

Virtualna okruženja

Laboratorijske vježbe

Vježba 2

Ubrzavanje iscrtavanja

FER – ZTEL – Igor S. Pandžić,

Suradnja na pripremi vježbe:

Mirko Sužnjević

Sara Vlahović

Josip Matić

Sadržaj

1. Uvod.....	3
2. Alati potrebni za izvođenje vježbe	3
3. Teorijska podloga.....	3
3.1. Odbacivanje stražnjih poligona (eng. <i>Backface culling</i>).....	4
3.2. Odbacivanje po projekcijskom volumenu (eng. <i>Frustum culling</i>)	5
3.3. Odbacivanje po prekrivenosti (eng. <i>Occlusion culling</i>)	5
3.4. Tehnike razine detalja (eng. <i>Level of detail</i>)	6
3.4.1. Srodne tehnike.....	8
3.5. Optimizacija protočnog sustava.....	9
3.5.1. Optimizacija aplikacijske faze	9
3.5.2. Optimizacija faze rasterizacije.....	9
4. Opis zadatka	10
5. Upute za rad	10
5.1. Sučelje aplikacije	11
5.2. Tablica mjerenja	13
5.3. Odabir kombinacije tehnika	14
6. Pomoćni materijali za izradu vježbe	16
7. Predavanje rezultata vježbe	16
8. Napredni zadaci (ovaj dio nije obavezan)	16
8.1. Dodavanje objekta u scenu	16
8.2. Dodavanje panoa stablima	17

1. Uvod

U aplikacijama sa interaktivnim 3D virtualnim okruženjem kao što su simulatori i video igre obično postoje donje granice koliko sličica u sekundi aplikacija mora iscrtavati na ekran kako bi korisnici tih aplikacija bili zadovoljni. Primjerice, kako bi ljudsko oko steklo privid kretanja, potrebna je najmanja brzina iscrtavanja od 25 sličica u sekundi, što znači da se jedna sličica mora iscrtati unutar 40 milisekundi. Zbog tog ograničenja, aplikacija ima ograničeno vrijeme iscrtavanja pojedine slike. Unutar tog vremena potrebno je iscrtati kompletnu scenu, koja se može sastojati od velikog broja kompleksnih objekata te raznih efekata, od osvjjetljenja i sjena do efekata koji zahtijevaju čestične sustave poput dima, te svaki od tih elemenata scene ima određeno vrijeme računa i iscrtavanja. Zbog zahtjeva da se u kratkom vremenu iscrta što kvalitetnija scena bez gubitka interaktivnosti, što bi negativno utjecalo na zadovoljstvo korisnika, koriste se razne tehnike kako bi se to iscrtavanje ubrzalo, od pojednostavljivanja scene do izbacivanja efekata.

Cilj ove vježbe je upoznati neke od metoda za ubrzavanje iscrtavanja te kroz priloženu aplikaciju usporediti njihovu učinkovitost kod iscrtavanja dane scene.

Aplikacija za izvođenje laboratorijske vježbe za iscrtavanje koristi grafički pokretački sustav Unity. Mnoge od tehnika ubrzavanja iscrtavanja već su implementirane unutar pokretačkog sustava; neke od njih nije moguće kontrolirati, dok druge imaju ograničenu mogućnost kontrole. Unutar vježbe obrađene su tehnike koje možemo kontrolirati do određene mjere.

2. Alati potrebni za izvođenje vježbe

Za izvođenje aplikacije uključene u vježbu nisu potrebni nikakvi dodatni alati.

Za pregledavanje projekta u kojem je aplikacija izrađena potrebno je skinuti besplatnu verziju Unity aplikacijskog sustava sa stranice:

Aplikacija je izrađena s verzijom 2019.1.7f1, no projekt je moguće otvoriti i s bilo kojom kasnijom verzijom pokretačkog sustava.

3. Teorijska podloga

Metode smanjivanja broja poligona iskorištavaju činjenicu da u svakom trenutku iscrtavanja nisu potrebni svi poligoni u sceni da bi se dovoljno dobro iscrtala slika koja se vidi iz trenutnog položaja kamere, bilo zato što se dio poligona ne vidi, ili su predaleko od kamere pa na zaslonu postaju gotovo neuočljivi, ili iz nekog drugog razloga. Ove metode dakle odbacuju iz scene poligone za koje se može utvrditi da trenutno nisu potrebni, te tako smanjuju broj poligona koji se šalju protočnom sustavu. Pritom treba paziti da sama metoda odbacivanja poligona ne unosi veće usporavanje od uštede postignute u protočnom sustavu. Najvažnije metode su odbacivanje stražnjih poligona, odbacivanje po projekcionom volumenu i odbacivanje po prekrivenosti. Uz to, koriste se tehnike razine detalja, gdje se udaljenijim objektima

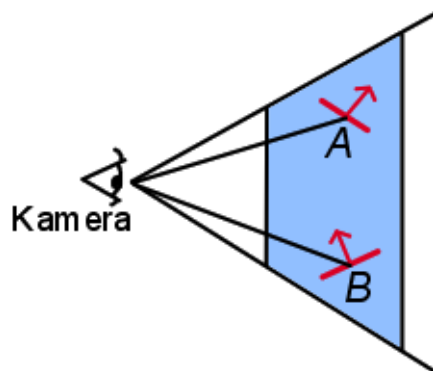
model bolje kvalitete mijenja modelom lošije kvalitete, tj. s manjim brojem poligona, te se tako također smanjuje broj poligona koji se šalje grafičkom protočnom sustavu.

Broj svjetala, dinamičke sjene i texture također utječu na brzinu iscrtavanja. Geometrijska faza računa osvjetljenje u vrhovima, pa se povećanjem broja svjetala u sceni povećava broj operacija u geometrijskoj fazi. Dinamičko sjenčanje je postupak računanja sjene koju baca svaki objekt u sceni tijekom izvođenja aplikacije. Taj postupak je vrlo skup, a ovisi i o kvaliteti sjena koje se koriste u aplikaciji. Teksturiranje dodatno opterećuje fazu rasterizacije. Stoga se, isključivanjem svjetala, smanjenjem kvalitete sjena, kao i iscrtavanjem bez tekstura postiže ubrzavanje iscrtavanja. Umjesto dinamičkog izračunavanja sjena tijekom izvođenja aplikacije za objekte koji se ne miču moguće je unaprijed izračunati vrlo realistično sjenčanje i takve vrijednosti izračuna takvih statičkih sjena zapisati u teksturu objekta. Taj postupak se naziva *Shadow mapping*.

3.1. Odbacivanje stražnjih poligona (eng. *Backface culling*)

Odbacivanje stražnjih poligona je tehnika koja odbacuje poligone koji su okrenuti od kamere. Uobičajeno je da su predmeti koji se iscrtavaju zatvoreni te da se njihova unutrašnja strana ne vidi (npr. unutrašnjost kutije), pa ju ne treba niti crtati.

Okrenutost poligona određena je redoslijedom njegovih vrhova u koordinatnom sustavu zaslona. Pritom su moguće dvije konvencije: odbacivanje poligona s redoslijedom vrhova u smjeru obrnutom od kazaljke na satu (eng. *counter-clockwise*) ili u smjeru kazaljke na satu (eng. *clockwise*). Programsko sučelje obično omogućuje korištenje bilo koje od te dvije konvencije, ili potpuno isključivanje odbacivanja.



Slika 1: Test odbacivanja stražnjih poligona

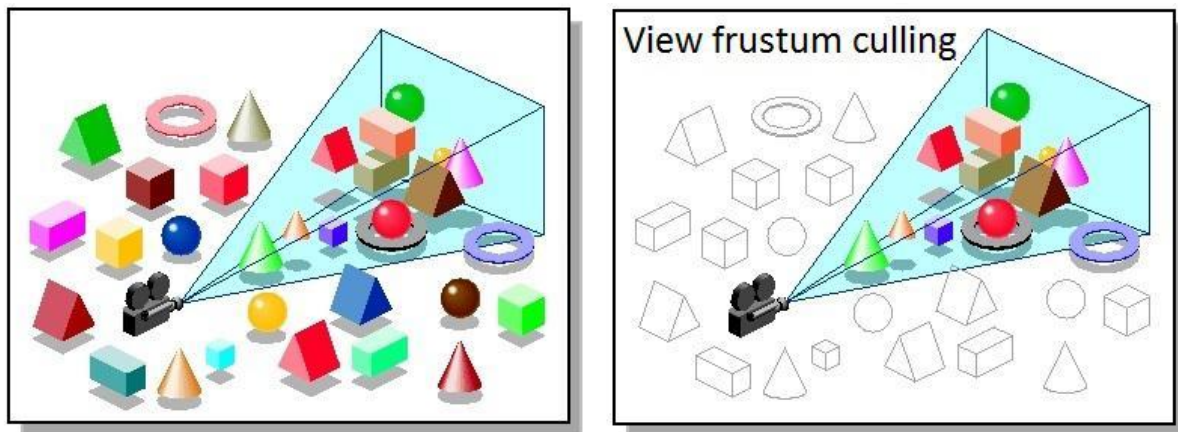
U grafičkom protočnom sustavu test za stražnje poligone se izvodi u geometrijskoj fazi. Može biti implementiran na razne načine, a jedan od najčešćih je pomoću odnosa normale trokuta i zrake u smjeru gledanja. Ako smjer gledanja kamere i normala trokuta zatvaraju kut veći od 90°, trokut se odbacuje. Pritom se normala za trokut (V_0 , V_1 , V_2) računa kao

$$n = (p_1 - p_0) \times (p_2 - p_0)$$

Odbacivanje stražnjih poligona može znatno ubrzati fazu rasterizacije zbog smanjenog broja poligona, ali dodatno opterećuje geometrijsku fazu, tako da ga je u određenim situacijama dobro isključiti.

3.2. Odbacivanje po projekcijskom volumenu (eng. *Frustum culling*)

Odbacivanje po projekcijskom volumenu je tehnika koja odbacuje poligone koji su van vidokruga kamere. Kako ih kamera ionako ne vidi, tako ih ne treba niti iscrtavati, što znatno smanjuje broj poligona koji se šalje u grafički protočni sustav.



Slika 2: Odbacivanje po projekcijskom volumenu

Kako bi se ustvrdilo koji se poligoni nalaze u vidokrugu kamere, a da se izbjegne ispitivanje svakog pojedinog poligona, obično se scena organizira u hijerarhijsku strukturu korištenjem ovojnica. Odbacivanje poligona se stoga svodi na prolazak kroz hijerarhiju, ispitujući da li se pojedina ovojnica presijeca s projekcijskim volumenom:

- 1) Ako je ovojnica potpuno izvan projekcijskog volumena, odbacuju se svi poligoni unutar nje
- 2) Ako je ovojnica potpuno unutar projekcijskog volumena, iscrtavaju se svi poligoni unutar nje
- 3) Ako projekcijski volumen presijeca ovojnicu, provjerava se sljedeća niža hijerarhijska razina i ponavljaju se koraci 1 i 2

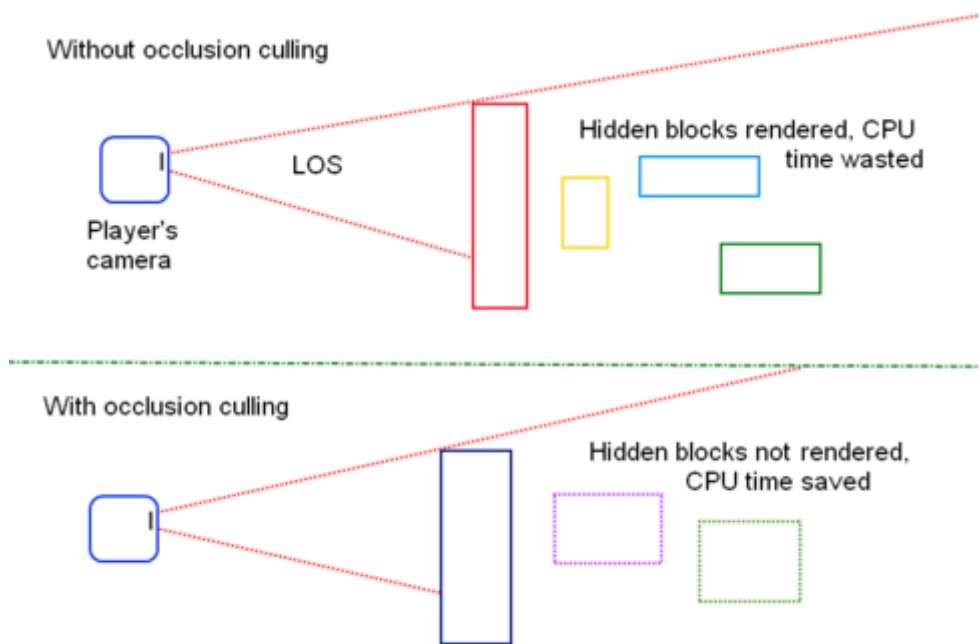
Testiranje i odbacivanje izvodi se u aplikacijskoj fazi.

3.3. Odbacivanje po prekrivenosti (eng. *Occlusion culling*)

Odbacivanje po prekrivenosti je tehnika koja odbacuje poligone koji su zaklonjeni drugim predmetima. Grafički protočni sustav već u sebi ima mehanizam odbacivanja prekrivenih fragmenata pomoću Z-spremnika, no on se izvodi tek u konačnoj fazi, što znači da se cijeli postupak već proveo nad prekrivenim poligonima, nepotrebno trošeći vrijeme.

Kod iscrtavanja potrebno je pripaziti na dubinsku složenost (eng. *depth complexity*) scene. Dubinska složenost je mjera koliko se poligona međusobno prekriva u svakom pojedinom pikselu s obzirom na položaj kamere. Što je dubinska složenost veća, to je korisnije ispitati prekrivenost što ranije, po mogućnosti prije slanja u protočni sustav, te

prekrivenu geometriju odbaciti. Međutim, kako su testovi prekrivenosti obično vrlo složeni, vremenski mogu koštati više nego što bi koštalo iscrtavanje svih poligona.



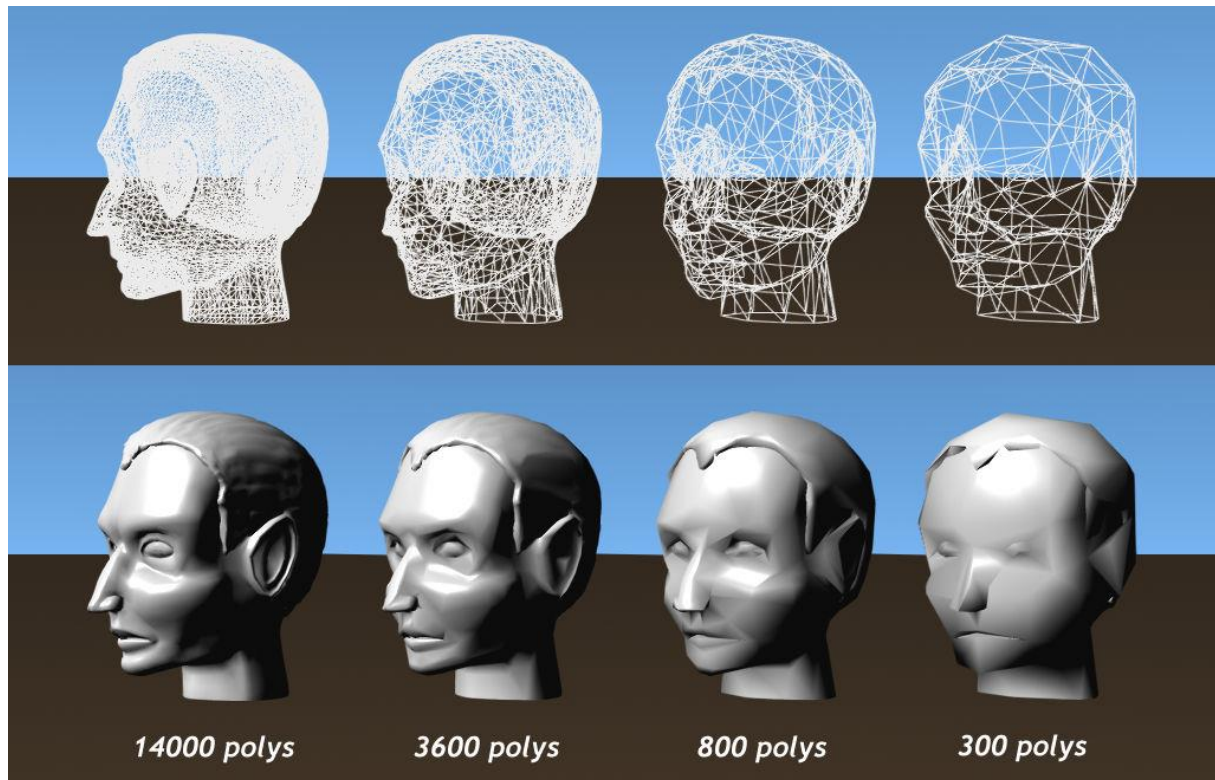
Slika 3: Odbacivanje po prekrivenosti

Učinkovitost većine metoda odbacivanja po prekrivenosti ovisi o redoslijedu iscrtavanja jer se uglavnom provode s obzirom na prethodno iscrtanu geometriju. Zbog toga, ako se bliža geometrija iscrta ranije, veća je vjerojatnost da će se kasnije iscrtana geometrija moći odbaciti, zbog čega je poželjno koristiti algoritme iscrtavanja od naprijed prema natrag (eng. *front-to-back*) s obzirom na položaj kamere. Pritom pomaže korištenje hijerarhijskih struktura kao kod odbacivanja po projekcijskom volumenu.

3.4. Tehnike razine detalja (eng. *Level of detail*)

Tehnika razina detalja je skup metoda koje se zasnivaju na ideji da je predmet moguće zamijeniti jednostavnijom inačicom kada je udaljen od kamere, a da promatrač ne primjeti razliku u kvaliteti.

Tehnika također omogućuje održavanje stalne brzine iscrtavanja. Ako brzina iscrtavanja padne, smanji se razina detalja. Kako većina prikaznih uređaja ne može iscrtavati brže od 60 slika u sekundi, može vrijediti i obratno – povećanjem brzine iscrtavanja poveća se i razina detalja.



Slika 4: Tehnika razine detalja

Tehnika razine detalja sastoji se od tri skupa podtehnika:

- Generiranje – proces stvaranja jednostavnijeg modela iz postojećeg
- Odabir – odlučivanje koja će se verzija modela od postojećih u nekom trenutku iscrtati
- Zamjena – metode zamjene trenutne inačice modela drugom u stvarnom vremenu na način neprimjetan za promatrača

Kod stvaranja jednostavnijeg modela iz postojećeg, obično se primjenjuje jedna od dvije tehnike: eliminacija vrhova (eng. *vertex collapse*), gdje se jedan vrh mreže poligona eliminiše a ostali vrhovi spajaju, te eliminacija bridova (eng. *edge collapse*), gdje se dva vrha spajaju u jedan.

Kad je na raspolaganju više inačica modela, potrebno je na neki način odrediti kako odabrati koju inačicu treba iscrtati u nekom trenutku. Na raspolaganju su dvije metrike: udaljenost predmeta od kamere i površina projekcije ovojnice. Obje metrike definiraju raspon vrijednosti gdje je pojedina razina detalja aktivna (npr. model srednje kvalitete će se iscrtavati ako je objekt udaljen između 200 i 500 metara od kamere), s tim da kod površine projekcije ovojnice često se radi jednostavnosti uzima samo visina projekcije.

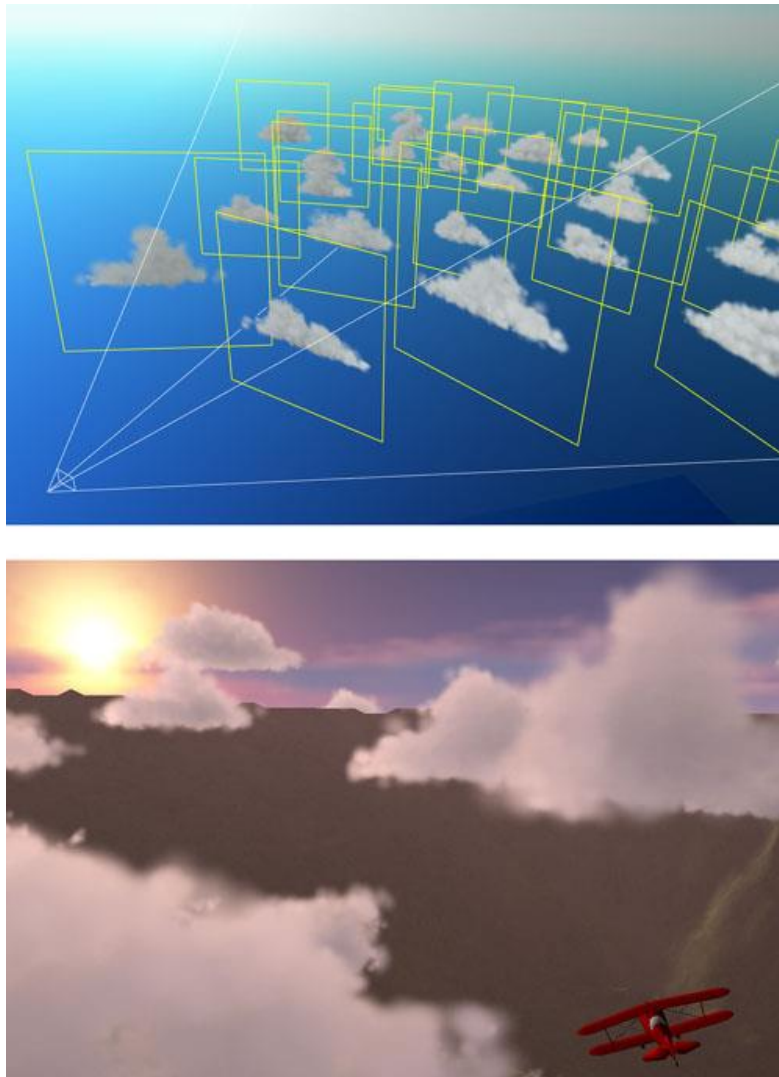
Nakon što se ispune kriteriji za promjenu razine detalja predmeta, potrebno je izvesti zamjenu inačice modela što je moguće neprimjetnije kako bi se eliminirao efekt skokova (eng. *popping*). Koristi se nekoliko tehnika zamjene, ovisno o trenutnoj razini detalja i koliko „lijepa“ promjena mora biti. Najčešće tehnike su: **diskretna zamjena**, gdje se jednostavno jedna inačica modela zamjenjuje drugom; **miješanje razine detalja**, gdje se tijekom promjene istovremeno iscrtavaju obje inačice modela uz

uključeno miješanje po prozirnosti; te α -razina detalja, gdje postupnim povećanjem stupnja prozirnosti model nestaje na određenoj udaljenosti.

3.4.1. Srodne tehnike

Osnovna ideja tehnika zamjene detalja se može poopćiti i primjeniti na druge tehnike iscrtavanja. Jedan od primjera je nekorištenje dodatnih tekstura, poput mape normala, kada je predmet udaljen od kamere, čime se omogućava korištenje jednostavnijeg programa za sjenčanje.

Jedna od češćih tehnika je korištenje varalica (eng. *imposters*), gdje se složeni predmet iscrta i slika spremi kao tekstura koja se potom stavlja na pano (eng. *billboard*). Taj pano se postavlja na scenu umjesto predmeta na način da se dobije potpuno jednaka slika ovisno o kutu gledanja. Pomakom kamere pano se okreće prema kameri, a prilikom većih pomaka potrebno je ponoviti postupak generiranja varalice. Složenija tehnika slične ideje su oblaci panoa (eng. *billboard clouds*), gdje se složen predmet aproksimira skupom međusobno preklapajućih panoa.



Slika 5: Prikaz panoa oblaka

3.5. Optimizacija protočnog sustava

Tijekom razmatranja kako optimizirati iscrtavanje potrebno je poznavati grafički protočni sustav kako bi ga se optimalno iskoristilo. Tri glavne faze protočnog sustava se mogu koristiti istovremeno, ali će najsporija faza određivati ukupnu brzinu protočnog sustava; ako geometrijska faza treba 100 ms za jednu obradu scenu, ne može se dobiti više od 10 slika u sekundi neovisno o brzini aplikacije i rasterizatora.

Optimizacija iscrtavanja se načelno provodi kao sljedeći postupak:

- Pronalazak uskog grla
- Ubrzavanje te faze
- Ponavljanje postupka

Pritom je potrebno napomenuti da ako se neka faza jednostavno ne može ubrzati, moguće je ostale faze opteretiti dodatnim poslom tako da je njihova brzina izvršavanja približno jednaka najsporijoj fazi. Time će se dobiti kvalitetnija scena bez većeg gubitka brzine, jer ostale faze ionako nisu usko grlo.

Čak i bez traženja uskog grla, moguće je svaku od faza optimizirati na razne načine.

3.5.1. Optimizacija aplikacijske faze

Jedan od načina na koje se aplikacijska faza može optimizirati je uvođenjem paralelizma, i to na dva načina: **višeprocesorska protočnost** ili vremenski paralelizam, gdje se aplikacijska faza dijeli u više sljednih potfaza te se svaka faza izvršava na posebnoj procesorskoj jezgri; te **paralelno izvođenje** ili prostorni paralelizam, gdje se pojedini algoritmi zamijene paralelnim, višedretvenim inačicama.

Drugi način optimizacije aplikacijske faze je kroz optimizaciju operacija promjena stanja. Kod predaje vrhova grafičkom protočnom sustavu na iscrtavanje potrebno je i zadati nove teksture, učitati programe za sjenčanje, zadati njihove globalne parametre, promijeniti konfiguraciju faze stapanja i pozvati funkciju za iscrtavanje. Sve te operacije se skupno nazivaju promjenama stanja i zahtijevaju određeno vrijeme. Uz to, svaka promjena stanja opterećuje glavni procesor i obično prazne grafički protočni sustav i njegove međuspremnik.

Kako bi se to optimiziralo, koriste se tri metode: **spajanje predmeta** (eng. batching), gdje se više manjih predmeta spaja u jedan sa zajedničkim spremnikom vrhova; **instanciranje**, gdje se iscrtavanje jednog predmeta koji se pojavljuje mnogo puta svodi na jedan poziv funkcije za iscrtavanje, pri čemu program za sjenčanje sadržava dodatne podatke o pojedinom pojavljivanju; te **organizacijom scene s obzirom** na stanje, gdje se predmeti sa sličnim materijalima, teksturama itd. grupiraju i iscrtavaju sljedno.

3.5.2. Optimizacija faze rasterizacije

Faza rasterizacije omogućava brojne mogućnosti za optimizaciju i kroz promjenu konfiguracije protočnog sustava i kroz optimizaciju programa za sjenčanje točaka. Također, smanjenje razlučivosti iscrtavanja i isključivanje naprednijih tehnika ili korištenje jednostavnijih (npr. nekorištenje *antialiasinga*) isto utječe na performanse faze rasterizacije. Neki od ostalih primjera optimizacije su:

- Odbacivanje stražnjih poligona za predmete zatvorene površine
- Isključivanje Z-spremnika tamo gdje je primjenjivo
- Ostaviti Z-odbacivanje i rani-Z uključima kad god je moguće
- Isključivanje miješanja boja kad nije potrebno
- Kompresija tekstura
- Uparivanje tehnika razina detalja sa više inačica programa za sjenčanje (npr. za udaljenije predmete ne treba iscrtavati sjene)

4. Opis zadatka

Pomoću priložene aplikacije, napravljene pomoću grafičkog pokretačkog sustava Unity, treba izmjeriti brzinu iscrtavanja scene (*frame rate*) u ovisnosti o upotrebljenim metodama za ubrzavanje iscrtavanja.

5. Upute za rad

Pokrenite izvršnu datoteku *Ubrzavanje Iscrtavanja.exe*. Nakon što se otvori početni prozor odaberite željenu rezoluciju aplikacije, te *windowed* ili *full screen* način rada. Preporučeno je odabrati najveću moguću rezoluciju, najveću kvalitetu slike i *full screen* način. Ukoliko je *frame rate* pri najvećoj kvaliteti jako nizak, potrebno je postepeno smanjivati rezoluciju i/ili kvalitetu slike dok se ne dobije *frame rate* dovoljno dobar za rad, odnosno *frame rate* najmanje 50 slika u sekundi. Nakon toga pritisnite Play. Potrebno je pričekati dok se scena ne učita. Scena se sastoji od livate i više primjeraka modela kuće, vozila, lampi i drveća.

Pomoću ove aplikacije potrebno je izmjeriti kako pojedini parametri utječu na brzinu iscrtavanja (*frame rate*) – broj poligona u sceni, metode odbacivanja, svjetla, teksture, sjene i parametri kamere.

Nakon pokretanja aplikacije, potrebno je naći poziciju na ekranu i veličinu scene sa kojima se prema vašem mišljenju najbolje vidi utjecaj primijenjenih tehnika za ubrzavanje iscrtavanja, odnosno nedostatak primjene istih.

Početne vrijednosti postavki, tj. vrijednosti kada se aplikacija pokrene, su:

- Vidni kut kamere (*Field of View*): 45°
- Udaljenost dalje odrezujuća ploha (*Backface plane distance*): 2500
- Odbacivanje poligona: *Backface Culling* (Odbacivanje stražnjih poligona)
- Odbacivanje po projekcijskom volumenu (*Frustum culling*): Uključeno
- Odbacivanje po prekrivenosti (*Occlusion culling*): Uključeno
- Razina detalja (*Level of Detail*): Auto
- Sjene: Meke (*Soft Shadows*)
- Teksture: Uključene
- Globalno svjetlo: Uključeno
- Lampe: Uključene
- Optimizacija promjene stanja (*State optimization*): Uključena
- Instanciranje: Isključeno

Preporuka je postaviti *Level of Detail* na *Low quality* i onda povećavati scenu dok *frame rate* ne padne na oko 30-40 FPS; time će se dobiti dovoljno opterećenje da se mogu vidjeti i ubrzanja (kod korištenja određenih tehnika) i usporenja (kod isključivanja određenih tehnika). Za određene tehnike bit će potrebno promijeniti poziciju kamere na sceni kako bi se najbolje vidjela razlika sa i bez primjene tih tehnika.

Utjecaj većine tehnika bit će najbolje vidljivi ako se pozicionirate u zraku, tako da imate pregled nad većinom scene, odnosno da vidite što je više stabala moguće. Za provjeru efekta odbacivanja po projekcijskom volumenu, dovoljno je kameru okrenuti u zrak, tako da ne vidite nijedan objekt, ili prema tlu, tako da vidite što manje objekata. Za provjeru efekta odbacivanja po prekrivenosti, pozicionirajte se tako da gledate direktno u zid kuće (najbolje odabrati jednu od kuća u središtu scene).

Kada su pronađene optimalna veličina scene i pozicija, potrebno je priložiti *screenshot* pogleda sa uključenim izbornikom gdje se vidi veličina scene. Također potrebno je priložiti *screenshot* gdje se vidi brzina iscrtavanja kada je isključeno odbacivanje po projekcijskom volumenu, te *screenshot* gdje se vidi efekt odbacivanja po prekrivenosti. Ti *screenshoti* se prilažu u PDF dokumentu zajedno s ispunjenim tablicama mjerenja: Tablica 1 koja sadrži rezultate pojedinih tehnika (izuzev tehnike u navedenom retku, sve ostale tehnike koriste početne vrijednosti), te Tablica 3 koja sadrži rezultate sa kombinacijom tehnika. Način odabira kombinacije dan je dalje u uputama. U izvještaju svakako navedite konfiguraciju računala na kojem je izrađena laboratorijska vježba.

5.1. Sučelje aplikacije

Aplikacijom se upravlja korištenjem tipkovnice i miša. Kretanje po sceni se provodi korištenjem tipaka WASD. Za kretanje naprijed-nazad koriste se tipke WS; za kretanje lijevo-desno AD; dok rotacija pogleda se obavlja pomicanjem miša u odgovarajućem smjeru.

Tehnikama za ubrzavanje iscrtavanja pristupa se kroz grafičko sučelje programa. Pritiskom na tipku ESC poziva se glavni izbornik.

Nakon pozivanja, glavni izbornik se nalazi na desnoj strani ekrana. U njemu se nalaze gumbi koji predstavljaju svaku od implementiranih opcija, i to redom: modifikacija scene, modifikacija kamere, odbacivanje poligona, odbacivanje po projekcijskom volumenu, odbacivanje po prekrivenosti, tehnika razine detalja, teksture, sjene, svjetla, optimizacija promjene stanja i instanciranje. Pritisak na svaki od tih gumba otvara podizbornik sa dodatnim opcijama specifičnim za tu opciju:

- „Scene“ gumb prikazuje opciju za promjenu veličine scene. U prostor za upis teksta upišite prirodni broj po želji; taj broj predstavlja veličinu scene gledano od središta prema rubu (tj. „polumjer“ scene). Nakon upisa, pritiskom na tipku *Enter* mijenja se veličina scene.
- „Camera“ gumb prikazuje opcije za promjenu parametara kamere. Gornji prostor za upis teksta koristi se za upis željenog vidnog kuta kamere (između 1 i 179) u stupnjevima. Donji prostor za upis teksta koristi se za upis željene udaljenosti dalje odrezujuće plohe (minimum 1).
- „Triangle cull“ prikazuje opcije za način odbacivanja poligona. Nudi se padajući izbornik sa tri opcije: „Backface Culling“ uključuje odbacivanje samo stražnjih

poligona; „*Frontface Culling*“ uključuje odbacivanje samo prednjih poligona; „*No Cull*“ u potpunosti isključuje odbacivanje poligona.

- „*Frustrum Cull*“ gumb prikazuje opcije za odbacivanje po projekcijskom volumenu. Stavljanje kvačice „*Enable*“ uključuje tehniku.
- „*Occlusion Cull*“ gumb prikazuje opcije za odbacivanje po prekrivenosti. Stavljanje kvačice „*Enable*“ uključuje tehniku. **Napomena: Gumb će biti onemogućen ako je odbacivanje po projekcijskom volumenu isključeno.**
- „*Level of Detail*“ gumb prikazuje opcije za tehnike razine detalja. Nudi se padajući izbornik sa 4 opcije: „*Auto*“ uključuje tehnike razine detalja; „*Low Quality*“ prikazuje sve objekte koristeći modele najmanje kvalitete; „*Medium Quality*“ prikazuje sve objekte koristeći modele srednje kvalitete; „*High Quality*“ prikazuje sve objekte koristeći modele najveće kvalitete.
- „*Textures*“ gumb prikazuje opcije vezane uz teksture. Stavljanje kvačice „*Enable*“ uključuje prikaz tekstura.
- „*Shadows*“ gumb prikazuje opcije vezane za sjene. Nudi se padajući izbornik sa 3 opcije: „*Soft Shadows*“ uključuje prikaz mekih sjena; „*Hard Shadows*“ uključuje prikaz tvrdih sjena; „*No Shadows*“ isključuje prikaz sjena.
- „*Lights*“ gumb prikazuje opcije osvjetljenja. Stavljanje kvačica „*Global Light*“ uključuje globalno osvjetljenje (tj. osvjetljenje cijele scene). Stavljanje kvačice „*Lamps*“ uključuje osvjetljenje lampi.
- „*State change*“ gumb prikazuje opcije vezane za optimizaciju promjene stanja. Stavljanje kvačice „*State optimization*“ uključuje optimizaciju.
- „*Instancing*“ gumb prikazuje opcije vezane za instanciranje. Stavljanje kvačice „*Instancing*“ uključuje optimizaciju.
- „*Exit*“ gumb gasi aplikaciju.

5.2. Tablica mjerenja

Svaki redak predstavlja jedan parametar koji je potrebno koristiti. **Svi ostali parametri ostaju isti kao kod početnih postavki.**

Frame rate [FPS]	Mala kvaliteta (<i>Low quality</i>)	Srednja kvaliteta (<i>Medium quality</i>)	Visoka kvaliteta (<i>High quality</i>)	Uključen LOD (<i>Auto</i>)
Početne postavke				
Odbacivanje prednjih poligona (<i>Frontface Cull</i>)				
Bez odbacivanja poligona (<i>No Cull</i>)				
Bez odbacivanja po projekcijskom volumenu (<i>Frustum Cull</i> isključen)				
Sa odbacivanjem po prekrivenosti (<i>Occlusion Cull</i> uključen)				
Smanjena udaljenost dalje odrezujuće plohe (<i>Backface plane</i> 1000)				
Povećan vidni kut (<i>Field of View</i> 80°)				
Teksture isključene				
Tvrde sjene (<i>Hard Shadow</i>)				
Sjene isključene (<i>No Shadow</i>)				
Globalno svjetlo isključeno				
Lampe isključene				
Bez optimizacije stanja (<i>State optimization</i> isključen)				
Instanciranje				

Tablica 1: Mjerenja pojedinačnih tehnika

5.3. Odabir kombinacije tehnika

Uz gore prikazanu tablicu, potrebno je izraditi još jednu tablicu mjerenja koja će sadržavati mjerenja pri određenoj kombinaciji tehnika. Kombinacija tehnika se bira tako da se uzmu zadnje 3 znamenke JMBAG-a, te se gleda sljedeća tablica:

Znamenka	Tehnika
0	Odbacivanje stražnjih poligona
1	Odbacivanje po projekcijskom volumenu
2	Odbacivanje po prekrivenosti
3	Promjena dalje odrezujuće plohe
4	Promjena vidnog kuta
5	Teksture
6	Sjene
7	Globalno svjetlo
8	Lampe
9	Tehnika razina detalja

Tablica 2: Odabir tehnike u ovisnosti o znamenci JMBAGa

„Joker“ tehnike:

- Optimizacija promjena stanja
- Instanciranje

Joker tehnike koriste se u sljedećim situacijama:

- Ako kombinacija koristi i odbacivanje po projekcijskom volumenu i odbacivanje po prekrivenosti, jednu od te dvije tehnike potrebno je zamijeniti „jokerom“
- Ako se ista tehnika pojavi više puta, dodatne instance potrebno je zamijeniti „jokerima“

Nakon što je utvrđena kombinacija tehnika koju je potrebno koristiti, u aplikaciji je potrebno izmjeriti efekte svih permutacija navedenih tehnika. Potrebno je vratiti sve postavke na početne, postaviti *Level of Detail* na *Low Quality*, te mijenjati parametre tehnika u kombinaciji tako da se isprobaju sve moguće kombinacije parametara te tri tehnike, prateći pritom *frame rate* aplikacije.

Primjer: za JMBAG koji završava sa znamenkama 416, kombinacija tehnika koju je potrebno koristiti je promjena vidnog kuta kamere, odbacivanje po projekcijskom volumenu i promjena prikaza sjena. Prvo se provjerava *frame rate* koji se dobije mijenjanjem načina prikaza sjena kad je vidni kut kamere podešen na 45° uz uključeno odbacivanje po projekcijskom volumenu. Zatim se isključuje odbacivanje po projekcijskom volumenu i ponovo mijenja način prikaza sjena. Zatim se odbacivanje po projekcijskom volumenu uključi, promjeni se vidni kut kamere na 80° i mijenja način prikaza sjena. Konačno, ponovno se isključi odbacivanje po projekcijskom volumenu (vidni kut kamere ostaje 80°) i mijenja način prikaza sjena. Sveukupno se dobije 12 različitih mjerenja.

Za tu kombinaciju tehnika potrebno je izraditi tablicu koja sadrži mjerenja svih kombinacija opcija za te tehnike. Na gore navedeni primjer, za JMBAG sa zadnjim znamenkama 416, tablica mjerenja izgleda ovako:

Vidni kut kamere	Odbacivanje po projekcijskom volumenu	Sjene	Frame rate [FPS]
45°	On	Soft	
45°	On	Hard	
45°	On	Off	
45°	Off	Soft	
45°	Off	Hard	
45°	Off	Off	
80°	On	Soft	
80°	On	Hard	
80°	On	Off	
80°	Off	Soft	
80°	Off	Hard	
80°	Off	Off	

Tablica 3: Primjer tablice mjerenja za JMBAG sa zadnje 3 znamenke 416

6. Pomoćni materijali za izradu vježbe

Materijali potrebni za izradu vježbe nalaze se u arhivi *Aplikacija.zip* koja je dostupna na Web stranicama predmeta. U arhivi *Unity Projekt.zip* je čitav projekt.

7. Predavanje rezultata vježbe

Rezultati vježbe predaju se u dokumentu **VO-V2-Rezultati-<ImePrezime>.pdf**, koja treba sadržavati:

- Izvještaj o izvođenju vježbe (**u PDF formatu**): konfiguracija računala na kojem je rađena laboratorijska vježba, kratak opis postupka izrade cijele vježbe, popunjene tablice s rezultatima mjerenja, odgovarajući *screenshotti*, te objašnjenja rezultata

Navedeni dokument treba biti predan korištenjem sustava *Moodle* koji je dostupan preko stranica predmeta.

Napomena: rezultati se šalju isključivo preko gore navedene aplikacije. U slučaju problema, javite se email-om na adresu vo@fer.hr . Sačuvajte kopiju poslanih rezultata.

8. Napredni zadaci (ovaj dio nije obavezan)

Za izradu naprednih zadataka nužno je preuzeti i instalirati Unity verziju 2019.1.7f1 ili noviju kako bi se pokrenuli projekt i scena korištena u izradi aplikacije i proučiti upute za korištenje Unity Editora za upravljanje scenom i dokumentaciju za pisanje skripti za Unity pokretački sustav. Potreban projekt nalazi se u arhivi *Unity Projekt.zip*

Za dodatne bodove potrebno je izvršiti minimalno jedan zadatak od ponuđenih, pri čemu je odabir zadataka proizvoljan. Za svaki izvršeni napredni zadatak potrebno je u izvještaj dodati opis izrade naprednog zadatka, odgovarajuće *screenshote* (gdje je primjenjivo) i tablice mjerenja (gdje je primjenjivo).

8.1. Dodavanje objekta u scenu

Potrebno je izraditi novi objekt po želji te ga dodati u scenu. Objekt mora biti izrađen u 3 verzije sa različitim brojem poligona (u visokoj, srednjoj i niskoj kvaliteti). Pritom nije potrebno da objekt ima vidljive razlike za svaku razinu kvalitete. Taj objekt mora biti dodan na scenu na način da promjena veličine scene umnožava i taj objekt, te za njega mora biti implementirana tehnika razine detalja. Nije potrebno dodavati objekt neoptimiziranoj varijanti scene.

U izvještaj uz opis izrade zadatka treba priložiti screenshot scene s novim objektom. Ako je objekt vidljivo različit za svaku razinu detalja, priložite screenshot na kojemu se vide sve tri varijante modela.

Za izradu modela možete koristiti alate po izboru: Blender, Photoshop, Gimp, Krita, Maya itd.

8.2. Dodavanje panoa stablima

Potrebno je izraditi pano stabla te promijeniti tehniku razine detalja stablima na sceni. Pritom nije potrebno da stablo na panou izgleda identično kao stablo u sceni. Nakon što je pano izrađen i uvezen u Unity, potrebno je svakom stablu dodati petu razinu detalja (između LOD2 i Culled) koja će prikazivati pano, te pritom izmijeniti parametre ostalih razina detalja na proizvoljan način.

U izvještaj uz opis izrade zadatka treba priložiti screenshot scene gdje se vidi pano, te *screenshot* gdje se vidi kako izgleda izmijenjena *Level of Detail* komponenta stabla. (Umjesto 2 *screenshota* može se priložiti i samo jedan gdje se vide obje stvari.)

Za izradu panoa možete koristiti alate po izboru: Blender, Photoshop, Gimp, Krita, Maya itd.