

Virtualna okruženja

Igor S. Pandžić, Krešimir Matković, Mirko Sužnjević

Uvod

Dobro došli na prvo predavanje

- O kolegiju
 - Teme i ciljevi kolegija
 - Praktična organizacija, ocjenjivanje
- Osnove računalne grafike
 - Virtualna scena, modeliranje
 - Isrtavanje, protočni sustav

Virtualna okruženja

- Predavači
 - Prof. dr. sc. Igor S. Pandžić
 - Prof. dr. sc. Krešimir Matković
 - Doc. dr. sc. Mirko Sužnjević
- Asistenti
 - Sara Vlahović, mag. ing.
 - Kuzma Mustač, mag. ing.
 - Lovro Boban, mag. ing.
- Zavod na telekomunikacije, C zgrada 7/8. kat
- Web: http://www.fer.hr/predmet/virokr_c

Konzultacije

- Nastavnici
 - Pitanja u vezi gradiva, rješavanje eventualnih sporova u vezi laboratorija i bodovanja ispita
 - Obratiti se nastavniku tek ako od asistenta niste dobili zadovoljavajući odgovor
 - Tjedni termin konzultacije: neposredno iza predavanja
- Asistenti
 - Pitanja u vezi laboratorija, projekta, bodovanja ispita
 - Tjedni termin konzultacije: utorak 14-16h uz najavu mailom
 - Zavod za telekomunikacije, ured C07-16 ili *online* (Microsoft Teams)
- Demonstratori
 - Konzultacije u vezi laboratorijskih vježbi (e-mailom i po dogovoru)
 - Na raspolaganju je laboratorij C08-22
 - Za rezervaciju termina javiti se asistentima

Konzultacije

- Što se može riješiti e-mailom, riješite e-mailom!
 - Asistenti: vo@fer.hr, ime.prezime@fer.hr
 - Nastavnici: ime.prezime@fer.hr

Predavanja

- Uvod (osnove računalne grafike)
- Grafički procesor
- Specijalni efekti
- Ubrzavanje iscrtavanja
- Umrežena virtualna okruženja
- Virtualna stvarnost
- Proširena stvarnost
- Virtualni ljudi
- Vizualizacija (prof.dr.sc. Krešimir Matković)
- Virtualna produkcija – pozvano predavanje tvrtka Stype

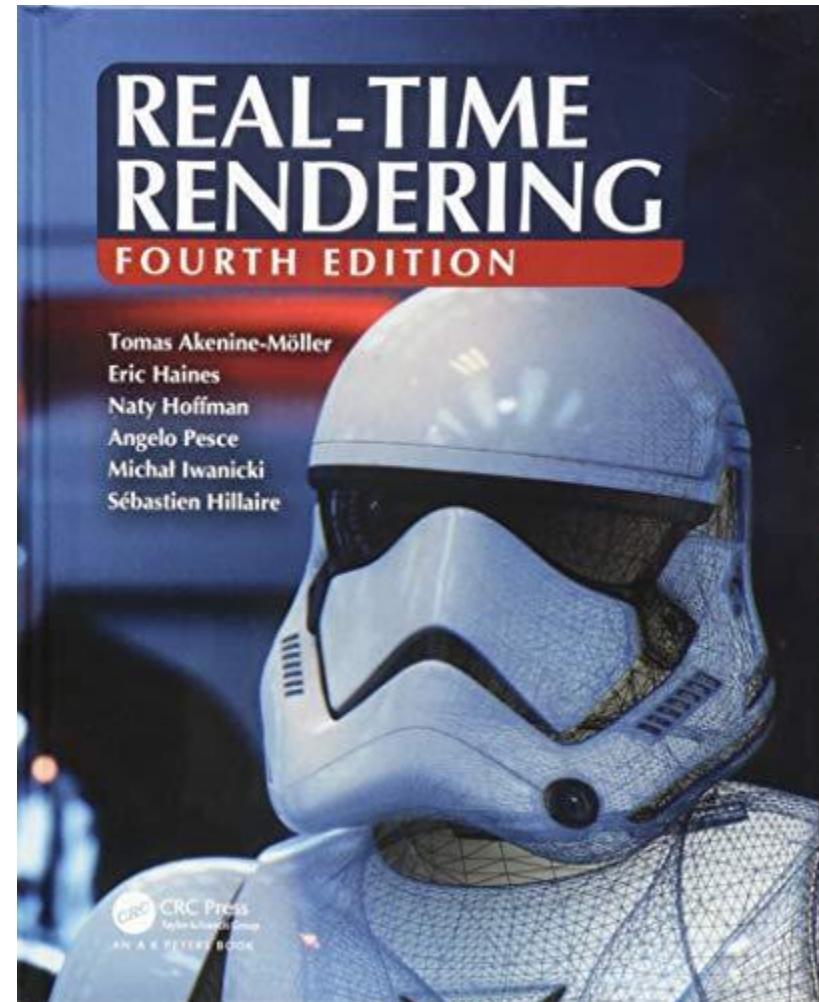
Udžbenik

"Virtualna okruženja:
Interaktivna 3D grafika i
njene primjene", Igor S.
Pandžić, Tomislav Pejša,
Krešimir Matković, Hrvoje
Benko, Aleksandra
Čereković, Maja Matijašević;
Element Zagreb 2011,
Manualia Universitatis
Studiorum Zagabiensis



Dodatna literatura

- “Real-Time Rendering”,
Tomas Akenine-Möller, Eric
Haines, Naty Hoffman, A.K.
Peters Ltd., 4th edition,
ISBN 978-1138627000, 2019
- Resources:
www.realtimerendering.com



Laboratorijske vježbe (sati, okvirno)

- Specijalni efekti (3)
- Ubrzavanje iscrtavanja (3)
- Umrežena virtualna okruženja (3)
- Proširena stvarnost (3)
- Virtualni ljudi (3)

Napredne aktivnosti u okviru lab. vježbi

- Napredni zadaci ponuđeni u većini vježbi
 - Poticaj za studente koji žele više
 - Mogu donijeti bodove za aktivnost prema procjeni asistenta
- Sudjelovanje u izradi materijala
 - Za posebno motivirane studente
 - Bodovi za aktivnost

Upute i materijali za lab. vježbe

- Upute za izvođenje vježbe, kao i svi materijali za samostalno izvođenje vježbe nalaze se na web stranici predmeta najkasnije tjedan dana prije početka svake vježbe
- Upute sadrže točan opis traženih rezultata vježbe
- Vježbe se rade samostalno, bez dolaska u laboratorij
- Demonstratori raspoloživi e-mailom i po dogovoru
- Na raspolaganju je laboratorij C08-22
 - Za rezervaciju termina javiti se asistentima

Raspored predavanja i laboratorija

- Raspored predavanja i preporučeni raspored vježbi na stranici predmeta
- Napomena:
 - *Pregledati i prodiskutirati sa studentima na predavanju*

Predaja i ocjenjivanje vježbi

- Rezultati vježbi i izvještaji o izvođenju se predaju korištenjem aplikacije Moodle
- Nema roka za predaju pojedine vježbe
 - U rasporedu je preporučen optimalni ritam rada
 - Molimo vas da predajete redovito radi opterećenja asistenata
- **Paziti na krajnji rok za predaju svih vježbi**
 - Vježbe koje do tada nisu predane nose 0 bodova
 - Nema nadoknada
- Ocjenu za svaku laboratorijsku vježbu formira asistent na temelju rezultata vježbi i izvještaja

Demonstratori

- Potrebno je pet demonstratora: po jedan demonstrator za svaku vježbu
 - Demonstrator/-ica „specijalizira“ jednu vježbu i na raspolaganju je studentima za konzultacije oko „njegove/njene“ vježbe (e-mailom i po dogovoru)
 - Na raspolaganju je laboratorij C08-22
 - Ostale vježbe radi kao i ostali
 - Za napredne: moguća suradnja u unapređivanju materijala
- Privilegije demonstratora
 - Bonus tri boda za sudjelovanje u nastavi
- Pripreme za demonstratore prema dogovoru s asistentom
- Prijave se šalju na vo@fer.hr do 12.10. u 16h

Projekt

- Rad u grupi
- Tema po želji, vezano uz predmet
- Prezentacija na predavanju
- Fakultativno, ali **preporučeno**
- Upute na stranici predmeta
 - *Pregledati i prodiskutirati sa studentima na predavanju*

Ocjenvivanje – ukupna ocjena predmeta

- Detaljno opisano u VO-ocjenjivanje.pdf na web-u predmeta i u izvedbenom planu predmeta
 - *Zajednički pročitati i prokomentirati sve detalje na predavanju*

Preporuke za (među)ispite

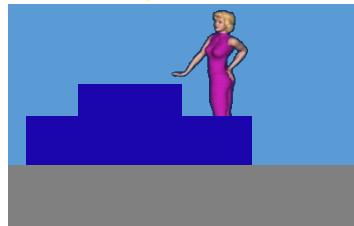
- Predavanja i knjiga su osnova uspjeha ☺
- Materijali s predavanja (slajdovi) su na web-u
 - Namijenjeni su pisanju bilježaka tokom predavanja
 - **NEMOJTE SPREMATI ISPIT SAMO PO SLAJDOVIMA**



Pitanja?

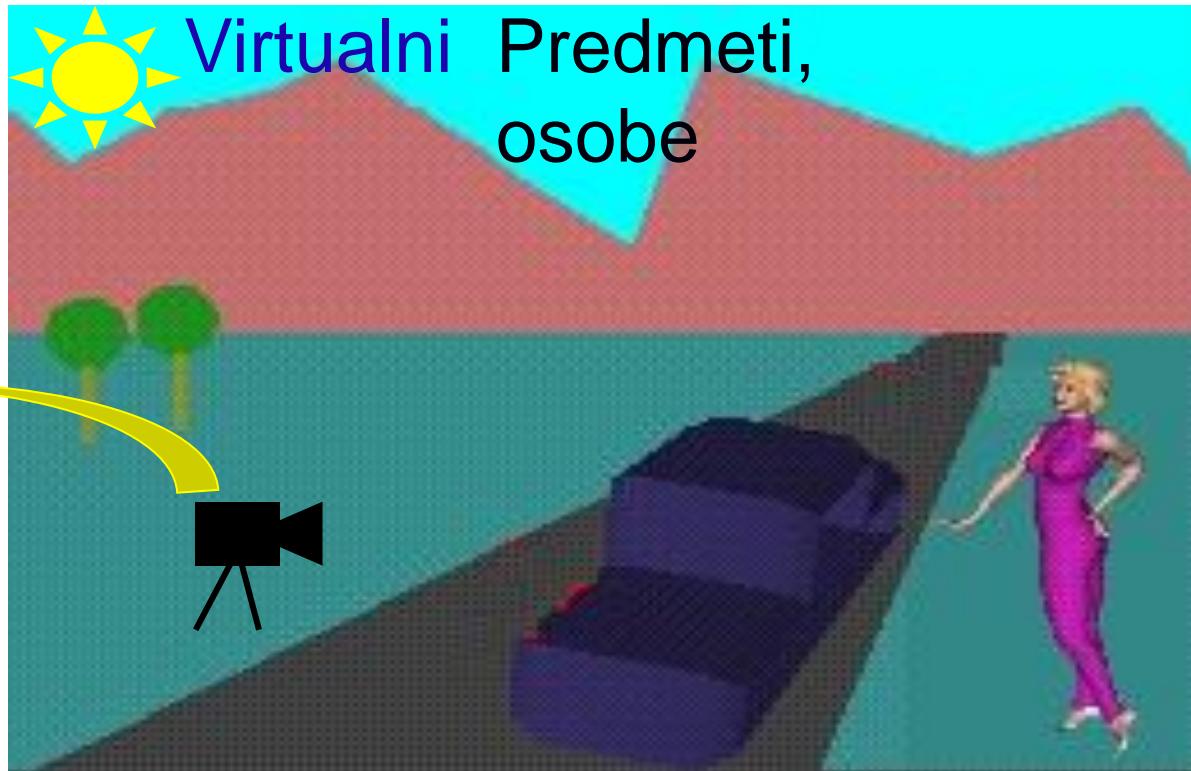
Virtualna scena

Virtualno Svjetlo



Stvarna Slika

Virtualni Materijali

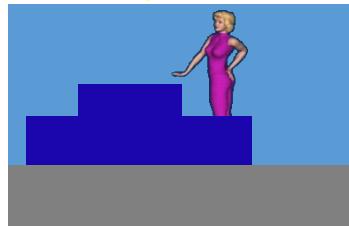


Virtualna Kamera

Virtualna scena

Virtualno Svjetlo

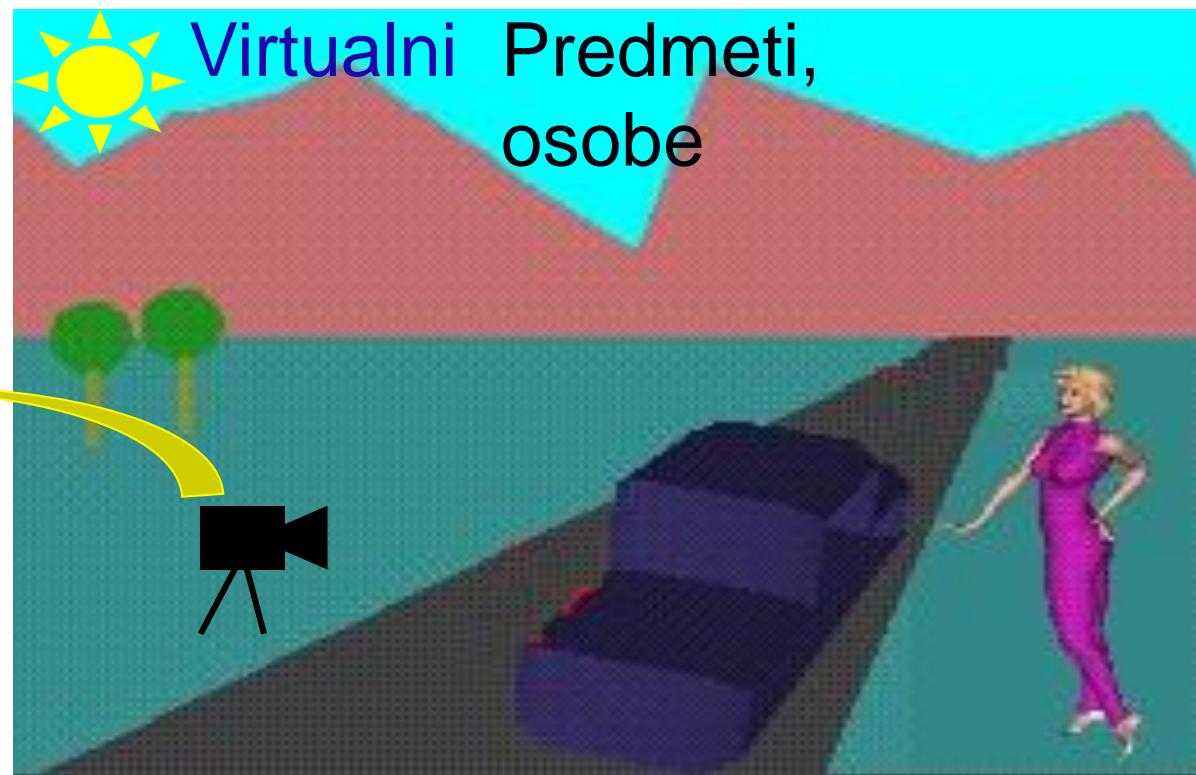
RENDERING



Stvarna Slika

Virtualni Materijali

Virtualni Predmeti,
osobe



Virtualna Kamera

Uvod u 3D grafiku I: Modeliranje

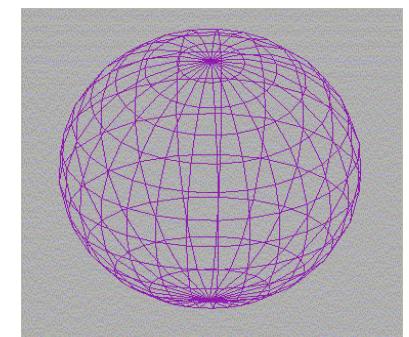
- Modeliranje i digitalni prikaz predmeta
- Model kamere
- Model osvjetljenja
 - Model izvora svjetlosti
 - Model odbijanja svjetlosti
 - Model materijala

Modeliranje i digitalni prikaz predmeta

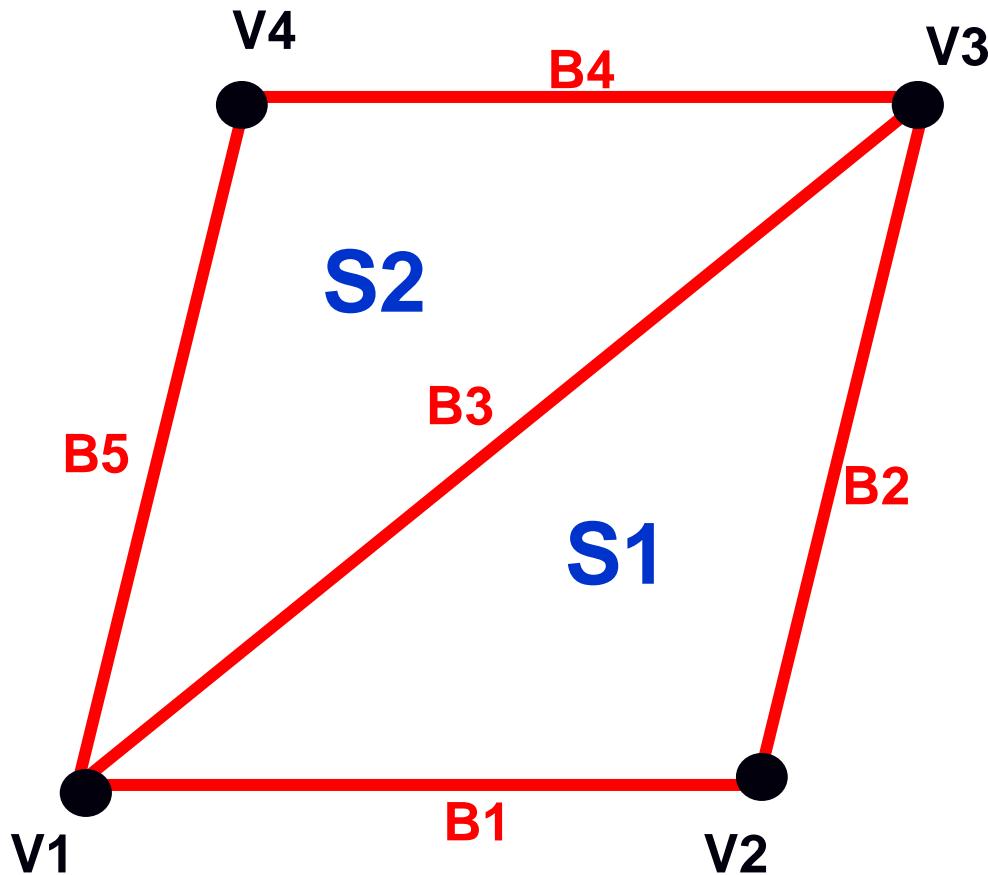
- Poligoni
- Konstruktivna geometrija čvrstih tijela (CSG)
- Parametarske krivulje i plohe
- Razdjelne plohe
- Brišuće plohe
- Volumenske reprezentacije
- Fraktali
- Sustavi čestica

Prikaz geometrije poligona (1/2)

- Najčešći pristup
- Vrlo općenit pristup: sve se može pretvoriti u poligone
- Aproksimativna metoda
- Nije intuitivno za ručno modeliranje
- Koristi se za interno spremanje podataka
- Često se drugi oblici prikaza pretvaraju u poligone u zadnji čas prije prikaza
- Grafičko sklopovlje prilagođeno za rad s poligonima (najčešće trokutima)



Prikaz geometrije poligonima (2/2)

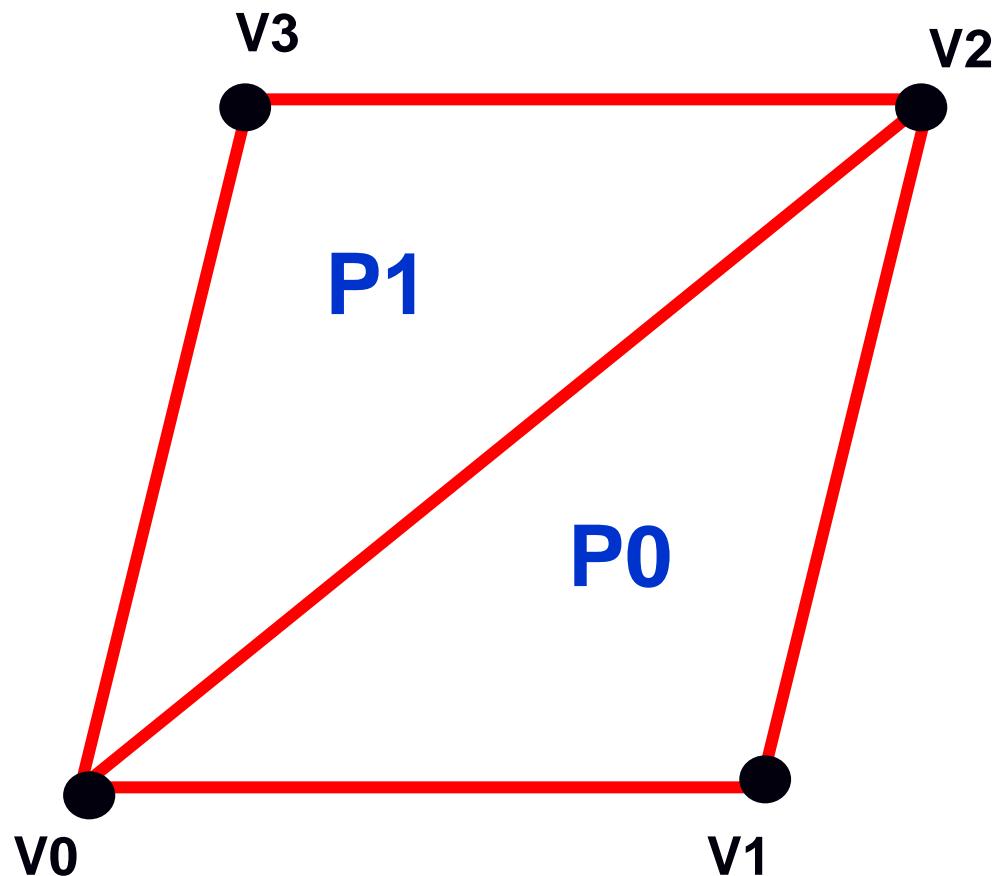


- Vrh – brid – stranica
- $B_1 = V_1, V_2$
- $B_5 = V_4, V_1$
- $S_1 = V_1, V_2, V_3$
- $S_2 = V_1, V_3, V_4$

Mreža poligona

- Polygon mesh, indexed face set
- Uz manje razlike, gotovo svi formati i programska sučelja koriste ovakvu osnovnu strukturu
- Definiraju se vrhovi i poligoni, te eventualno normale, koordinate teksture i boje

Zapis vrhova i trokuta

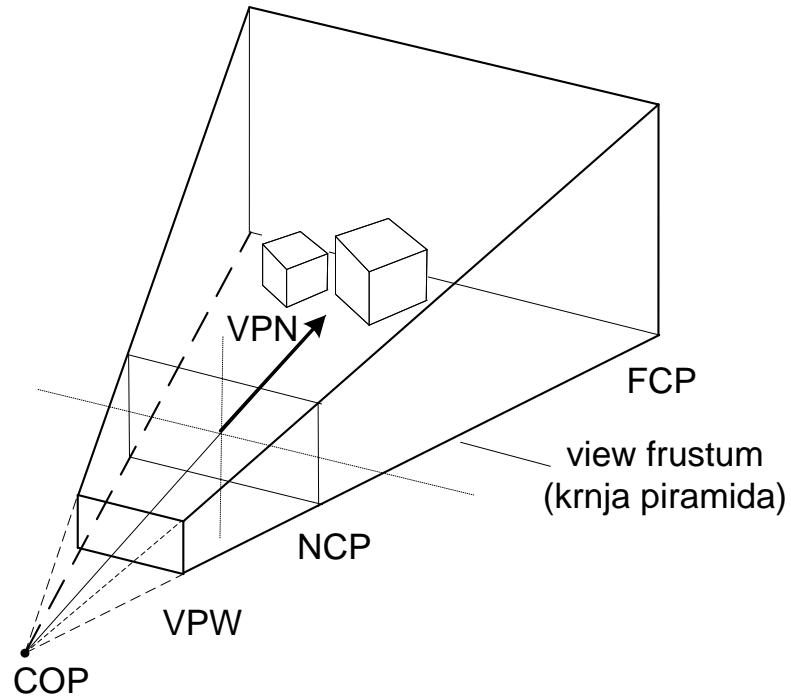


BROJ VRHA	KOORDINATE
0	x y z
1	x y z
2	x y z
3	x y z

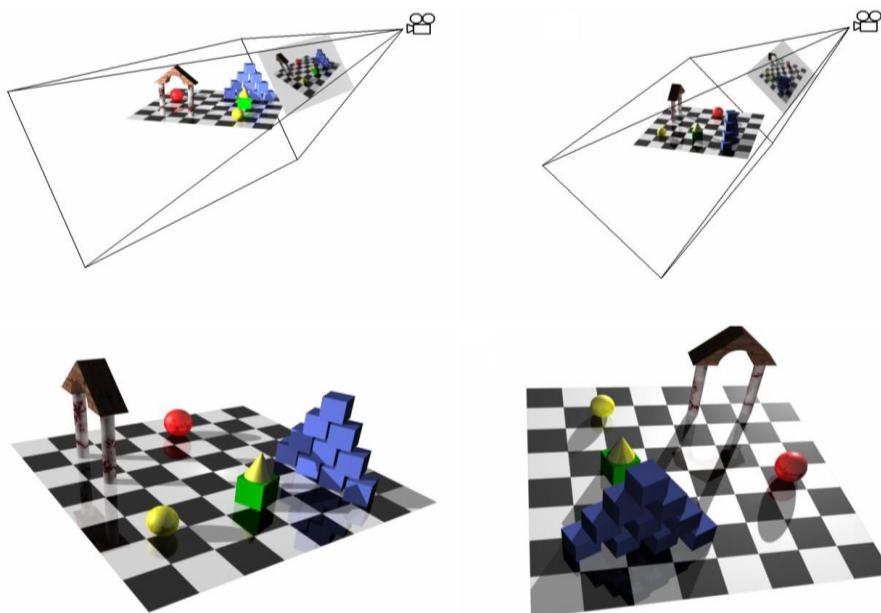
#T	INDEKS VRHA
0	0 1 2
1	0 2 3

Model kamere

- Određuje pogled u scenu koji će se iscrtati

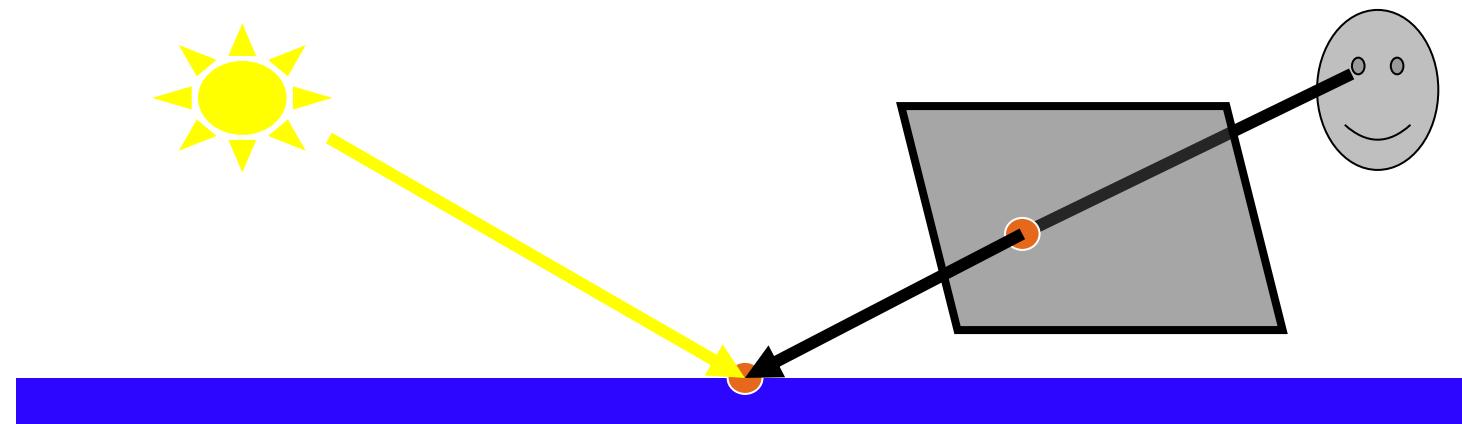


COP - centar projekcije (engl. center of projection)
NCP/FCP - bliska i daleka odrežujuća ploha (engl. near/far clipping plane)
VPW - projekcioni prozor (engl. view-plane window)
VPN - normala na projekcionu plohu (engl. view-plane normal)



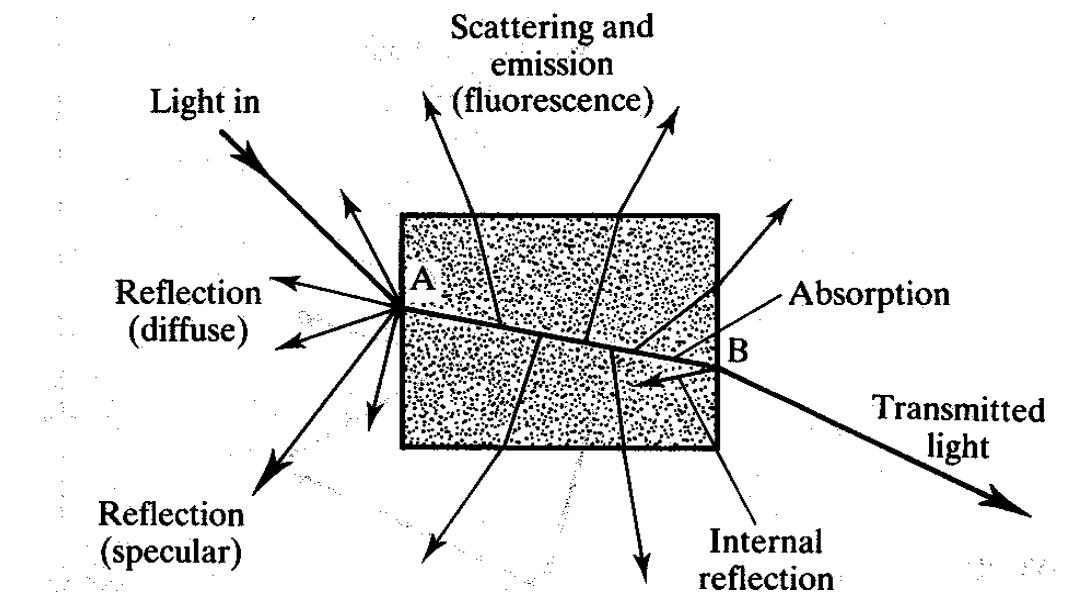
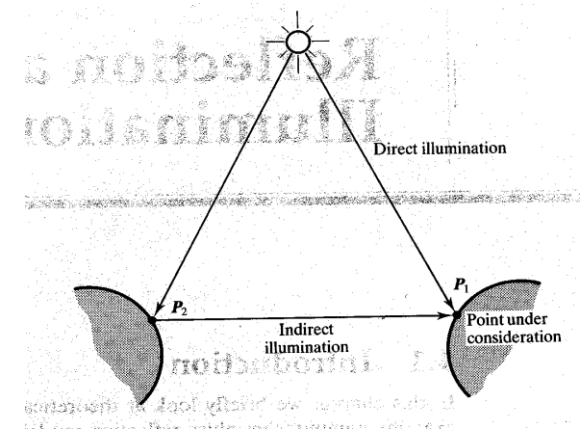
Model osvjetljenja

- Kada predmet iz virtualne scene projiciramo na ekran, koje boje će biti svaka točka?
- Ovisi o:
 - Materijalu predmeta
 - Svjetlima
 - Relativnim položajima kamere, svjetla i predmeta



U stvarnosti...

- Svjetlosna tijela
- Globalno osvjetljenje
 - Mekane granice svjetla/sjene
 - Razlijevanje boje (color bleeding)
 - Odrazi
- Odbijanje, lom...



Na računalu

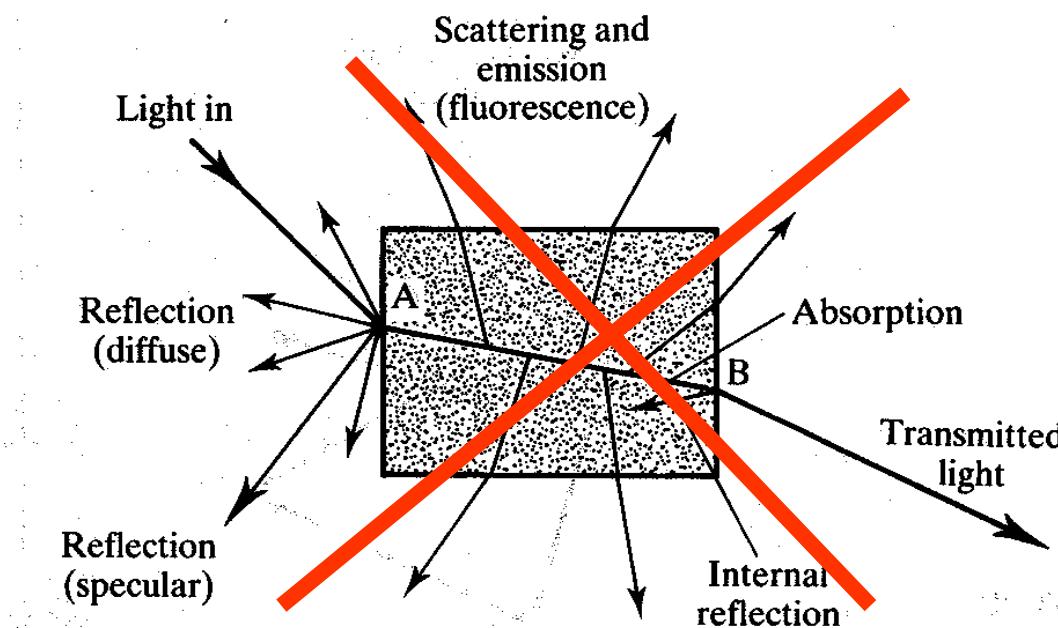
- Za većinu svjetlosnih efekata postoje algoritmi, no često su skupi
- Za realno vrijeme uvijek aproksimacije
 - Jednostavni modeli izvora svjetlosti
 - Zanemarivanje (dijela) globalnih efekata
 - Zanemarivanje dijela lokalnih efekata

Modeli izvora svjetlosti

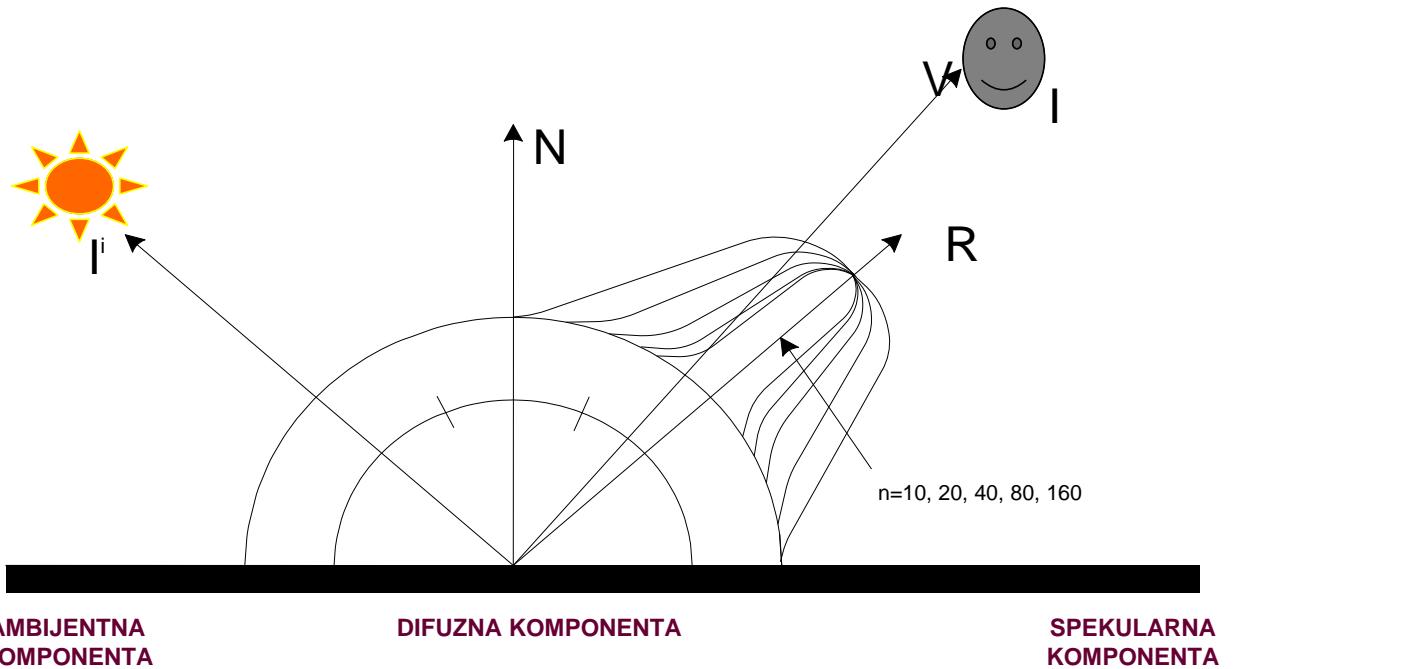
- Ambijentno svjetlo
 - Prisutno svuda u sceni
 - Grubo aproksimira globalno osvjetljenje
- Usmjereno svjetlo
- Točkasto svjetlo
- Reflektor

Model odbijanja svjetlosti (Phong)

- Bui-Tuong Phong, 1975.
- Najčešći model za RT grafiku
- Jednostavan, ali dobra aproksimacija



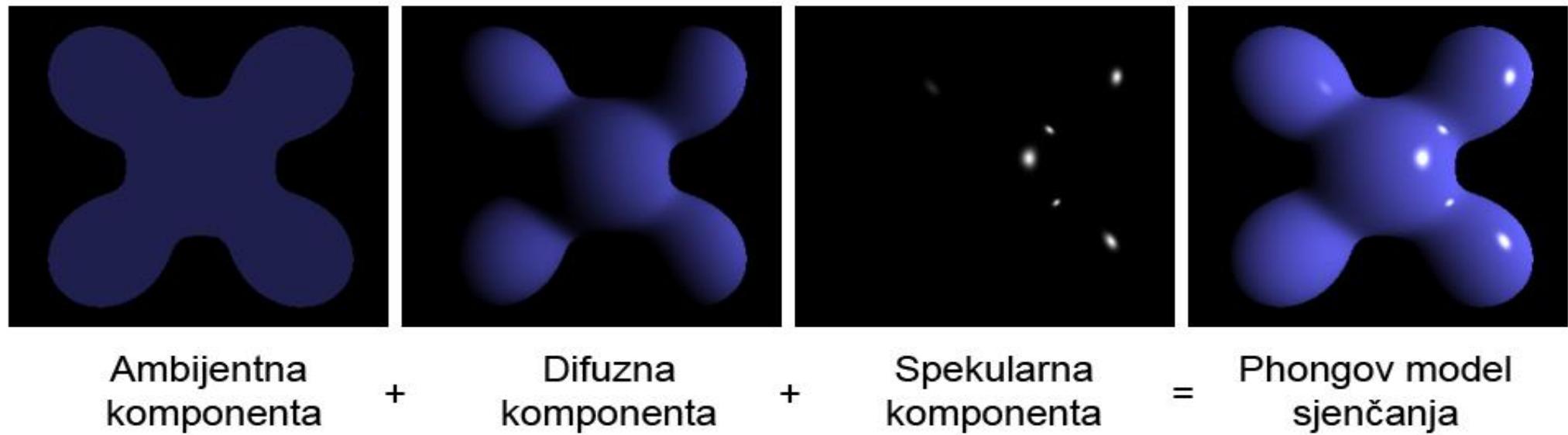
Phongov model odbijanja svjetlosti (1/2)



$$I = I_a k_a + I_i k_d (L \bullet N) + I_i k_s (R \bullet V)^n$$

KOEFICIJENTI MATERIJALA

Phongov model odbijanja svjetlosti (2/2)



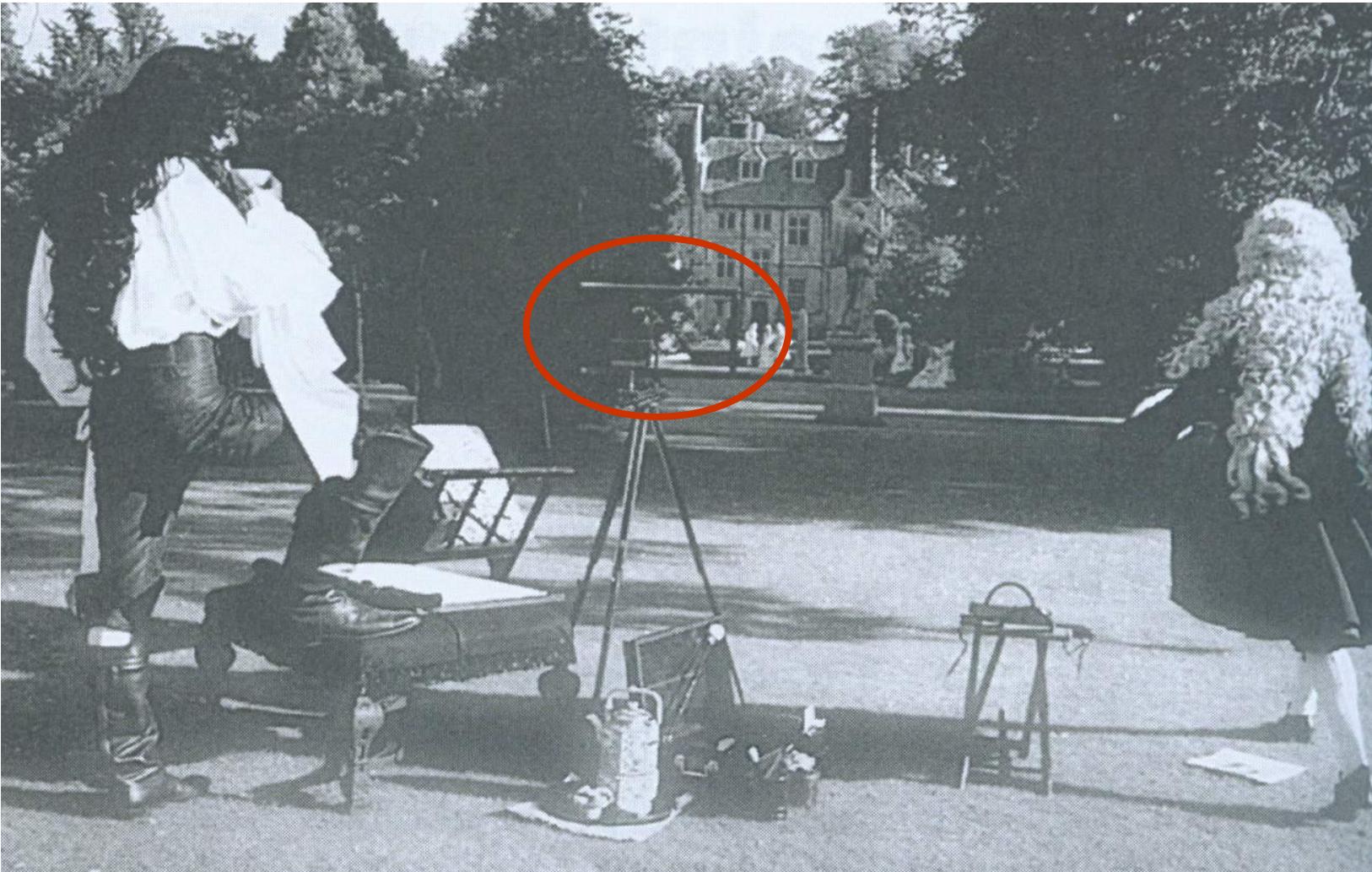
Model materijala

- Opisuje kako materijal odbija svjetlost
- Dobra vijest: ovo već znate! Osnovni model materijala je sadržan u modelu odbijanja svjetlosti
 - Koeficijenti odbijanja ambijentne, difuzne i spekularne komponente k_a , k_d i k_s
 - Spekularni faktor n
 - Faktor prozirnosti, ako se ona simulira

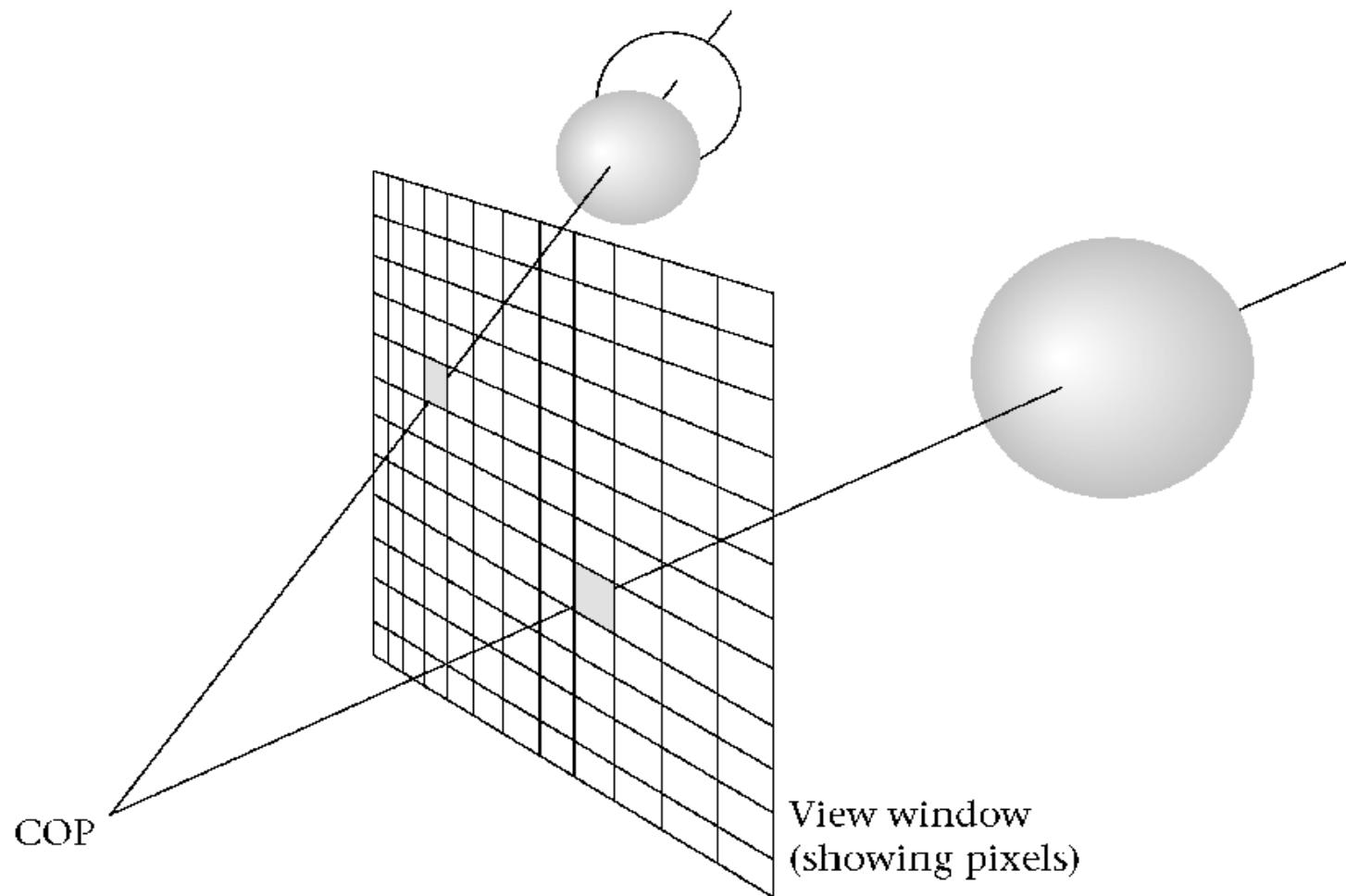
Uvod u 3D grafiku II: IsCRTavanje

- Grafički protočni sustav u realnom vremenu
 - Aplikacijska faza
 - Geometrijska faza
 - Faza rasteriziranja
- Teksturiranje
- Grafičko sklopolje: spremnici

Kada slikari „varaju”...



Projekcija



Grafički protočni sustav u stvarnom vremenu

- Engl. Graphics Rendering Pipeline
- Niz funkcija koje se izvode jedna za drugom, a koje virtualnu scenu pretvaraju u sliku
- Funkcije koje se izvode istovremeno, kao na pokretnoj traci; najsporija funkcija usko grlo
- Dio funkcija izveden u sklopolju
- Neke funkcije se mogu paralelizirati
- Optimizirano za rad s trokutima

Osnovne faze grafičkog protočnog sustava

- Aplikacijska faza
 - Operacije specifične za aplikaciju; priprema primitiva (trokuta)
- Geometrijska faza
 - Transformacije, projekcije, osvjetljenje: što, gdje i kako iscrtati
- Faza rasteriziranja
 - Priprema trokuta i pronalazak točaka u pojedinom trokutu
- Faza procesiranja točaka
 - Konačno iscrtavanje, tj. „punjenje“ točaka
- Osnovne faze dijele se na funkcijeske faze
- U implementaciji, funkcijeske faze se preslikavaju u implementacijske faze, ne nužno jedan na jedan



Aplikacijska faza (1/2)

- „Puni” ostatak protočnog sustava elementima za iscrtavanje u odgovarajućem obliku
 - To su najčešće trokuti, točke i linije
 - Ovo je osnovni zadatak aplikacijske faze
- Sve „pametne” stvari se rade ovdje:
 - Logika same aplikacije
 - Animacija
 - Simulacija
 - Ulaz/izlaz
 - Detekcija sudara
 - Ostalo...

Aplikacijska faza (2/2)

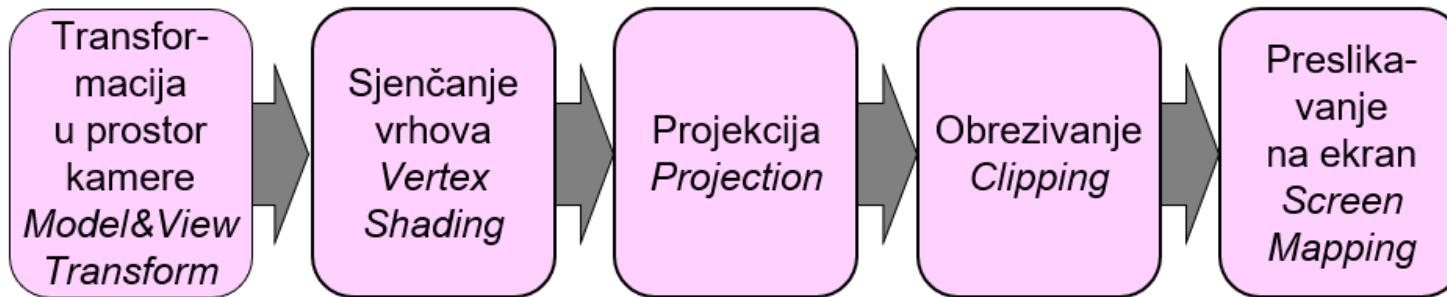
- Uvijek izvedena programski: najveća kontrola
- Najčešće nema podfaza (osim možda korištenjem više procesora)
- Može tako utjecati na ukupnu brzinu iscrtavanja
 - Npr. odabirom trokuta za iscrtavanje (engl. *culling*)

Geometrijska faza

- Ulaz: 3D poligoni, svjetla, kamera
- Izlaz: 2D poligoni u ekranskim koordinatama i sa određenim bojama
- Zahtjevna faza: oko 100 FP operacija po vrhu u klasičnim izvedbama
- Izvedba najčešće sklopovska, na grafičkom procesu (engl. Graphics Processing Unit, GPU)

Geometrijska faza: funkcije faze

- Transformacija u prostor kamere (engl. model & view transform)
- Sjenčanje vrhova (engl. vertex shading)
- Projekcija (engl. projection)
- Obrezivanje (engl. clipping)
- Preslikavanje na ekran (engl. screen mapping)



Tipični ulaz u geometrijsku fazu

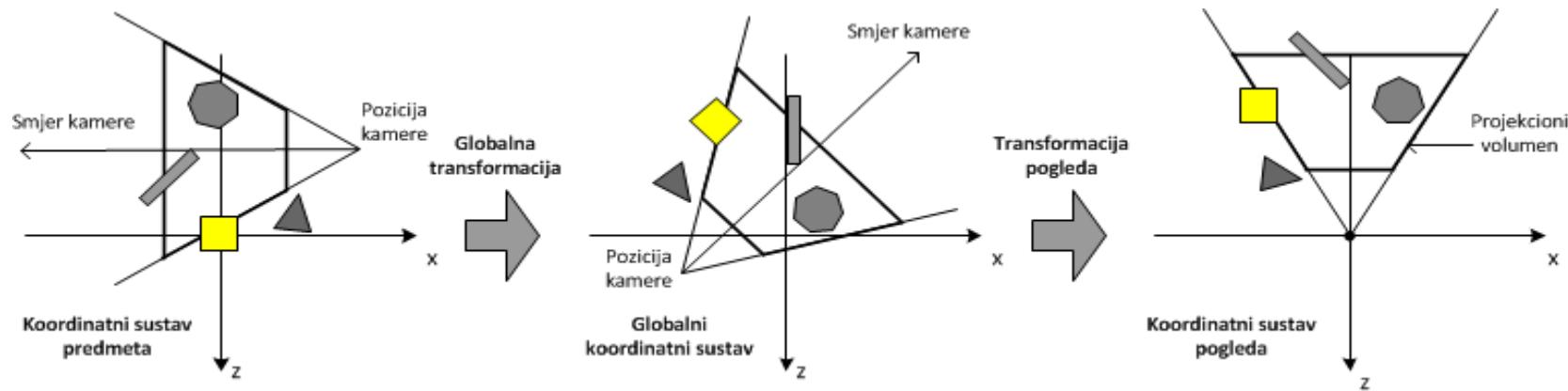
- Niz trokuta
 - Određeni vrhovima (vertex)
 - Mogu se zadati normale za svaki vrh
 - Može se zadati fiksna boja za trokut ili za svaki vrh
 - Parametri materijala
- Većina operacija izvodi se na vrhovima, dakle 3D točkama (x,y,z)

Transformacija u prostor kamere (1/2)

- Vrhovi su zadani u *koordinatnom sustavi predmeta*
- Svakom predmetu pridružena je *globalna transformacija*, koja određuje njegov položaj i orientaciju u *globalnom koordinatnom sustavu* (zajednički za čitavu scenu)
- Kamera ima svoj *koordinatni sustav pogleda* – definira se *transformacija pogleda* koja transformira iz globalnog sustava u sustav pogleda

Transformacija u prostor kamere (2/2)

- KS pogleda:
 - Kamera je u ishodištu
 - Gledamo u smjeru $-z$ osi
 - y os je gore, x os je desno
- Transformacija u dva koraka

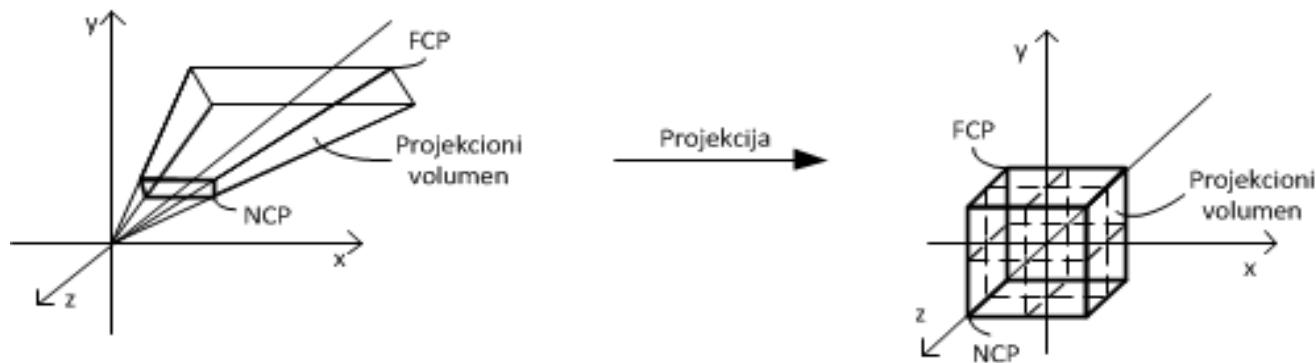


Sjenčanje vrhova (engl. vertex shading)

- U klasičnoj izvedbi, osvjetljenje se može računati npr. modelom s prošlog predavanja
 - Normala, materijal, svjetla, položaj/kamere → (jednadžba sjenčanja) → boja vrha/trokuta
- Boja može biti i direktno zadana (nema osvjetljenja, slab 3D efekt)
- Moderan GPU – sjenčanje vrhova potpuno programabilno:
 - Proizvoljni modeli osvjetljenja i sjenčanja
 - Pomicanje/stvaranje/brisanje vrhova

Projekcija

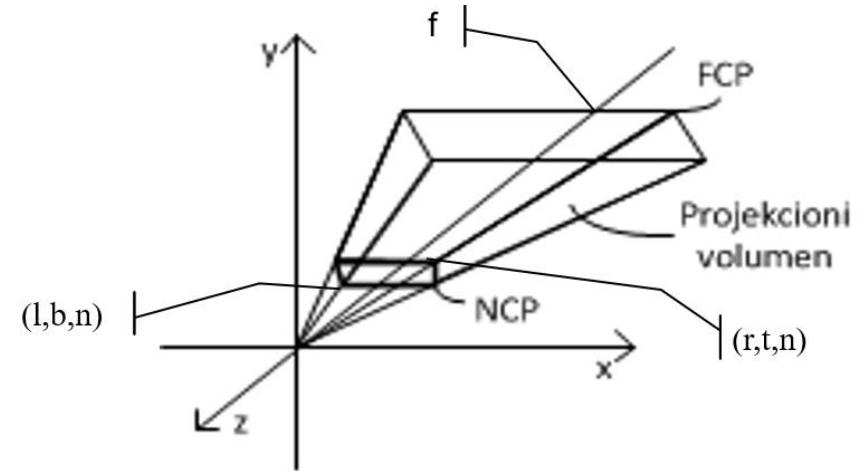
- Projekcioni volumen se transformira u jediničnu kocku (-1 -1 -1) (1 1 1)
 - x i y su normalizirane projicirane koordinate
 - z je norm. dubina, još će nam zatrebati



- Obavlja se tako da se vrhovi množe matricom projekcije

Matrica projekcije, vidni kut, *aspect ratio*

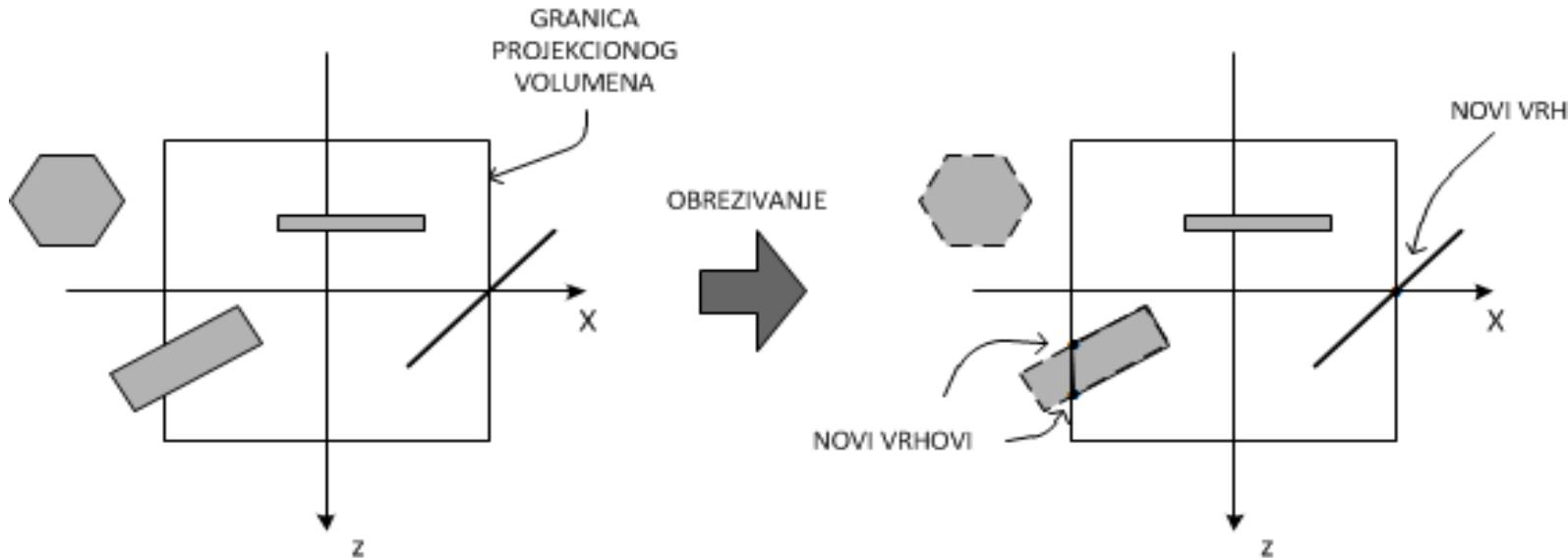
$$P_p = \begin{bmatrix} \frac{2n}{r-l} & 0 & -\frac{r+l}{r-l} & 0 \\ 0 & \frac{2n}{t-b} & -\frac{t+b}{t-b} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{f+n}{f-n} & -\frac{2fn}{f-n} \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$



- Vidni kut (engl. *Field of View, FOV*)
 - Objekt širine w na udaljenosti d vidi se pod kutem:
$$\phi = \arctan\left(\frac{w}{2d}\right)$$
 - Veza vidnog kuta i matrice Pp:
$$\phi_h = \arctan\left(\frac{r-l}{2n}\right)$$
- Omjer širina/visina (engl. *aspect ratio*):
$$A = \frac{r-l}{t-b} = \frac{\phi_h}{\phi_v}$$

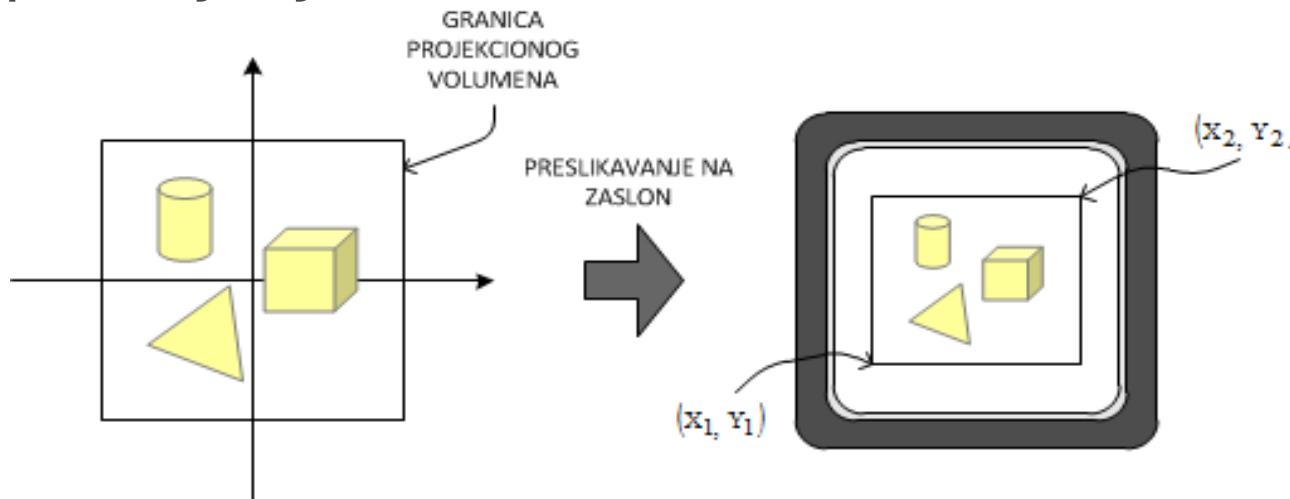
Obrezivanje (engl. clipping)

- Odbacuju se trokuti koji su izvan jedinične kocke
- Od trokuta koji presijecaju granice jedinične kocke nastaju novi, krnji trokuti



Preslikavanje na ekran

- x i y se transformiraju iz intervala -1,1 u koordinate ekrana
 - Jednostavna linearna operacija $x_s = ax_n + b$
- z ostaje nepromijenjen

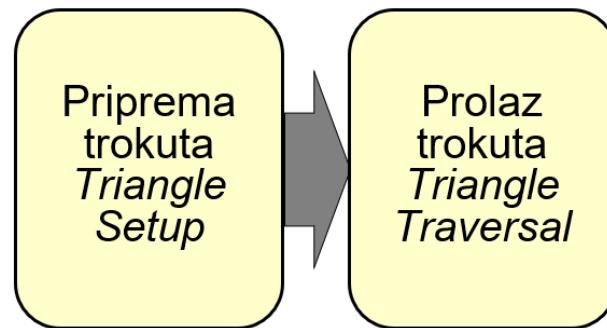


Faza rasteriziranja

- Engl. rasterisation, scan conversion
- Pretražuje koja točka je asocirana s kojim poligonom odnosno trokutom, odnosno koliko je preklapanje pojedinog trokuta po točkama
- Najčešće se prekrivenost računa po centru piksela, ali za neke tehnike može i na osnovu drugih
- Ulaz su transformirani i projicirani vrhovi s podacima o sjenčanju istih
- Izlaz su fragmenti s podacima i o sjenčanju i o dubini

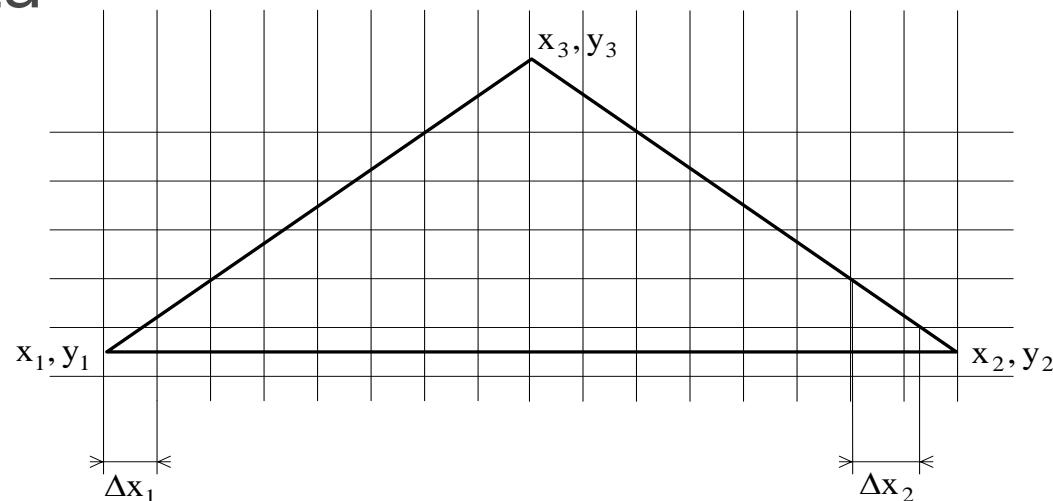
Faza rasteriziranja: funkcija faze

- Priprema trokuta (engl. triangle setup)
- Prolaz trokuta (engl. triangle traversal)



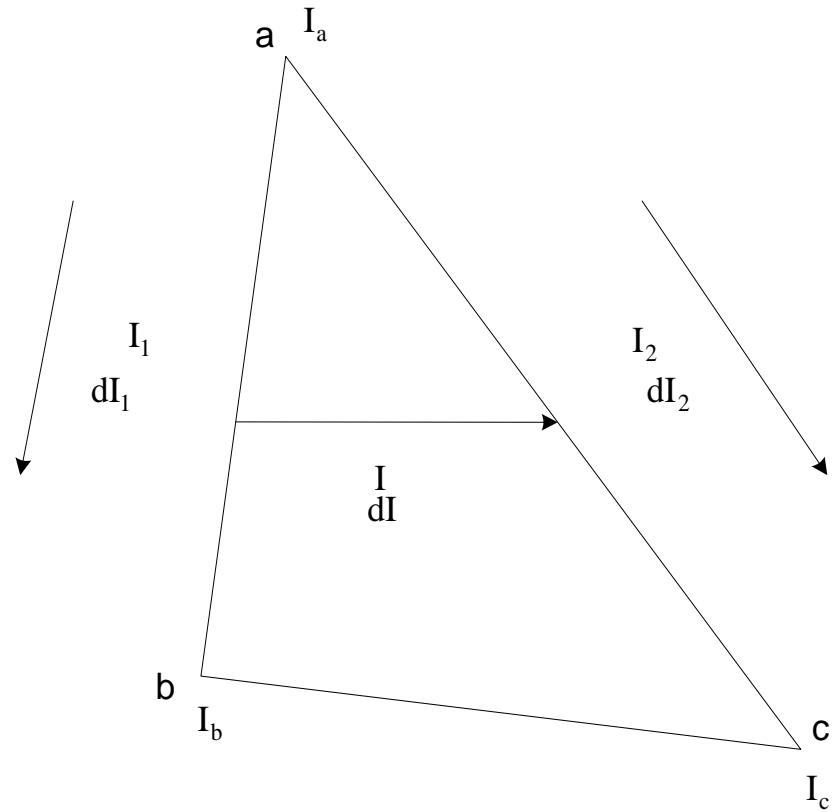
Priprema i prolaz trokuta

- Fazi pripreme – izračun Δ koordinata
- Faza prolaza – prekrivenost, izračun fragmenta
- Prolaz trokuta redak po redak, od lijevog do desnog ruba
- Pri prijelazu u novi redak, novi lijevi i desni rub se određuju dodavanjem Δ koordinata



Prolaz trokuta

- Svi podaci u vrhu interpoliraju se na prethodno objašnjrenom principu (korištenjem Δ)
- Fragment: skup interpoliranih podataka potrebnih za sjenčanje jedne točke
 - To mogu biti koordinate točke, dubina, boja, koordinate teksture, normala, prozirnost, specifični podaci za pojedine efekte sjenčanja...

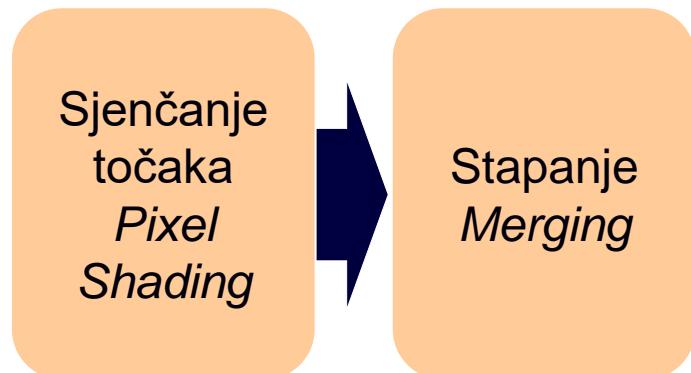


Faza procesiranja točaka

- Engl. pixel processing
- Upisuje boju u pojedine točke zaslona (piksele)
- Određuje vidljivost točaka
- Obavlja razne dodatne funkcije (detalji kasnije)
 - Teksturiranje, prozirnost, anti-aliasing, efekti zamućenosti...
- Vrlo zahtjevna, gotovo uvijek izvedba na grafičkom procesoru

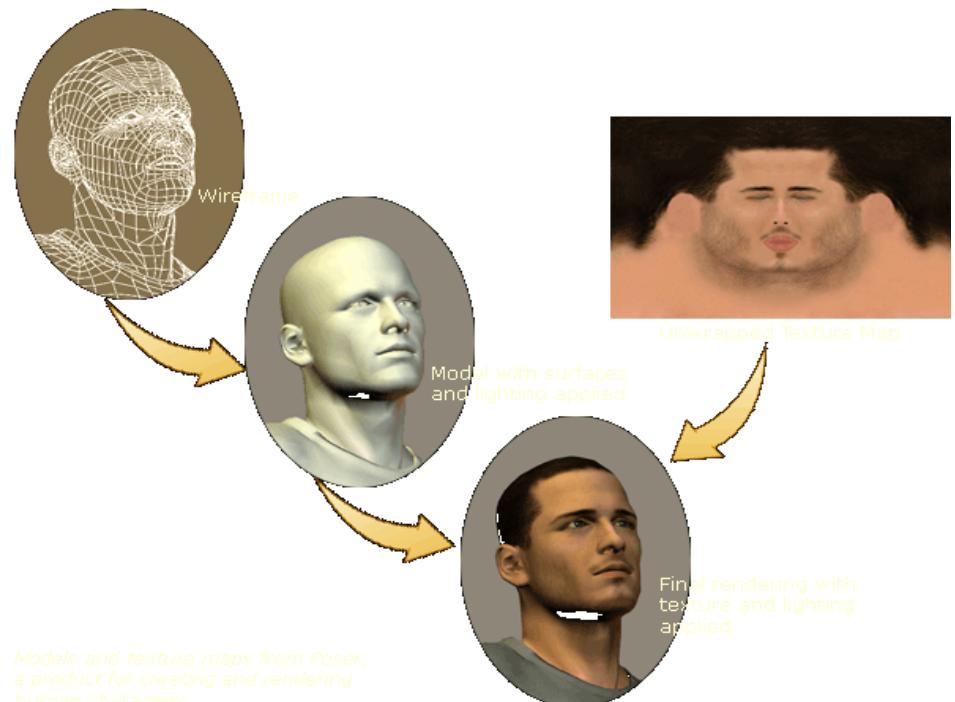
Faza procesiranja točaka: funkcija faze

- Sjenčanje točaka (engl. pixel shading)
- Stapanje (engl. merging)



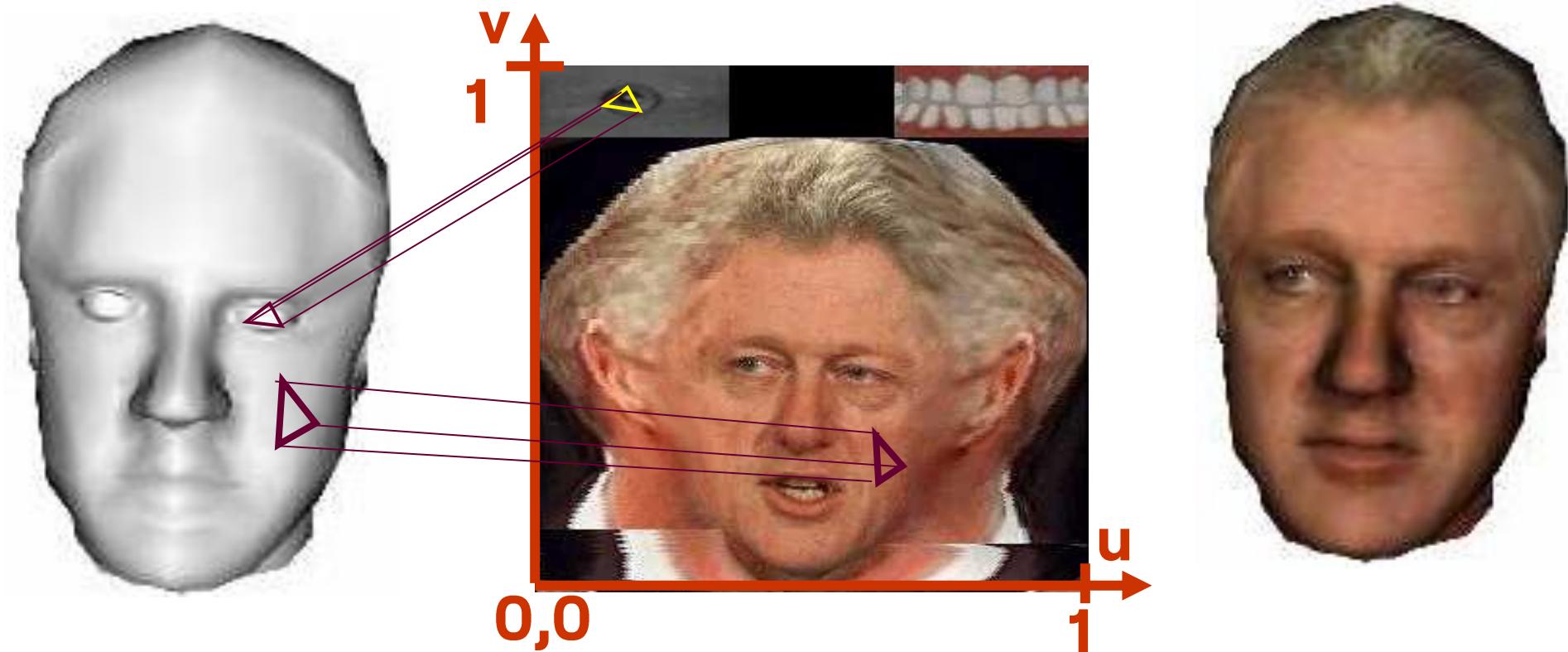
Sjenčanje točaka

- Iz interpoliranih podataka računa se boja točke
- Programabilno, razni efekti: klasične tehnike:
 - Plošno sjenčanje – ista boja za cijeli trokut
 - Gouraudovo sjenčanje – interpolacija boje
 - Phongovo sjenčanje – interpolacija normale
 - Teksturiranje – „lijepljenje“ slike na trokute



Teksturiranje (engl. texture mapping)

- U osnovi: „lijepjenje“ slike na geometriju
- Za svaki vrh imamo koordinate tekstuure u, v



Stapanje

- Izračunata boja točke stapa se s postojećom bojom točke u spremniku boja
- Konfiguiranjem ove faze postižu se razni efekti
 - Npr. efekt maske: oblik iscrtan u zasebnom spremniku (spremniku maske) određuje područje ekrana u kojem se točke iscrtavaju
- Faza stapanja odgovorna je i za određivanje vidljivosti metodom Z-spremnika

Metoda Z-spremnika

- Prije crtanja, sve vrijednosti u Z-spremniku postavljaju se na maksimalnu vrijednost (1.0)
- Prilikom crtanja svake točke svakog poligona:
 - Ako je dubina točke poligona koji crtamo veća od vrijednosti u Z spremniku za točku ekrana, znači da je na ekranu već nacrtan poligon koji je bliži od ovoga kojeg upravo crtamo, dakle preskačemo
 - U protivnom upisujemo točku u spremnik boje („ekran”), a dubinu u Z-spremnik

Grafičko sklopolje: spremnici

- Spremnik okvira (frame buffer)
 - Spremnik boje (color buffer)
 - Z-spremnik (Z-buffer)
 - Dvostruko spremanje (double buffering)
 - Stereo spremnici
 - Spremnik šablone (stencil buffer)