f}, \mathbf{x}) = \frac{\partial \mathbf{f}}{\partial \mathbf{x}} = \begin{bmatrix} \frac{\partial f_1}{\partial x_1} & \cdots & \frac{\partial f_1}{\partial x_n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial f_m}{\partial x_1} & \cdots & \frac{\partial f_m}{\partial x_n} \end{bmatrix} \quad (2.17)$$

Naj bo dan sklep \mathbf{e} s pripadajočimi koordinatami in pa množica kotov vseh prednikov sklepa \mathbf{e} v hierarhiji sklepov. Kot smo spoznali pri kinematiki z delovanjem v naprej, je položaj končnega sklepa \mathbf{e} odvisen od kotov vseh predhodnih sklepov in zapišemo z enačbo 2.18.

$$\mathbf{e} = f(\Phi) \quad (2.18)$$

Pri inverzni kinematiki nas zanima, kako se spremenijo koti predhodnih sklepov, če malo premaknemo sklep \mathbf{e} . To vprašanje s pomočjo Jacobijeve matrike zapišemo v enačbi 2.19.

$$\Delta \mathbf{e} \approx \frac{\partial \mathbf{e}}{\partial \Phi} \Delta \Phi = J(\mathbf{e}, \Phi) \Delta \Phi = J \Delta \Phi \quad (2.19)$$

Če znamo izračunati inverz Jacobijeve matrike J^{-1} , lahko iz te enačbe dobimo spremembe kotov, kar nas dejansko zanima pri inverzni kinematiki.

$$\Delta \Phi \approx J^{-1} \Delta \mathbf{e} \quad (2.20)$$

Ker imamo opravka z nelinearnimi funkcijami, lahko Jakobijevo matriko uporabljamo le kot aproksimacijo za izračun trenutnega kota. Torej moramo proces ponavljati, dokler se ne približamo želeni končni lokaciji.

Naj bo Φ množica kotov in je \mathbf{e} končni sklep in \mathbf{g} sklep, ki se mu hočemo približati (končni položaj kamor hočemo premakniti sklep \mathbf{e}). Izbrati želimo tako spremembo $\Delta\mathbf{e}$, da se bo sklep \mathbf{e} približal sklepu \mathbf{g} . Zapišemo z enačbo 2.21.

$$\Delta\mathbf{e} = \mathbf{g} - \mathbf{e} \quad (2.21)$$

Želimo, da bi nas ustrezen $\Delta\Phi$ pripeljal na želeni sklep, a ker imamo opravka z nelinearnimi funkcijami, se to ne zgodi, zato si izberemo poljubno majhen β , ki nas bo približal našemu cilju in dobimo 2.22.

$$\Delta\mathbf{e} = \beta(\mathbf{g} - \mathbf{e}), \text{ kjer } 0 \leq \beta \leq 1 \quad (2.22)$$

Zdaj ko imamo primerno majhen $\Delta\mathbf{e}$, lahko izračunamo J za trenutni Φ in pa inverz J^{-1} , katerega potrebujemo.

$$\Delta\Phi = J^{-1}\Delta\mathbf{e} \quad (2.23)$$

Iz tega izračunamo še novi kot Φ_{novi} , premaknjen za $\Delta\Phi$.

$$\Phi_{novi} = \Phi + \Delta\Phi \quad (2.24)$$

Pripenjanje kože

Ko imamo ustvarjen skelet, ga pripnemo na mrežo, ki predstavlja kožo (angl. *skinning*); [4]. Ob premikanju skeleta se premika tudi koža. Ogliščem na koži določimo enega ali več sklepov, ki vplivajo na njih. Če jim določimo en sklep, ki vpliva na njih, temu pravimo togo pripenjanje kože (angl. *rigid skinning*) in če jim določimo več sklepov, temu pravimo gladko pripenjanje kože (angl. *smooth skinning*). Pri togem pripenjanju kože se oglišče premika skupaj s skeletom in ohranja razdaljo do skeleta (oglišča postavimo v lokalni koordinatni sistem sklepa in ohranjamo razdalje). Ponavadi je izbran tisti sklep, ki je najbližje ogliščem. Čeprav je to računsko dokaj preprosto, je tak način pripenjanja kože malce nezaželen, saj hitro pride do napačne in nerealistične deformacije kože. Pri gladkem pripenjanju kože več sklepov vpliva na oglišča kože in vsak vpliva glede na uteži, ki jih določimo. Na tak način lahko bolje kontroliramo premikanje kože in deformacijo. Vektorji

premikanj točk d_i se določijo glede na vpliv sklepov na te točke. Končni premiki točk se izračunajo kot povprečje tež vplivov vseh sklepov, ki vplivajo na točko.

$$\mathbf{d} = \sum w_i d_i \quad (2.25)$$

Navadno je teža vseh sklepov, ki vplivajo na oglišče normalizirana, kar pomeni, da je njihova vsota enaka 1 ($\sum w_i = 1$).

Mišična deformacija kože

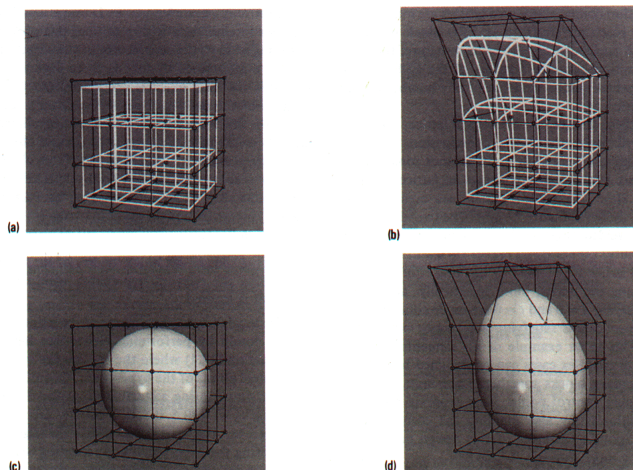
Za večji realizem se modelu lahko doda tudi mišice. Večplastni modeli so organizirani po strukturi okostje, mišice z maščobnim tkivom in koža. Najprej se zgradi okostje, kot smo spoznali zgoraj. Nato na sklepe okostja pripnemo mišice, čez njih pa potem »položimo« še kožo. Ob premiku kosti skeleta se premikajo mišice (seveda z ustrezno deformacijo) in pri tem vplivajo na kožo našega modela (na geometrijo). Deformacija mišic služi kot povezava med okostjem in kožo ter pri tem simulira krčenje in raztezanje mišic kot pri ljudeh; [17, 18, 20].

Pri človeku mišice služijo premikaju kosti in omogočajo gibanje celotnega telesa, pri 3D likih pa se uporabljajo za bolj realističen videz modela in naravno deformacijo kože. Za naše potrebe se bomo osredotočili na deformacijo kože ob izotoničnem krčenju mišic (angl. *isotonic contraction*)¹. Volumen mišic se ohranja, spremembe se dogajajo zaradi gibanja sklepov (premikanja okončin) in ne zaradi neenakomernega notranjega delovanja mišic (napenjanja).

Ogledali si bomo FFD pristop (angl. *Free-Form Deformation*), ki se uporablja za preprosto deformacijo trdih teles. Ideja FFD pristopa je v tem, da objekt postavimo v notranjost kocke (kocka je bila prva ideja za deformacijo, danes se uporabljajo predvsem krivulje oziroma drugi bolj kompleksni

¹Krčenje mišic delimo na dve večji skupini: statično (ne povzroči gibanja okostja) in dinamično krčenje (povzroči gibanje). Dinamično krčenje naprej ločimo v tri skupine: izotonično (sila mišic je enaka, volumen se ohranja, do spremembe oblike pride zaradi gibanja sklepov), ekscentrično krčenje (zaradi napenjanja se mišica daljša) in koncentrično krčenje (zaradi napenjanja se mišica krajša); [19].

objekti) in se predmet deformira glede na deformacijo te kocke, prikazano na sliki 2.13; [21].



Slika 2.13: Slika prikazuje koncept FFD deformacije s kocko. Ob deformaciji kocke se deformira tudi predmet, ki ga kocka obdaja; [22].

FFD s Casteljaujevim algoritmom:

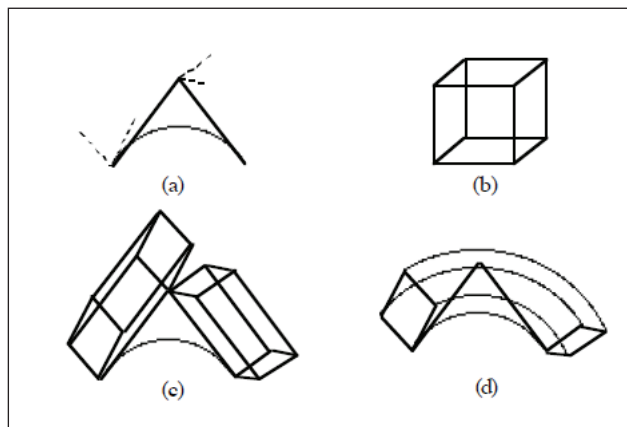
Ogledali si bomo pristop defomiranja predmetov, kot sta ga predlagala Y. Chang in A. P. Rockwood [23] in temelji na afinih transformacijah v 3D prostoru. Glavna ideja je, da predmet ovijemo s krivuljami in s tem zmanjšamo število točk, s katerimi obdamo 3D predmet. Veliko množico kontrolnih točk reduciramo na majhno število kontrolnih točk Bezierjeve krivulje. Z de Casteljaujevim algoritmom dobimo Bezierjevo krivuljo n -te stopnje s p_i kontrolnimi točkami pri parametru u po enačbi 2.26.

$$p_i^j(u) = (1 - u)p_i^{j-1}(u) + up_{i+1}^{j-1}(u), \text{ kjer } 1 \leq j \leq n, 0 \leq i \leq n - j \quad (2.26)$$

$$p_i^0(u) = p_i, \text{ kjer } 0 \leq i \leq n$$

Vsaka daljica Bezierjeve krivulje je podana z dvema točkama (2 ročki), kjer ena od njiju določa lokalni koordinatni sistem. Predmeti v (u,v,w) prostoru se preslikajo vzdolž Bezierjeve krivulje z iterativnimi afinimi transformacijami, izpeljanimi iz ročk in daljic. Za lažjo predstavo si pogledjmo sliko 2.14,

kjer se kocka (b) glede na krivuljo in 2 daljici s pripadajočima koordinatnima sistemoma (a) preslika v (c). In v drugem nivoju se kocka ovije okoli krivulje, slika (d).



Slika 2.14: Slika prikazuje Bezierevo krivuljo z dvema daljicama in ročkama (a), kocko, ki jo želimo deformirati (b), prvo stopnjo deformacije kocke glede na krivuljo (c) in drugo stopnjo deformacije glede na krivuljo (d); [23].

Če vektorji $\mathbf{r} = [q_x - p_x, q_y - p_y, q_z - p_z]^T$, $\mathbf{s} = [s_x, s_y, s_z]^T$ in $\mathbf{t} = [t_x, t_y, t_z]^T$ razpenjajo 3D prostor, je funkcija $\Phi[\mathbf{p}, \mathbf{q}] : \mathbb{R}^3 \rightarrow \mathbb{R}^3$ definirana kot afina transformacija iz parametričnega prostora v afin prostor v homogenih koordinatah po enačbi 2.27.

$$\Phi[\mathbf{p}, \mathbf{q}](\mathbf{u}) = \begin{bmatrix} q_x - p_x & s_x & t_x & p_x \\ q_y - p_y & s_y & t_y & p_y \\ q_z - p_z & s_z & t_z & p_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u \\ v \\ w \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{bmatrix} \quad (2.27)$$

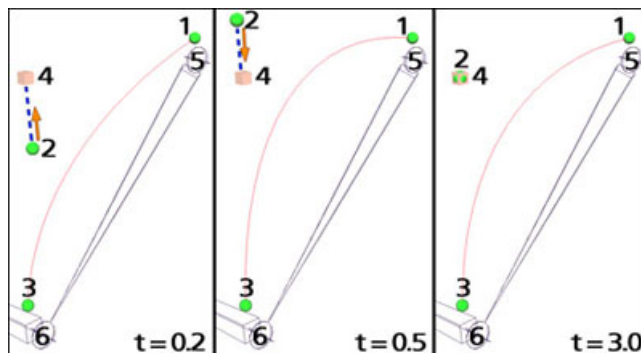
Kjer $\mathbf{u} = [u, v, w, 1]^T$. Posplošen de Casteljaujev algoritem je podan z 2.28.

$$\mathbf{p}_i^0(\mathbf{u}) = \mathbf{p}_i, \text{ kjer } 0 \leq i \leq n \quad (2.28)$$

$$\mathbf{p}_i^j(\mathbf{u}) = \Phi[\mathbf{p}_i^{j-1}, \mathbf{p}_{i+1}^{j-1}](\mathbf{u}), \text{ kjer } 1 \leq j \leq n, 0 \leq i \leq n - j$$

Parameter n predstavlja stopnjo in $\mathbf{p}_o^n(\mathbf{u})$ deformirano točko na predmetu $\mathbf{u} = [u, v, w, 1]^T$. Deformacijski algoritem izvaja iterativne afine transformacije in pri tem uporablja Bezierjevo krivuljo.

Mišico si lahko (poenostavljeno v 2D ravnini) predstavljamo kot Bezierjevo krivuljo s 3 kontrolnimi točkami (P_0, P_1, P_2), ki so kot kontrolne točke mišice, kot je prikazano na sliki 2.15. Določi se tudi točka ukrivljenosti, ki določa nevtralnostanje krivulje ; [17].



Slika 2.15: Slika prikazuje 3 kontrolne točke krivulje, s katero je opisana mišica. Slika na levi prikazuje iztegnjeno in slika na sredini skrčeno mišico. Slika na desni pa mišico v nevtralnem položaju (točki 2 in 4 sovpadata); [17].

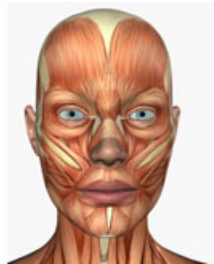
Deformacija mišic se pri animiranem liku izvaja avtomatsko glede na premik okostja. Kontrolne točke krivulj, ki obdajajo mišice, so vezane na okostje in se v skladu s pravilom o ohranjanju volumna mišic premikajo. Ob premiku kontrolnih točk, se premikajo tudi mišice, na te pa so vezane točke geometrije modela (koža).



Slika 2.16: Slika prikazuje triplastni model: okostje, mišice in koža; [24].

2. Postavljanje kontrol obraza

Modeliranje obraza in seveda postavljanje kontrol na obraz je zelo pomembno z vidika komunikacije našega modela. Največ komunikacije poteka preko obraza, saj z njim predstavimo trenutno razpoloženje našega lika. Z našimi kontrolami na obrazu pa prav tako izvajamo premikanja ust, s katerimi sinhroniziramo gibanje spodnjega dela obraza z avdio posnetki govora našega lika (angl. *lip-sync animation*). Pri postavljanju kontrol se zgledujemo po anatomski strukturi človeške glave, ki je sestavljena iz ene povezane kosti in ene premikajoče se kosti, to je spodnje čeljusti. Površina lobanje je prekrita s kožo, ki jo premikamo z mišicami. Torej vsa premikanja mišic na obrazu služijo ljudem kot sredstvo izražanja. Najpomembnejši obrazni deli, s katerimi sporočamo, so usta, veke oči in obrvi (ti pa za seboj puščajo gubice na čelu in smejalne jamice ob ustih).



Slika 2.17: Slika prikazuje anatomsko strukturo človeškega obraza; [16].

Postavljanje kontrol obraza je ponavadi povsem ločeno od procesa postavljanja kontrol telesa, ker deluje po drugačnem principu. Povsem neučinkovito je kontrolirati obraz s sklepi in kostmi, saj večino našega obraza premikamo z mišicami. Zato se pri postavitvi kontrol obraza zgledujemo po mišični zgradbi človeškega obraza in na ključne točke obraza postavimo kontrolne ročke; [3].

Metoda parametrizacije

Najbolj pogosta metoda postavljanja obraznih kontrol (torej kontrol za premikanje mišic na obrazu) je metoda parametrizacije, kjer postavljamo gruče točk (angl. *cluster*) in spreminjamo njihove parametre skozi čas. Točkam na

obrazu določimo, katere gruče lahko vplivajo na njih in s kakšno težo. Da je parametrizacija uporabna, je najbolje uporabiti majhno množico točk v gruči in pa da so parametri med seboj neodvisni. Seveda pa gruč ne sme biti preveč, saj bi s čim manjšim številom gruč radi dosegli čim več. Z gručami lahko kontroliramo točke, ki tvorijo obrvi, točke, ki tvorijo zgornjo ustnico in spodnjo ustnico ter točke ličnic in ostalih delov obraza, ki jih hočemo premikati.

Na tem mestu se posvetimo še ključnim pozam obraza (angl. *blend shapes*). Animiranje s ključnimi pozami je najbolj preprosta metoda obraznega animiranja. V tem koraku ustvarjanja modela za animiranje ustvarimo nabor obraznih izrazov tako, da obrazne gruče, ki nadzorujejo točke modela postavimo v točno določen položaj, ki mu pravimo ključna poza. Kasneje v fazi animiranja obraz v n -ti sliki postavimo v prvo ključno pozo in v $(n+k)$ -ti sliki v drugo ključno pozo, v vseh vmesnih k slikah pa se celoten nabor točk interpolira; [3]. Navadno ustvarimo nabor osnovnih človeških izrazov kot so:

- zdolgočasen – obraz je v nevtralnem položaju,
- vesel – dvignjene obrvi in usta v nasmehu,
- jezen – obrvi nad nosom spuščene proti očem in usta v ravni liniji in
- presenečen – dvignjene obrvi in ustva v obliki črke O.



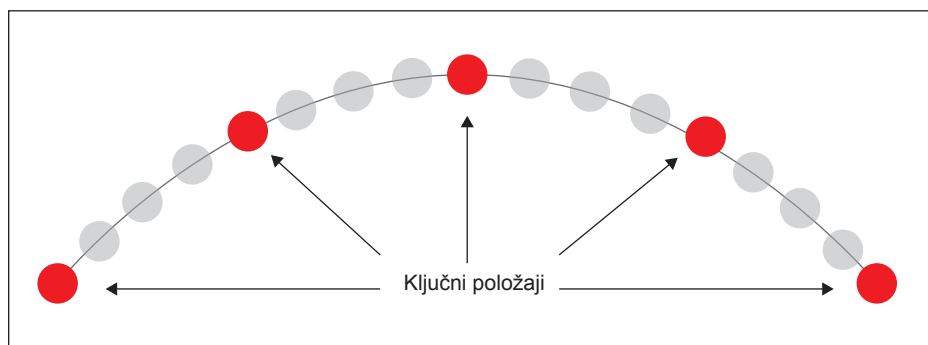
Slika 2.18: Slika prikazuje osnovne človeške izraze, s katerimi lahko izrazimo razpoloženje; [14].

2.2.5 Animiranje

Animiranje je zadnji korak v produkciji animiranega filma. V tej fazi bomo naše marionete (oblikovane in teksturirane like s pripetim okostjem in postavljenimi obraznimi kontrolami) premikali po prostoru (jih bomo animirali). Poznamo več načinov animiranja naših likov, a si bomo na tem mestu ogledali le dva najbolj pogosta: animiranje s ključnimi slikami in z zajemom gibanja.

Animacija s ključnimi slikami

Animacija s ključnimi slikami (angl. *keyframe animation*) je najbolj preprosta oblika animiranja, kjer na izbranih slikah določimo položaje predmeta, vsi položaji predmeta na vmesnih slikah pa se izračunajo sami kot interpolacije med zadnjo postavljeno sliko in naslednjo. Postopek je dobro prikazan na sliki 2.19, kjer so z rdečo barvo prikazani krogi, ki imajo točno določene položaje (v danem trenutku morajo imeti take koordinate, orientacijo in ostale parametre, ki jih želimo animirati, kot so na primer barva, velikost, ...), sivi krogi pa prikazujejo interpolacijo med prejšnjim in naslednjim ključnim položajem; [4].



Slika 2.19: Slika prikazuje delovanje animacije ustvarjene s ključnimi slikami, kjer določimo ključne slike in ključne položaje predmetov v teh slikah (rdeči krogi), na vmesnih slikah pa se položaji predmetov interpolirajo (sivi krogi).

Animiranje telesa:

Ko animiramo lik z animacijo s ključnimi slikami, naš model v danem trenutku postavimo v določeno pozo. To pomeni, da v izbrani sliki določimo položaj vseh sklepov; določimo lahko pozicijo začetnega sklepa in se položaj ostalih sklepov določi s kinematiko z delovanjem v naprej ali pozicijo končnega sklepa in se položaj ostalih sklepov določi z inverzno kinematiko. To si lahko predstavljamo kot da smo določili rdeče krogce na sliki 2.19. Od tu naprej se ostali položaji (sivi krogci) izračunajo kot interpolacija med ključnimi slikami, kar pomeni, da se vsak sklep posebej interpolira.

Animiranje obraza:

Ker že v fazi postavljanja kontrol določimo pozicijo kontrolnih točk pri določenem izrazu na obrazu, lahko zdaj v ključnih slikah samo določimo izraz obraza. Torej v danih slikah določimo pozo obraza, v vmesnih slikah pa se bodo kontrolne točke interpolirale na podoben način kot pri telesu.

Zajem gibanja

Zajem gibanja (angl. *motion capture*) je tehnika animiranja lika, ki deluje realistično, saj zajema dejansko gibanje človeka; [3]. S posebnimi tehnikami posnamemo gibanje igralca in ga »pripnemo« na naš lik. Trenutna poza igralca se prebere in prenese na naše okostje in tudi obraz. V skladu z vsakim premikom igralca (okostja ali obraznih mišic) se premika tudi naš model. Tak način animiranja je zelo pogost v filmih z domišljjskimi liki, kjer lahko na domišljjskem liku dosežemo velik realizem v gibanju in izrazih na obrazu.



Slika 2.20: Slika prikazuje igralca z značkami na obrazu in model, na katerega se pripne zajeto gibanje (na sredini brez in na desni s teksturo); [15].

2.3 Postprodukcija

V fazi postprodukcije imamo že upodobljene posnetke naših prizorov, na katere dodamo zvočne efekte ter glasbo v ozadju (sem spada tudi sinhronizacija glasov z našimi liki). Ustvarimo končno montažo vseh posnetkov. Če smo celoten projekt dobro načrtovali in premislili o vsakem koraku ustvarjanja animiranega filma, tu sploh ne bomo imeli težav. Če se je nekje vmes nekaj zalomilo, se lahko vrnemo nazaj in to popravimo ali pa z dobro montažo prikrijemo napake. Film z animiranim likom je pripravljen na ogled.

Poglavje 3

Ustvarjanje lastnega animiranega lika

3.1 Opis programskega orodja Maya

Programsko orodje, ki smo ga uporabili za izdelavo našega animiranega lika je Autodesk Maya, orodje za 3D animacijo. Vsebuje širok spekter orodij za izdelavo modela, njegove teksture in osvetljevanje. S tem orodjem lahko tudi postavljamo kontrole in uteži pri deformaciji kože ter lik v celoti animiramo. V Mayi lahko pišemo skripte, s katerimi si olajšamo delo. Skripte lahko pišemo v Pythonu ali MEL jeziku, slednji je ustvarjen za Mayo.

MEL (*Maya Embadded Language*) je skriptni jezik za poenostavitev opravil v Mayi. Z MEL skripto lahko opravimo večino opravil, ki jih dosežemo preko uporabniškega vmesnika in jo uporabljamo za pospeševanje opravljanja težjih in ponavljajočih se nalog. Poleg tega pa lahko za določene funkcije opravljamo opravila z večjo natančnostjo, ki v grafičnem vmesniku niso mogoča (obračanje lokalnih koordinatnih sistemov). Python je bil dodan v Mayo kot alternativni jezik MEL jeziku.

Maya se uporablja predvsem v filmski industriji za vizualne efekte in ustvarjanje 3D animiranih filmov ter v igralni industriji za ustvarjanje iger.

3.2 Opis izdelave lastnega animiranega lika

V prvem koraku izdelave animiranega lika smo se odločili, kaj sploh hočemo doseči z našim likom in kakšen bo na pogled. Ker nismo gradili velikega produkcijskega filma, nismo veliko časa posvečali scenariju in videzu okolice, kot se to navadno počne. V tem koraku smo samo razmislili, kakšen bo naš lik na zunaj in pa kakšne kontrole mu bomo postavili ter kako se bo lahko premikal. Odločili smo se za osnovno funkcionalnost, to je premikanje okončin in glave ter kontrolo oči, ust, ušes in obrvi na našem liku. Na koncu smo ustvarili kratek posnetek, ki prikazuje delovanje vseh kontrol.

Opis lika

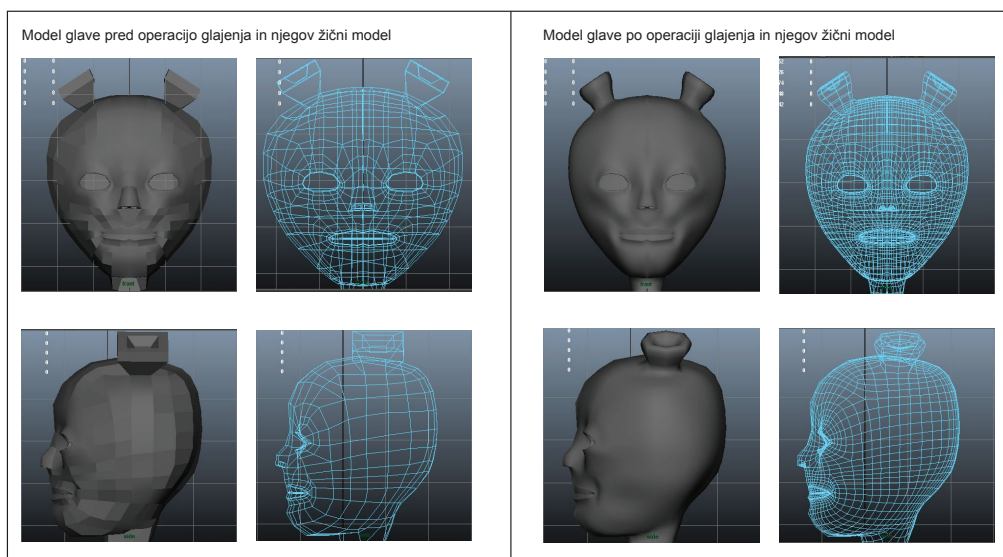
Lik bo nezemljan, vijolične barve s konstrukcijo telesa, podobnega človeškemu. Ima tri prste na rokah in je brez prstov na nogah. Ušesa ima posebne oblike, obrnjena navzgor. O karakternih lastnostih nismo razpravljali, saj te za nas niso bile pomembne.

3.2.1 Modeliranje

Orodje, kot je Maya, nam omogoča modeliranje samo ene polovice telesa, drugo pa potem samo preslikamo. Tako smo si izbrali modeliranje samo leve polovice lika, ki smo jo potem zrcalili čez YZ ravnino.

Ko smo se lotili modeliranja, smo si za osnovno predstavo in razmerja med okončinami v ozadje postavili referenčno sliko. Glede na sliko smo gradili telo in prilagajali model našim željam. Telo smo modelirali z načinom modeliranja s škatlami, kjer smo iz kocke, postavljene na sredino sveta, zgradili celotno telo. Glavo in obraz smo oblikovali z načinom modeliranja z robovi. Za začetek smo postavili osnovne poligone okoli ust in oči ter podaljševali robove navzven, da je model izgledal tako, kot smo želeli. Oči in usta smo nato povezali s poligoni in raztegovali robove do vratu. Posebno pozornost smo namenili ustom, kjer smo gradili na tekoči geometriji in pazili, da nobena točka ne bi izstopala, saj bi bilo pri kasnejši deformaciji kože to zelo vidno.

Glavo in telo smo nato v predelu vratu povezali (že prej smo pazili, da se število robnih točk telesa ujema s številom robnih točk vratu pod glavo) tako, da smo združevali po dve istoležni točki (orodje *merge vertex*). Povezano polovico telesa z glavo smo nato zrcalili čez ravnino YZ tako, da so se vmesne točke samodejno povezale (orodje *mirror geometry*). Modelu smo nato dodali še gladkost (orodje *smooth*), kar pomeni, da se med vse naše točke dodajo nove in se s tem zmanjša lomljenje polinomov. Razliko v lomljenju polinomov pred in po operaciji glajenja prikazuje slika 3.1.



Slika 3.1: Slika prikazuje mrežni in polni videz glave lika pred in po glajenju.

V tem koraku smo z načinom modeliranja s škatlami (in dobrimi referenčnimi slikami) ustvarili zgornji del zobovja. Začeli smo z dlesnijo, iz katere smo vlekli ven zobe (orodje *extrude*) in jih oblikovali. Ustvarjeno zobovje smo podvojili in podvojen model zrcalili ter malo pomanjšali tako, da smo dobili še spodnji del zobovja. Obe polovici smo postavili na pravo mesto v ustno votlino in ustrezno zmanjšali velikost. Za oči smo uporabili 2 poligonski sferi, ki smo ju samo postavili na pravo mesto v notranjosti glave in skalirali do ustrezne velikosti.

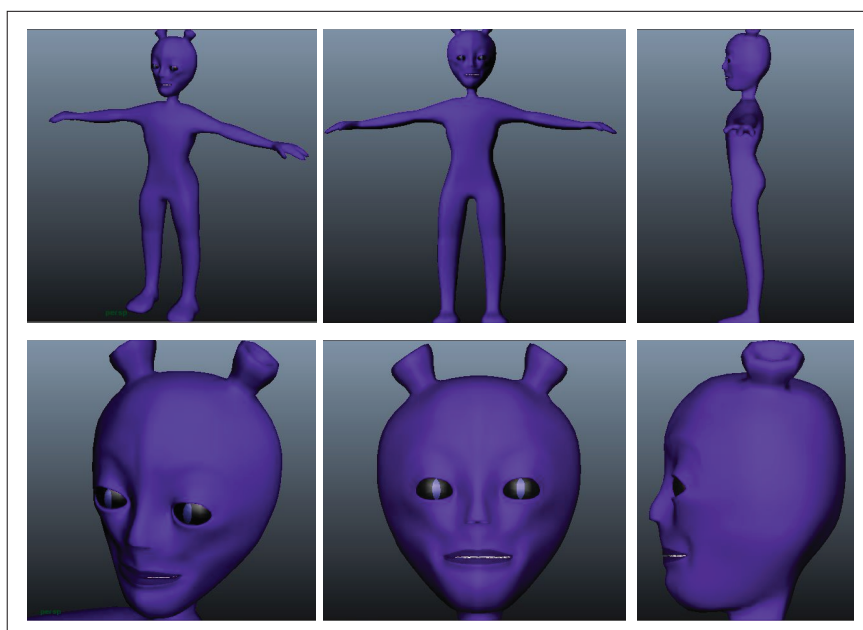
Od tu dalje smo se ukvarjali samo še s podrobnostmi, da smo pripeljali model v zeleno končno stanje.

3.2.2 Teksturiranje in osvetljevanje

Zgrajenemu modelu smo dodali samo barve (nismo lepili nobenih drugih teksturnih zemljevidov), ki jih ponuja Maya. Za začetek smo določili, kako bo kakšna površina pobarvana. Nato smo ustvarili materiale v Mayi in jim določili barve. Tabela 3.1 vsebuje podatke o površinah, barvah in načinu osvetljevanja površin, ki so bili uporabljeni.

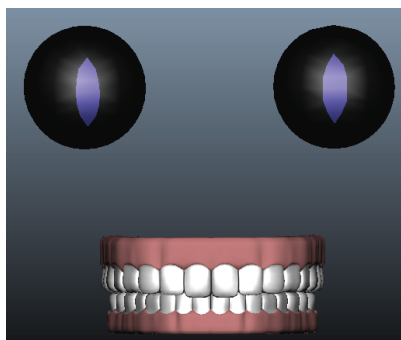
del telesa	koža lika	ustnice lika	oko	šarenica	dlesen	sklenina
model	lambert	lambert	blinn	blinn	lambert	blinn
barva	vijolična	temno vijolična	črna	svetlo vijolična	roza	bela

Tabela 3.1: Tabela navaja vse uporabljene materiale in barve.



Slika 3.2: Slika prikazuje videz lika po teksturiranju od leve proti desni iz perspektivnega pogleda, pogleda od spredaj in stranskega pogleda.

Pri osvetljevanju se nismo dolgo ustavljali. Naš model smo osvetlili z žarometom (ta je služil kot glavna luč in meče senco) ter dodali globino z zadnjo ambientno lučjo.



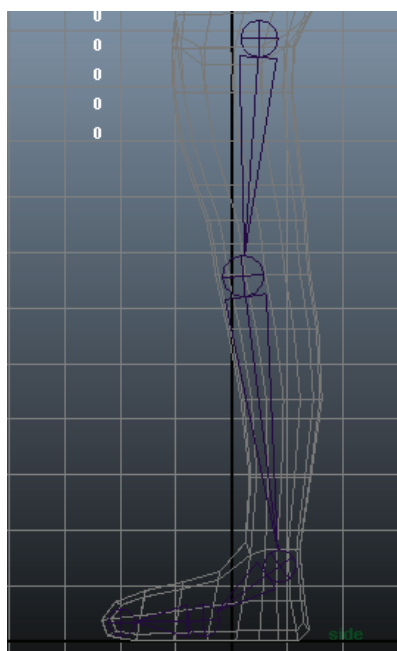
Slika 3.3: Slika prikazuje teksturirano zobovje in oči lika.

3.2.3 Postavitev kontrol

Proces postavljanja kontrol na telo in obraz smo razdelili na dva dela. Prvi je vseboval postavitev sklepov in kosti za premikanje telesnih okončin ter glave, ušes in pa oči, drugi pa postavitev krivulj in postavitev gruč za nadzor točk krivulj, s katerimi bomo premikali ustnici in obrvi.

Kontrole telesa

Pri postavljanju kontrol smo se zgledovali po človeškem okostju. Pozorni smo bili na orientacijo naših sklepov. Že pri postavljanju sklepov smo pazili, da imajo poravnane lokalne koordinatne sisteme, kjer x os kaže na prvega naslednika v hierarhičnem drevesu sklepov (koordinatni sistem v svetovnih koordinatah smo nastavili samo pri korenskem sklepu, saj smo ga namenili za premikanje celotnega telesa). Za začetek smo s stranskega pogleda postavili 5 sklepov leve noge: sklep na kolku, koleno, gleženj, sredina stopala in prsti. V Mayi je določeno, da je vsak naslednji sklep povezan neposredno s svojim očetom; to za nas predstavlja kost. Celo vejo sklepov smo postavili na prava mesta znotraj leve noge našega modela. Posebno pozornost smo namenili kolenu (in kasneje komolcu), saj smo že vnaprej vedeli, da bodo sklepi v kolku, kolenu in gležnju povezani z orodjem za povezovanje kosti z inverzno kinematiko (orodje *IK handle tool*). Kolenski sklep smo postavili pod kotom in s tem nakazali primarno smer gibanja kolena ob premiku gležnjskega sklepa. Drugo vejo smo gradili od medenice do ključne kosti. 4 sklepe smo postavili

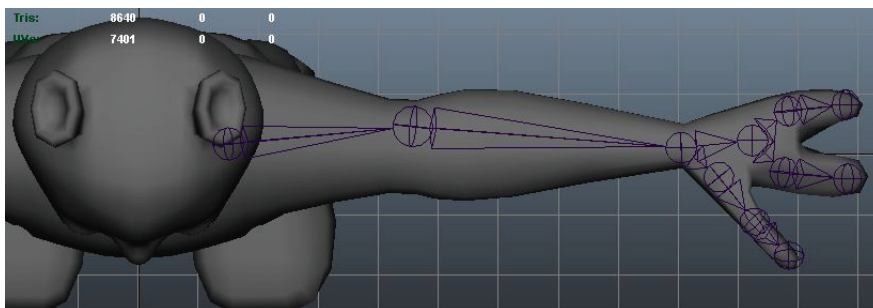


Slika 3.4: Slika prikazuje postavitev sklepov v levi nogi modela.

v linijo enega nad drugim, pri čemer smo začeli od spodaj (medenica), saj bo ta sklep predstavljal naš korenski sklep. Vejo v nogi smo povezali z vejo, ki predstavlja hrbtenico, tako da je korenski element neposredni prednik sklepa levega kolka.

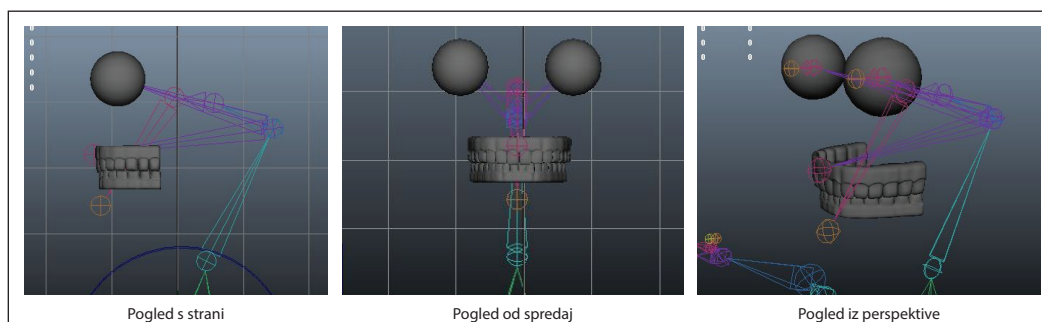
Naprej smo v pogledu od zgoraj postavili vse sklepe v levo roko: sklep rame, komolec, zapestje, dlan in sklepi členkov v prstih našega lika. Te sklepe smo postavili na prava mesta in nato celo vejo povezali s sklepom v ključni kosti, tako da je roka v hierarhiji pod vejo hrbtenice.

Po postavitvi leve polovice našega okostja, smo naš skelet zrcalili čez ravnino YZ (seveda smo pri tem pazili, da bo zrcaljeni skelet posnemal obnašanje leve polovice in se sklepi hrbtenice ne bodo podvajali). V tem koraku smo naše sklepe logično in urejeno preimenovali, s čimer smo dosegli urejenost in dobro organizacijo. V oknu (orodje *outliner*), kjer imamo vse naše sklepe, geometrije, luči in kamere, lahko hitro pride do zmede, če nismo organizirani. Do veliko komponent na našem modelu lahko dostikrat pridemo samo preko tega okna in pravo poimenovanje nam to zelo hitro omogoči.



Slika 3.5: Sklepi v levi roki modela.

Okostje smo podaljšali v glavo, da bi s tem omogočili osnovno premikanje glave, ušes, oči in zobovja. V stranskem pogledu smo postavili sklep v vrat, nato v glavo in od tu v zobovje, oči ter ušesa. Celo postavitev smo povezali s sklepom v ključni kosti (četrti sklep hrbtenice). Dodane sklepe smo preimenovali in odstranili morebitne prejšnje transformacije (orodje *freeze transformation*) na celotnem skeletu.



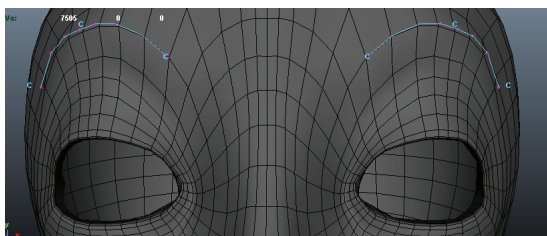
Slika 3.6: Slika prikazuje postavitev sklepov v glavi.

Po postavitvi okostja telesa smo preverili, kako je z orientacijo naših sklepov, saj bo ta pri premikanju modela zelo pomembna. Vsi sklepi so se že od prej držali pravila, da so lokalni koordinatni sistemi po x osi usmerjeni proti prvemu nasledniku in pa po y ali z osi poravnani tako, da bo glavna smer rotacije tega sklepa rotirala v pozitivno smer. Kjer to ni veljalo, smo lokalni koordinatni sistem obrnili, da je bila rotacija v pozitivno smer.

Celoten skelet (telo in glavo) smo nato povezali z našim modelom (orodje *skinning*).

Kontrole obraza

Ker obrazne mišice ne moremo nadzorovati s sklepi, smo si pomagali s krivuljami. Na točke, na katere smo hoteli vplivati, smo postavili krivuljo. Za zgled si pogledjmo sliko 3.9 in postavljanje kontrol obrvi. Za ustvarjeno krivuljo (z osmimi kontrolnimi točkami) smo ustvarili tri gruče, C1, C2 in C3 (na sliki 3.9 je na levi obrvi modela najbolj leva gruča C1 in najbolj desna gruča C3). Vsem trem gručam smo določili kolikšen vpliv imajo na vsako točko krivulje, določili smo jim uteži, navedene v tabeli 3.2. S takim načinom je lažje animirati model in tudi premikanja so bolj realistična.



Slika 3.7: Slika prikazuje krivuljo, s katero nadzorujemo obrvi in njene kontrolne točke, vezane na obliko modela.

točke/gruč	C1	C2	C3
t1	1	0,2	0,1
t2	0,9	0,5	0,2
t3	0,7	0,7	0,3
t4	0,5	1	0,4
t5	0,4	1	0,5
t6	0,3	0,7	0,7
t7	0,2	0,5	0,9
t8	0,1	0,2	1

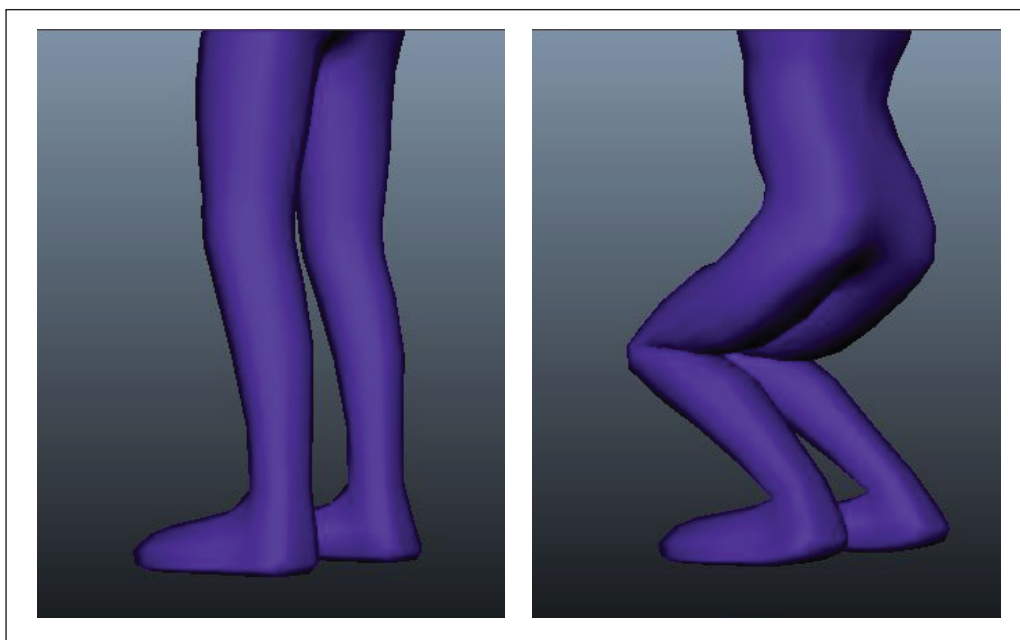
Tabela 3.2: Tabela navaja vrednosti uteži gruč na točke krivulje, ki nadzoruje obrvi.

3.2.4 Deformacija kože

Po osnovnih premikih glave in okončin smo opazili, da se koža ne deformira lepo, saj na eno točko vpliva več sklepov. Odločili smo se, da bomo lepo deformacijo kože ustvarili z načinom barvanja uteži. Za vsak sklep (in krivuljo) posebej smo določili njegov vpliv in s čopičem za barvanje uteži (orodje *paint weight tool*) pobarvali točke okoli njega. Če ima sklep na točko 100% vpliv, je to področje popolnoma belo, če na točke nima vpliva, je to področje popolnoma črno. Vse sivine vmes predstavljajo sestavljeno deformacijo, kar dejansko pomeni, da na to točko vpliva več sklepov. Tu smo pazili, da je vsota uteži vseh sklepov, ki vplivajo na točko, enaka 1 (normalizirana vsota).

Deformacija telesa

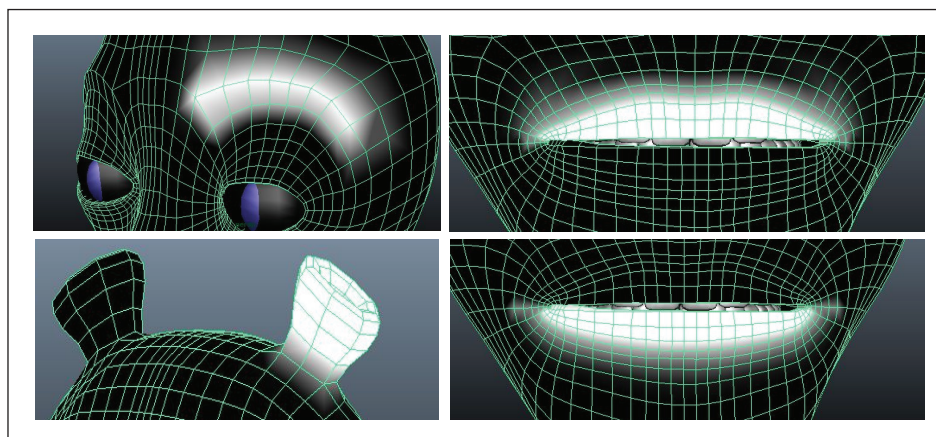
Pri sklepih, kjer nam Mayina privzeta postavitev uteži ni bila všeč, smo jih popolnoma prebarvali in poskusili doseči lepo deformacijo, kjer se poligoni med seboj ne bi prekrivali. Držali smo se pravila, da na skupino točk vplivata največ dva sklepa. Največ časa smo se ukvarjali s koleni in komolci.



Slika 3.8: Slika prikazuje deformacijo kože ob počepu modela.

Deformacija glave

Najprej smo postavili uteži na obrvi in usta, kjer so postavljene krivulje. Tu smo na točkah, kjer so krivulje pripete na model, določili popoln vpliv (belo področje) in na sosednjih točkah, bolj kot smo šli stran od krivulje, manjši vpliv (sivine). Kar pomeni, da se ob premiku krivulje na primer na obrvi ne premakne samo en rob, kar deluje zelo nerealistično, temveč tudi okolica zraven. Naprej smo določili uteži ušesom, ki so popolnoma nadzorovana s sklepi v njih. To pomeni, da smo jim določili 100-% vpliv na vrhu ušes in minimalen vpliv na predelu pri stiku ušesa z glavo (ta je potreben samo za realističen premik). V tem koraku smo uteži ust, obrvi in ušes zaklenili, kar pomeni, da se njihove vrednosti ne bodo spreminjale, ko bomo barvali vplive drugih sklepov.

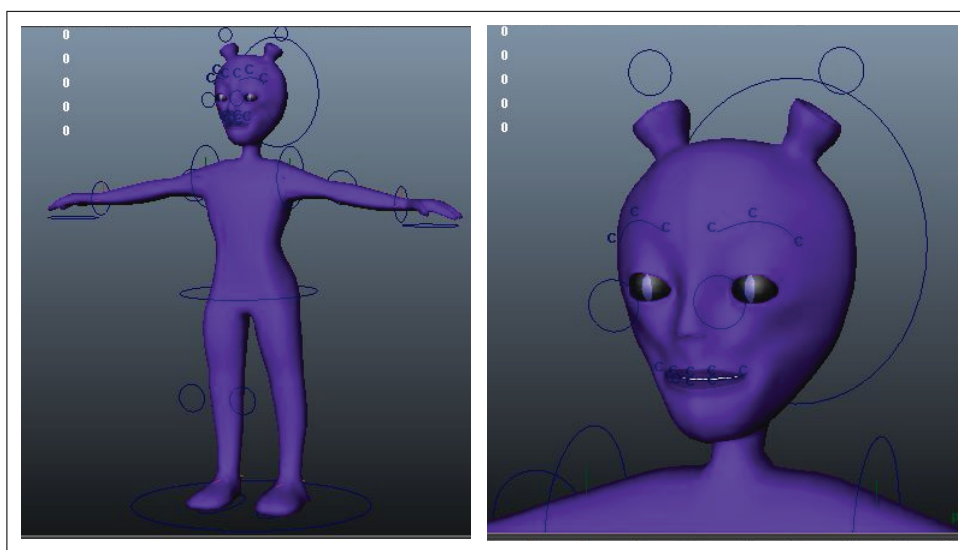


Slika 3.9: Slika prikazuje področje vpliva krivulj na levi obrvi in ustih ter vpliva zadnjega ušesnega sklepa na levo uho.

3.2.5 Animiranje lika

V tej fazi izdelave lika za animiranje smo si za vse postavljene kontrole ustvarili krivulje za lažje premikanje. Okoli delov teles, za katere smo želeli imeti zunanje kontrole, smo si narisali krog. Krog smo nato povezali z izbranim sklepom telesa (orodje *parent*), tako da se ob premikanju kroga premakne

tudi podrejeni sklep. Povezava med sklepom in krogom je bila glede na orientacijo (pri glavi, ušesih, dlaneh, korenskem sklepu, stopalih in celotnem liku), glede na translacijo (pri očeh, ramenih, zapestjih, korenskem sklepu, gležnjih in celotnem liku) in glede na vektorsko povezavo (pri IK povezavi na komolcih in kolenih). S temni zunanji kontrolami smo lik lažje obvladovali in ga v danih slikah postavili v želeno pozo.



Slika 3.10: Slika prikazuje krivulje (kroge) okoli našega lika, ki delujejo kot zunanje kontrole notranjih kontrol, ki dejansko premikajo naš lik.

V tem koraku smo za izbrane slike določili ključne poze in lik animirali. Ko smo bili zadovoljni z videzom animacije smo v nastavitvah za upodabljanje (orodje *render options*) za vsak posnetek posebej nastavili način upodabljanja:

- Maya Software Tool – za upodabljanje polnih modelov s teksturo ali
- Vector – za upodabljanje žičnega modela lika.

Nastavili smo tudi način izvoza v posnetek formata *.avi* z velikostjo 600x800. Za vsak posnetek posebej smo določili interval slik (s korakom 0.5 slike), ki naj jih upodobi. Vse posnetke smo v fazi postprodukcije združili v en končni posnetek.

Poglavje 4

Sklep

Skozi izdelavo diplomskega dela smo spoznali, da je ustvarjanje modela za animacijo in samo animiranje zelo zahteven in dolgotrajen proces. Uspešno smo ustvarili svoj lasten model in mu postavili kontrole ter pripravili kratek animiran posnetek. Za vsako fazo v produkciji smo porabili veliko časa, saj smo se najprej seznanili z vsemi postopki ustvarjanja in nato to tudi realizirali. Tekom dela smo se srečali z različnimi težavami in prišli do raznih zaključkov.

- **Modeliranje**

Faza modeliranja nam je vzela največ časa, a ne zaradi svoje kompleksnosti, temveč zaradi obsega. Model mora biti dobro zgrajen in imeti dobro povezano geometrijo, ki se bo ob premikih lepo deformirala. Modeliranje je eden izmed bolj pomembnih korakov, kar se je na koncu pokazalo za zelo resnično. Ker v fazi načrtovanja nismo dobro premislili, je imel naš model preveč tanke ustnice. Ko smo na model postavili kontrole ustnic in usta odprli, smo opazili, da model ne deluje realistično. Težava, ki je pri tem nastala, je, kako bomo model popravili in mu dodali realizem in pri tem ne porušili celotne povezave sklepa in kontrol na že obstoječe točke s postavljenimi (pobarvanimi) utežmi. Problem smo rešili tako, da smo podrli hierahijo ustnic s preostalim okostjem in izbrisali obstoječe kontrole na ustnicah (krivulje), model

popravili in še enkrat postavili kontrole in uteži na točke.

- **Teksturiranje in osvetljevanje**

Ker smo si izbrali zelo enostaven zunanji videz modela (vijolična barva), s teksturami nismo imeli veliko težav. Največ časa nam je vzelo barvanje oči in zobovja. Pri osvetljevanju se tudi nismo dolgo zadrževali, saj smo se držali pravila manj je več in si zelo poenostavili postavitev luči.

- **Postavljanje okostja in orientacija sklepov**

Postavljanje okostja je samo po sebi lahko delo, saj smo se dobro pozanimali o osnovni človeški konstrukciji. Zataknilo se je le pri vratu, kjer smo po povezavi skeleta s kožo naleteli na težavo pri obračanje glave, saj nam je manjkal en sklep med ključno kostjo in prvim sklepom v glavi. Problem smo opazili že na začetku (po postavitvi skeleta smo takoj preverili osnovno funkcionalnost in deformacije) in ga rešili brez najmanjših problemov. Dodali smo še en sklep na začetek vratu, da smo glavo lahko premikali brez premika ključne kosti in okostje na novo povezali s kožo.

V tem delu smo se spoznali tudi z osnovnim skriptiranjem v MEL jeziku, ki je vgrajen v Mayo. Napisali smo nekaj ukazov, s katerimi smo rotirali lokalne koordinatne sisteme v sklepih, kjer je bilo to potrebno.

- **Povezovanje skeleta in postavljanje uteži**

Najbolj dolgotrajen in zahteven proces pri celotni izdelavi izdelka je bil postavljanje (barvanje) uteži. Lepo, realistično deformacijo kože je zelo težko doseči. Vsaka smer gibanja nekega sklepa drugače vpliva na določeno množico točk, zato smo se osredotočili predvsem na primarno smer gibanja. Prva težava na katero smo naleteli je postavljanje uteži na izbrane vplive (sklepe ali krivulje) in se je vsakič, ko smo barvali množico točk, prejšnje delo podrlo (ker Maya normalizira vplive na posamezno točko). Problem smo rešili z zaklepanjem uteži tako, da smo najprej postavili uteži pomembnejših delov (na primer obrvi), jih zakle-

nili in potem popravljali ostale sklepe in krivulje (na točke, kjer obrvi nimajo 100-% vpliva, smo dodali vpliv sklepa zgornjega dela glave). V večini primerov smo se držali pravila, da na skupino točk vplivata največ dva vpliva (sklep ali krivulja).

Nadaljnje delo

Naš model in njegove kontrole bi lahko razširili v veliko smeri. Po eni strani bi lahko dodali še več kontrol, na primer veke ali ličnice, po drugi pa bi lahko gradili na realizmu in mu dodali boljšo teksturo ali pa celo lase in dlake na telesu. Liku bi lahko dodali tudi oblačila, saj Maya nudi veliko orodij za delo z njimi.

Ker se nam je zdelo postavljanje uteži in lepa deformacija kože najtežje delo v celotnem procesu, bi lahko nadaljnje delo usmerili v pisanje skripte v MEL jeziku, ki bi lepo deformirala kožo ob kosteh z inverzno kinematiko (komolci, kolena). Izbrana vozlišča bi se lepo premikala na posamezni stopnji premika. Po drugi strani pa bi lahko na naše kosti prilepili mišice (kar Maya tudi omogoča) in tukaj dalje gradili deformacijo.

Zdaj ko razumemo tehnike modeliranja in animiranja našega lika, bi lahko to prenesli tudi na področja, kot so avtomatsko premikanje ust glede na dani avdio posnetek, proceduralno animiranje lika, grajenje novih likov iz osnovnega modela s spreminjanjem parametrov in pa druga zanimiva področja, s katerimi bi si olajšali in pohitrili delo.

Poglavje 5

Zaključek

Kot ste lahko prebrali, je postopek izdelave lika in njegovih kontrol dolgotrajen in zahteven. V produkcijski hiši Sony Pictures Imageworks, kjer so poustvarili smrkce, se je 268 animatorjev kar 358.000 ur ukvarjalo z animiranjem smrkcev, kaj šele katera druga hiša, ki je gradila celotno sceno vseh prizorov in vse like. Veliki projekti se res ustvarjajo veliko časa, a kaj ko je vse vredno in ljudje kar hitijo v kinematografe, da bi si ogledali animirane like, ki so iz filma v film bolj realističnega videza.

Realizem se gradi predvsem na dobrem poznavanju orodij in matematičnem odzadju, s katerim se lahko zelo dobro približamo naravnemu gibanju in izgledu. Nekaj malega smo tudi mi ustvarili na zadovoljivem nivoju, s katerim smo se predvsem veliko naučili. Od tu dalje lahko samo še več gradimo in animiramo, da bi si nabrali potrebne izkušnje in nadgrajevali svoje znanje iz modela v model, da bi nekoč tudi mi ustvarili srčkane karakterje, ki bodo obnoreli svet.

Literatura

- [1] Dariush Derakhshani. *Introducing Maya 2008*. Indiana, 2008.
- [2] Jason Osipa. *Stop Staring: Facial Modeling and Animation Done Right*. Indiana, 2007.
- [3] R. Parent, D. Ebert, D. Gould, M Gross, C. Kazmier, R. Keiser, C. Lumsden, A. Menache, M. Müller-Fischer, R. Musgrave, M. Pauly, D. Peachey, K. Perlin, H. Pfister, J. Sharpe, M. Wicke, M. Wilkins, N. Woolridge, S. Worley. *Computer Animation Complete: All-in-One: Learn Motion Capture, Characteristic, Point-Based, and Maya Winning Techniques*. USA, 2010.
- [4] Peter Shirley. *Fundamentals of Computer Graphics*. USA, 2002.
- [5] Matija Marolt. *Računalniška grafika in tehnologija iger – prosojnice predavanj*, 2012.
- [6] Justin Slick. *Common Modeling Techniques for Film and Games*. Dostopno na: [http : //3d.about.com/od/3d – 101 – The – Basics/a/Introduction – To – 3d – Modeling – Techniques.htm](http://3d.about.com/od/3d-101-The-Basics/a/Introduction-To-3d-Modeling-Techniques.htm).
- [7] Justin Slick. *Creating a UV Layout*. Dostopno na: [http : //3d.about.com/od/3d – 101 – The – Basics/a/Surfacing – 101 – Creating – A – UV – Layout.htm](http://3d.about.com/od/3d-101-The-Basics/a/Surfacing-101-Creating-A-UV-Layout.htm).
- [8] Justin Slick. *Standard 3D Lightnig Techniques, Light Types in Maya & 3DS Max*. Dostopno na: [http : //3d.about.com/od/Creating – 3D –](http://3d.about.com/od/Creating-3D-)

The – CG – Pipeline/a/3d – Lighting – Techniques – Standard – 3d – Lighting₂.htm.

- [9] Szymon Rusinkiewicz. A Survey of BRDF Representation for Computer Graphics. Dostopno na: <http://www.cs.princeton.edu/smr/cs348c-97/surveypaper.html>.
- [10] Ming Yao. Mathematics for Inverse Kinematics. Dostopno na: <http://graphics.cs.cmu.edu/nsp/course/15-464/Fall09/handouts/IK.pdf>.
- [11] Željka Mihajlović. Prosojnice predavanj - Računalniška grafika na fakulteti za elektrotehniko in računalništvo, Hrvatska. 2012. Dostopno na: <http://www.zemris.fer.hr/predmeti/ra/predavanja/4kinemat.pdf>.
- [12] Jehee Lee. Seoul National Inversity, Kinematics. 2012.
- [13] V. Orvalho, P. Bastos, F. Parke, B. Oliveira, X: Alvarez. A facial Rigging Survey.2012. Dostopno na: <http://diglib.eg.org/EG/DL/conf/EG2012/stars/183-204.pdf.abstract.pdf>.
- [14] Dundee Arts Cafe. Avatars Have Emotions Too! The Art and Science of Believable Facial Animation.2010.Dostopno na: <http://www.dundeeartscafe.co.uk/tag/facial-expression/>.
- [15] Free Motion Capture Data. Dostopno na: <http://freemotionfiles.blogspot.com/2009/03/facial-mocap-file.html>.
- [16] Susan Kruglinski. Humans Have 5 Universal Facial Muscles-and 10 Optional Ones.2009. Dostopno na:<http://discovermagazine.com/2009/jan/091>.
- [17] L. K. Siang, G. Asharaf. Simplified Muscle Dynamics For Appealing Real-Time Skin Deformation. Singapor, 2007. Dostopno na:http://www.comp.nus.edu.sg/undergraduates/undergraduates/urop_sample_muscle.html.

-
- [18] J. E. Chadwick, D. R. Haumann, R. E. Parent. Layered Construction For Deformable Animated Characters. Ohio, 1989.
- [19] A. Šetinc. Postopki in sredstva pri rehabilitaciji športnika. Diplomsko delo. Ljubljana, 2007.
- [20] T. W. Sederberg. Prosojnice predavanj - Computer Aided Geometric Design, Chapter 14: Free-Form Deformation (FFD). Brigham Young University, 2011. Dostopno na : cagd.cs.byu.edu/557/text/ch14.pdf.
- [21] Wikipedia. Free-form deformation. Dostopno na: [http : //en.wikipedia.org/wiki/Free - form_deformation](http://en.wikipedia.org/wiki/Free-form_deformation).
- [22] Basic concept of Free Form Deformation. Dostopno na: [http : //cse.taylor.edu/btoll/s99/424/res/model/ffd/basic.html](http://cse.taylor.edu/btoll/s99/424/res/model/ffd/basic.html)
- [23] Y. Chang, A. P. Rockwood. A generalized de Casteljau Approach to 3D Free-form Deformation.
- [24] Turbo Squid. Male anatomy. Dostopno na: [http : //www.turbosquid.com/3d - models/3d - realistic - anatomy - skeleton - muscles - model/671345](http://www.turbosquid.com/3d-models/3d-realistic-anatomy-skeleton-muscles-model/671345).

Poglavje 6

Priloge

Diplomskemu delu je priložena tudi zgoščenska, ki vsebuje:

- diplomsko nalogo (.pdf),
- video posnetek (.avi, .mov in .mp4) ter
- datoteko z ustvarjenim likom (.mb).