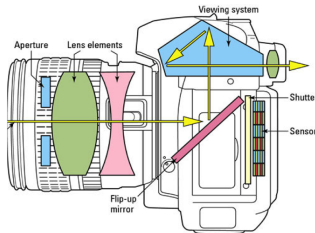


Računarska grafika

Model sintetičke kamere

Vesna Marinković

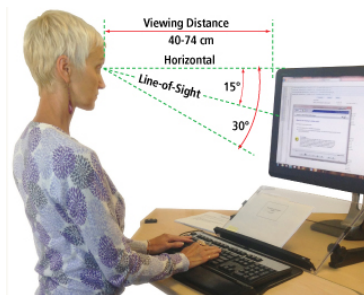
Kamera i scena



- Šta radi fotoaparat?
 - Prima kao ulaz 3D scenu
 - Smešta (tj. projektuje) scenu na 2D medijum
 - filmska rolna (analogna fotografija)
 - niz piksela (digitalna fotografija)
- **Sintetička kamera (fotoaparat)** je oponašanje procesa kojim fotoaparat projektuje 3D scenu u 2D sliku

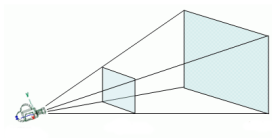
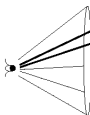
Vidno polje čoveka

- Čovekovo vidno polje je 180°
- Bez perifernog vida oko 120°
- Računarski monitor na ugodnoj distanci 25° – 30°
- Ekran telefona samo par stepeni



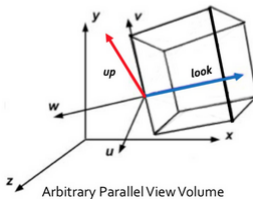
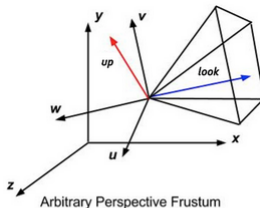
Zapremina pogleda

- Potrebno je ograničiti deo prostora koji će biti renderovan
- **Zapremina pogleda** ograničava deo 3D prostora koji se renderuje
 - **zarubljena kupa** – aproksimira ono što vidi oko
 - **zarubljena piramida** – aproksimira konusnu zapreminu pogleda
 - **paralelna zapremina pogleda** – simulira pogled sa veoma velike udaljenosti



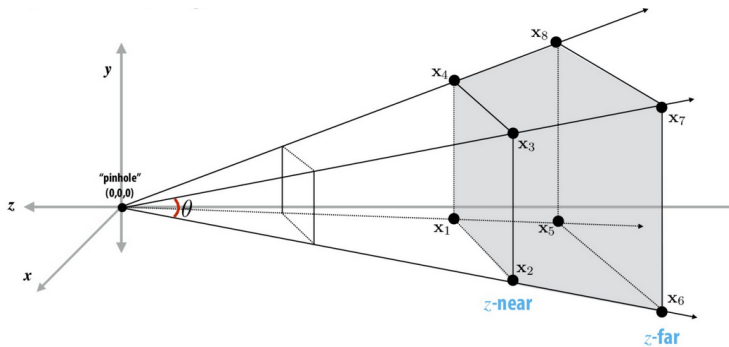
Zapremina pogleda

- Zapremina pogleda je određena
 - oblikom
 - položajem



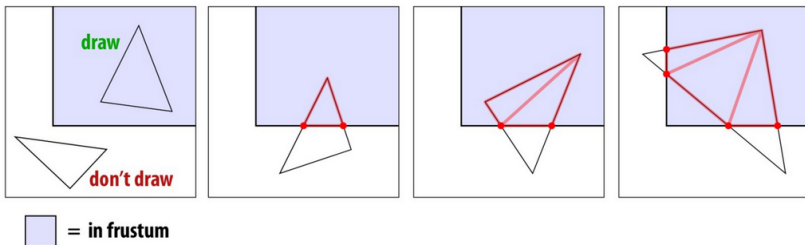
Perspektivna zapremina pogleda

- Perspektivna zapremina pogleda je oblika zarubljene četverostrane piramide (frustum)
- Gornja/donja/leva/desna ravan odsecanja odgovara stranama slike
- Bliža/dalja ravan odsecanja odgovara najbližoj/najudaljenijoj stvari koju želimo da nacrtamo



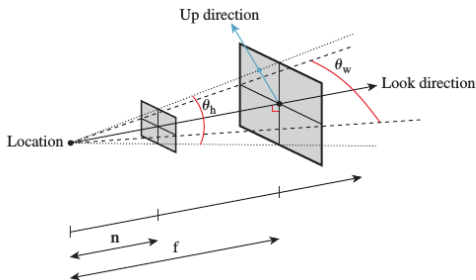
Odsecanje

- **Odsecanjem** se eliminišu trouglovi koji nisu u zapremini pogleda
 - ne treba gubiti vreme i rasterizovati primitive (trouglove) koji se ne vide
 - eliminisanje pojedinačnih fragmenata je skupo (fina granularnost)
 - bolje je eliminisati kompletne primitive (gruba granularnost)



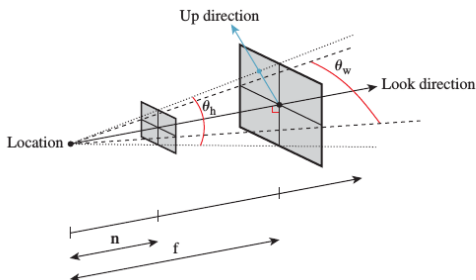
Parametri kamere kod perspektivnog projektovanja

- Pozicija kamere
- Vektor pogleda i vektor nagore
- Vidno polje
- Prednja i zadnja ravan odsecanja



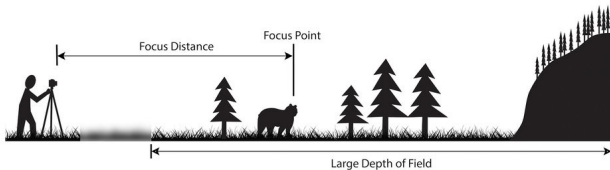
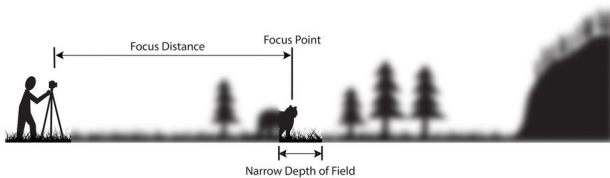
Parametri kamere kod perspektivnog projektovanja

- Pozicija kamere (tačka)
- Vektor pogleda i vektor nagore (dva vektora ili dve tačke)
- Vidno polje (dva ugla)
- Prednja i zadnja ravan odsecanja (dva skalara)



Dodatni parametri realne kamere

- Žižna daljina – rastojanje do tačaka koje su u fokusu
- Dubina vidnog polja – koliko daleko ispred i iza žižne daljine su objekti prihvatljivo oštri



Camera obscura

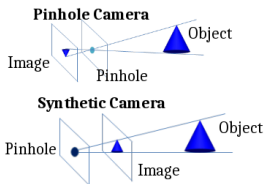
- Mračna kutija sa rupom na jednoj strani kroz koju se slika projektuje na ekran
- Karavađo, Velaskez, da Vinči i drugi hiperrealisti su je koristili za kreiranje svojih remek-dela



<http://thelightsofseeing.blogspot.com/2010/10/pinhole-photography-and-camera-obscura.html>

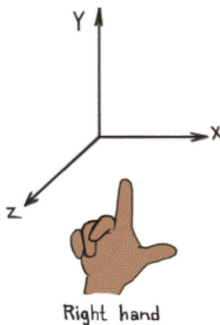
Sintetička kamera vs. camera obscura

- Sintetička kamera je nalik “tačkastoj” (eng. pinhole) kameri
- Tačkasta kamera (camera obscura)
 - umesto sočiva ima mali otvor kroz koji ulaze zraci svetlosti
 - ravan projektovanja je sa suprotne strane scene
 - slika scene je obrnuta
- Sintetička kamera
 - pozicija kamere predstavlja centar projekcije
 - kamera se nalazi iza ravni projektovanja u odnosu na objekat koji se projektuje



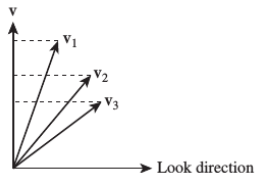
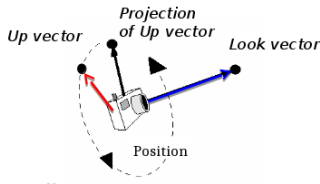
Pozicija kamere

- **Pozicija kamere** označava gde se kamera nalazi u svetskom koordinatnom sistemu
- Koordinatni sistem je pozitivno orijentisan: ako posmatramo ekran i x osa pokazuje udesno a y osa nagore, pozitivni deo z ose biće usmeren ka nama



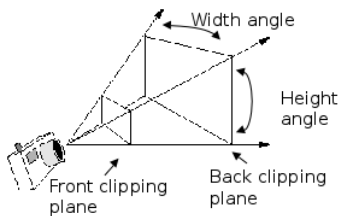
Orijentacija kamere: vektor pogleda i vektor nagore

- **Vektor pogleda** ($\overrightarrow{look}$)
 - zadaje smer u kom kamera gleda
 - može biti proizvoljan vektor u 3D prostoru
- **Vektor nagore** ($\overrightarrow{up}$)
 - određuje za koji ugao je kamera zarotirana oko vektora pogleda (šta je vertikala kamere)
 - vektor nagore ne sme biti kolinearan sa vektorom pogleda, ali ne mora biti upravan na vektor pogleda
 - orijentacija kamere se utvrđuje jediničnim vektorom $\vec{v}$ upravnim na vektor pogleda u ravni određenoj vektorom pogleda i vektorom nagore



Uglovi vidnog polja

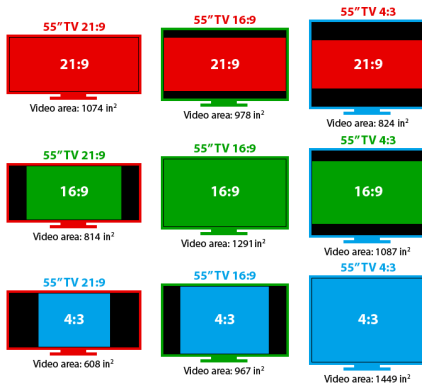
- **Uglovi vidnog polja** opisuju koliki deo scene će stati u zapreminu pogleda (izražavaju se u stepenima)



- Slika dobijena sintetičkom kamerom može biti:
 - kvadratna – potrebno je zadati samo jedan ugao vidnog polja
 - pravougaona – potrebno je zadati ugao posebno za horizontalno, a posebno za vertikalno vidno polje

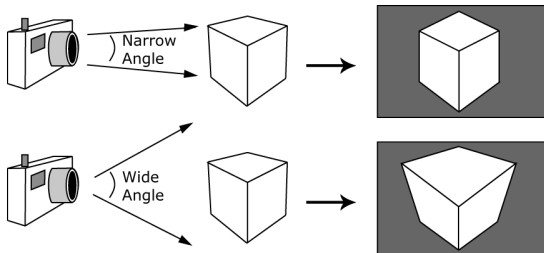
Uglovi vidnog polja

- Ponekad se zadaje horizontalno vidno polje i **odnos širine i visine** (engl. aspect ratio) prozora prikaza (1:1, 4:3, 16:9)
- Dobra praksa je da odnos širine i visine bude isti za prozor pogleda i oblast prikaza da ne bi došlo do istezanja ili suženja slike



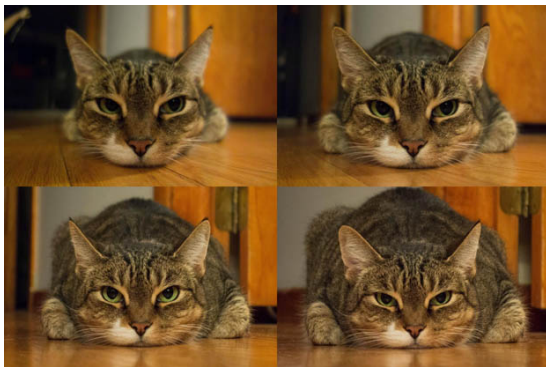
Uglovi vidnog polja

- Odabir ugla vidnog polja odgovara procesu kada fotograf bira tip sočiva (širokougao ili teleobjektiv)
- Ovim parametrom se zadaje količina perspektivnog iskrivljenja na slici
 - kod teleobjektiva, dobija se skoro paralelna projekcija i mali je stepen perspektivnog iskrivljenja
 - kod širokougaoanog objektiva je stepen perspektivnog iskrivljenja veliki



Uglovi vidnog polja

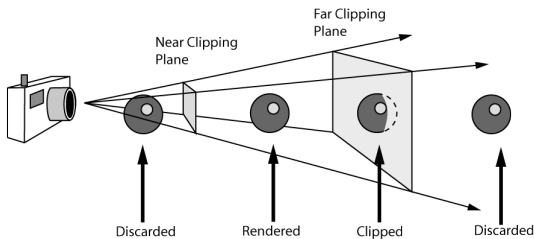
- 1. slika: širokougaoni objektiv (29mm žižna daljina, 30cm udaljenosti)
- 4. slika: teleobjektiv (105mm žižna daljina, 360cm udaljenosti)



<https://petapixel.com/2013/01/11/how-focal-length-affects-your-subjects-apparent-weight-as-seen-with-a-cat/>

Prednja i zadnja ravan odsecanja

- Do sad smo definisali 4 zraka koja se pružaju u beskonačnost i njima su zadate strane tekuće zapremine pogleda
- **Prednja i zadnja ravan odsecanja** su paralelne ravni projektovanja i zadaju se njihovim rastojanjem od pozicije kamere
- Isecaju zarubljenu četvorostranu piramidu pogleda
- Objekti koji se nalaze u okviru ove oblasti biće prikazani na slici, objekti van ove oblasti neće, a za objekte koji presecaju strane ove oblasti radi se odsecanje

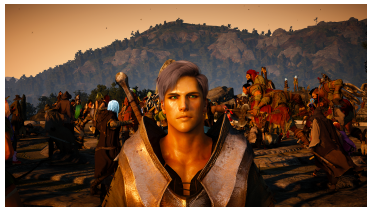


Prednja i zadnja ravan odsecanja

- Zašto uvodimo prednju ravan odsecanja?
 - Ne želimo da renderujemo objekte koji su preblizu kameri
 - blokiraju ostatak scene (primer: zrno prašine blizu oka)
 - imali bi visok stepen iskrivljenja
 - Neke primitive mogu da imaju temena i ispred i iza kamere
 - ne očekujemo da vidimo objekte iza kamere
 - zbog perspektivnog preslikavanja bili bi okrenuti naopačke
 - Ograničenje preciznosti bafera dubine
 - dubine čuvamo kao vrednosti u pokretnom zarezu
 - brojevi u pokretnom zarezu imaju veću rezoluciju oko 0
- Zašto uvodimo zadnju ravan odsecanja?
 - Ne želimo da renderujemo objekte koji su predaleko od kamere
 - daleki objekti nisu vizuelno značajni, a uzimaju vreme za renderovanje
 - različiti delovi objekta se mogu preslikavati u jedan isti piksel
- Potrebno je dobro postaviti ove dve ravni odsecanja (ni preblizu ni predaleko od kamere)

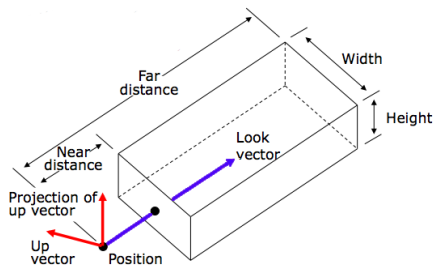
Prednja i zadnja ravan odsecanja u industriji igara

- **Problem:** Dok se tokom igre pomeramo unapred udaljeni objekat se odjednom pojavljuje u pozadini
- Rešenje ranije: objekti u pozadini se renderuju korišćenjem pozadinske magle i postepeno se pojavljuju prilikom prilaska objektu
- Rešenje danas: udaljeni objekti se renderuju sa manjim nivoom detaljnosti



Zapremina pogleda kod paralelnog projektovanja

- Parametri sintetičke kamere kod paralelnog projektovanja su isti kao kod perspektivnog projektovanja, osim što umesto uglova vidnog polja zadajemo visinu i širinu zapremine pogleda
- Paralelna zapremina pogleda je paralelopiped (ne nužno kvadar)

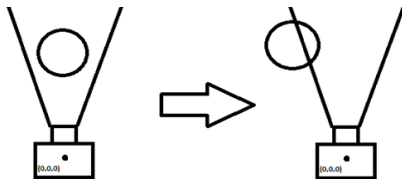


Zapremina pogleda kod paralelnog projektovanja

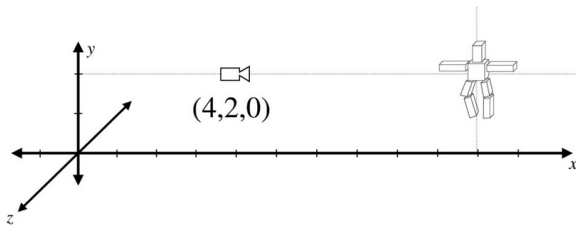
- Objekti se prikazuju u istoj veličini koliko god bili udaljeni od kamere jer su svi projekтивni zraci međusobno paralelni
- Skraćenje je uniformno i zavisi od ugla koji zraci projekcije zahvataju sa ravni projekcije
- Prednosti rada sa paralelnom zapreminom pogleda
 - jednostavnije odsecanje
 - jednostavniji testovi vidljivosti
 - jednostavnije je projektovati 3D scenu u 2D ravan projekcije jer nema perspektivnog skraćnja

Transformisanje kamere

- U opštem slučaju i kamera i objekti na sceni mogu se nezavisno transformisati, tj. pomerati
- U restriktivnijem modelu kamera ostaje fiksirana na jednoj poziciji – da bismo “transformisali kameru” potrebno je primeniti **inverzne transformacije** na objekte na sceni

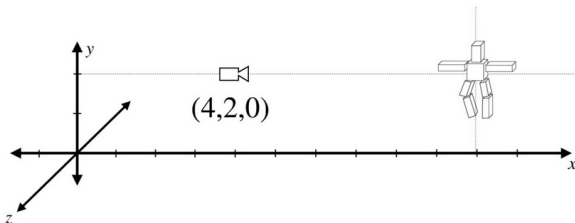


Jednostavna transformacija kamere



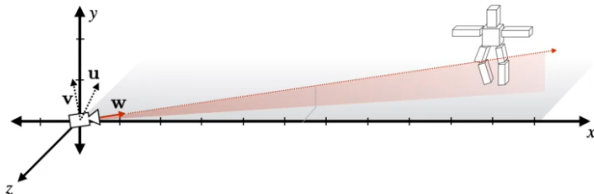
- Razmotrimo scenario u kom se kamera nalazi na poziciji $(4, 2, 0)$ i gleda u pozitivnom smeru x ose
- Koordinate objekta izražene su u svetskom koordinatnom sistemu
- Kojom transformacijom se objekat dovodi u koordinatni sistem gde je kamera u koordinatnom početku i gleda u negativnom smeru z ose?

Jednostavna transformacija kamere



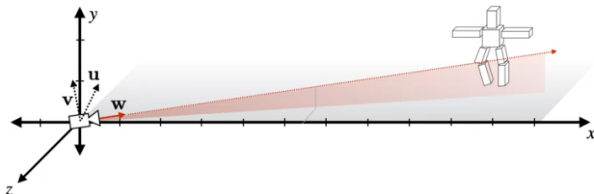
- Razmotrimo scenario u kom se kamera nalazi na poziciji $(4, 2, 0)$ i gleda u pozitivnom smeru x ose
- Koordinate objekta izražene su u svetskom koordinatnom sistemu
- Kojom transformacijom se objekat dovodi u koordinatni sistem gde je kamera u koordinatnom početku i gleda u negativnom smeru z ose?
 - Transliranjem temena objekta za vektor $(-4, -2, 0)$
 - Rotacijom oko y ose za $\pi/2$ dobija se pozicija objekta u novom koordinatnom sistemu u kom kamera gleda duž negativnog smera z ose

Opšta transformacija kamere



- U opštem slučaju kamera gleda u smeru $w \in \mathbb{R}^3$
- Kojom transformacijom se objekat dovodi u koordinatni sistem u kom kamera gleda u negativnom smeru z ose?

Opšta transformacija kamere



- U opštem slučaju kamera gleda u smeru $w \in \mathbb{R}^3$
- Kojom transformacijom se objekat dovodi u koordinatni sistem u kom kamera gleda u negativnom smeru z ose?
 - Konstruišemo vektor v upravan na w i vektor u kao $u = w \times v$
 - Gradimo matricu R : koordinate vektora u, v i $-w$ pišemo po kolonama
 - R je matrica rotacije jer se koordinatni početak čuva, prave se slikaju u prave, rastojanja se čuvaju
 - Preslikava jedinične vektore u smeru x, y i z ose u vektore u, v i $-w$
 - Kameru transformišemo primenom inverznih operacija na objekte
 - Inverz od R je R^T : koordinate vektora u, v i $-w$ pišemo po vrstama

Izgradnja koordinatnog sistema kamere

- **Koordinatni sistem kamere** (u, v, w) je pozitivno orijentisani, ortonormirani koordinatni sistem koji ima koordinatni početak u poziciji kamere i za koji važi:
 - w je jedinični vektor suprotno orijentisan od vektora pogleda (vektor pogleda leži duž negativne w ose)
 - v je komponenta vektora nagore upravna na vektor pogleda, normalizovan na jediničnu dužinu
 - u je jedinični vektor upravan na vektore v i w



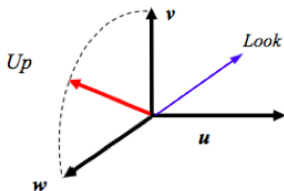
- **Zadatak:** na osnovu pozicije kamere, vektora pogleda i vektora nagore izgraditi koordinatni sistem kamere (u, v, w)

Izgradnja koordinatnog sistema kamere

- Do vektora $\vec{w}$ jednostavno dolazimo:

$$\vec{w} = \frac{-\vec{look}}{\|\vec{look}\|}$$

- Vektor $\vec{v}$ konstruišemo na sledeći način:
 - od vektora $\vec{up}$ oduzimamo komponentu u smeru vektora $\vec{w}$
 - normiramo dobijeni vektor

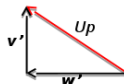
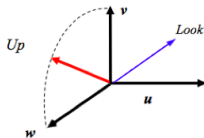


Izgradnja koordinatnog sistema kamere

- Oduzimanjem w komponente od vektora $\vec{u\rho}$ dobijamo vektor $\vec{v'}$ koji dalje normalizujemo

$$\vec{v'} = \vec{u\rho} - \vec{w'}, \quad \vec{w'} = \text{proj}_{\vec{w}} \vec{u\rho} = (\vec{u\rho} \cdot \vec{w}) \vec{w}$$

$$\vec{v'} = \vec{u\rho} - (\vec{u\rho} \cdot \vec{w}) \vec{w}, \quad \vec{v} = \frac{\vec{v'}}{\|\vec{v'}\|}$$

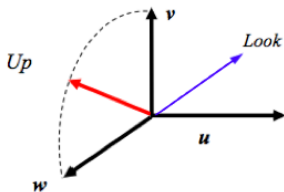


- $\vec{u}$ računamo tako da (u, v, w) bude pozitivno orijentisan koordinatni sistem

$$\vec{u} = \vec{v} \times \vec{w}$$

Izgradnja koordinatnog sistema kamere

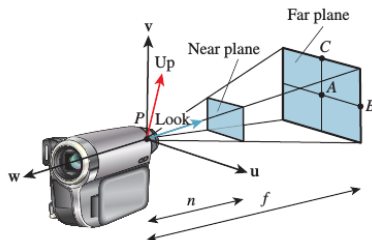
$$\begin{aligned}\vec{w} &= \frac{-\vec{look}}{\|\vec{look}\|} \\ \vec{v} &= \frac{\vec{up} - (\vec{up} \cdot \vec{w})\vec{w}}{\|\vec{up} - (\vec{up} \cdot \vec{w})\vec{w}\|} \\ \vec{u} &= \vec{v} \times \vec{w}\end{aligned}$$



Određivanje koordinata tačaka na zapremini pogleda

- Izračunajmo koordinate tačaka A , B i C na zadnjoj ravni odsecanja perspektivne zapremine pogleda
- Neka je P pozicija kamere
- A se nalazi u smeru vektora $-\vec{w}$ na rastojanju f od tačke P

$$\vec{PA} = -f \cdot \vec{w}$$



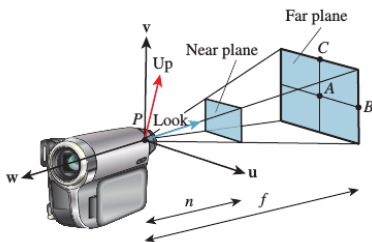
Određivanje koordinata tačaka na zapremini pogleda

- $\triangle PAB$ je pravougli: AB je naspram polovine ugla horizontalnog vidnog polja i na rastojanju je f od P , stoga važi:

$$\tan \frac{\theta_h}{2} = \frac{|AB|}{f}, \quad \theta_h = \theta_h^{deg} \frac{\pi}{180}$$

$$|AB| = f \cdot \tan \frac{\theta_h}{2}$$

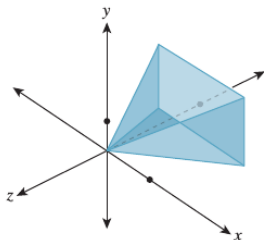
- $|AC|$ se analogno izražava kao funkcija vertikalnog vidnog polja θ_v



Određivanje koordinata tačaka na zapremini pogleda

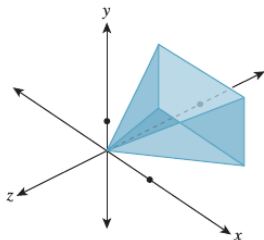
$$\begin{aligned}A &= P - f \cdot \vec{w} \\B &= A + f \cdot \tan \frac{\theta_h}{2} \vec{u} = P + f \cdot \tan \frac{\theta_h}{2} \vec{u} - f \cdot \vec{w} \\C &= A + f \cdot \tan \frac{\theta_v}{2} \vec{v} = P + f \cdot \tan \frac{\theta_v}{2} \vec{v} - f \cdot \vec{w}\end{aligned}$$

Standardna (kanonska) perspektivna zapremina pogleda



- Cilj: standardizovati veličinu i poziciju zapremine pogleda
- Standardna perspektivna zapremina pogleda je piramida koja ima granice od -1 do 1 po x i y osi i od 0 do -1 po z osi

Standardna (kanonska) perspektivna zapremina pogleda



- Cilj: standardizovati veličinu i poziciju zapremine pogleda
- Standardna perspektivna zapremina pogleda je piramida koja ima granice od -1 do 1 po x i y osi i od 0 do -1 po z osi
- Pozicija kamere $P(0, 0, 0)$
- $\text{look} = (0, 0, -1)$, $\vec{v} = (0, 1, 0)$
- Zadnja ravan odsecanja $z = -1$, prednja ravan se diskutuje kasnije

Transformacija proizvoljne perspektivne zapremine pogleda u standardnu perspektivnu zapreminu pogleda

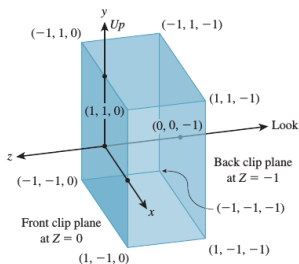
- Transformacija proizvoljne perspektivne u standardnu perspektivnu zapreminu pogleda je **afina transformacija** u 3D i kao takva određena je slikama četiri nekomplanarne tačke:
 - P se slika u $(0, 0, 0)$
 - A se slika u $(0, 0, -1)$
 - B se slika u $(1, 0, -1)$
 - C se slika u $(0, 1, -1)$
- Tačke zadnje ravni odsecanja transformišu se u ravan $z = -1$
- Rastojanja duž zraka iz P do A transformišu se linearno te važi:
$$n : f = z : -1$$
- Tačke sa prednje ravni odsecanja transformišu se u ravan $z = -n/f$
- Na ovaj način sve što se dalje radi je nezavisno od parametara kamere

Matrica transformacije proizvoljne perspektivne zapremine pogleda u standardnu perspektivnu zapreminu pogleda

- Izvodimo transformaciju korak po korak
 - koristimo poziciju kamere, vektore $\overrightarrow{look}$ i $\overrightarrow{up}$ da odredimo (u, v, w) koordinatni sistem kamere
 - primenjujemo translaciju kojom tačku P slikamo u koordinatni početak
 - primenjujemo odgovarajući broj rotacija oko koordinatnih osa tako da se (u, v, w) ose poravnaju sa (x, y, z) – matrica koja po vrstama sadrži koordinate vektora u, v, w
 - primenjujemo skaliranje po z osi tako da se zadnja ravan odsecanja $z = -f$ preslika u $z = -1$
 - izvodimo skaliranje po x i y osi tako da visina i širina frustumu bude 2

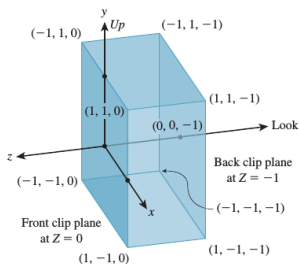
$$M_{persp} = \begin{bmatrix} \frac{1}{f \tan \frac{\theta_h}{2}} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{f \tan \frac{\theta_v}{2}} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{f} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} u_x & u_y & u_z & 0 \\ v_x & v_y & v_z & 0 \\ w_x & w_y & w_z & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & -x_p \\ 0 & 1 & 0 & -y_p \\ 0 & 0 & 1 & -z_p \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Standardna (kanonska) paralelna zapremina pogleda



- Standardna paralelna zapremina pogleda je pravougaoni paralelopiped čije granice idu od -1 do 1 po x i y osi i od 0 do -1 po z osi

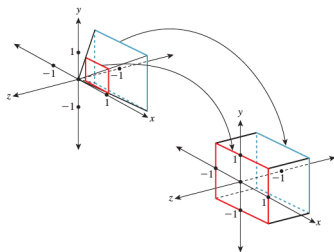
Standardna (kanonska) paralelna zapremina pogleda



- Standardna paralelna zapremina pogleda je pravougaoni paralelopiped čije granice idu od -1 do 1 po x i y osi i od 0 do -1 po z osi
- $\vec{look} = (0, 0, -1)$, $\vec{v} = (0, 1, 0)$
- Prednja ravan odsecanja $z = 0$, a zadnja ravan $z = -1$

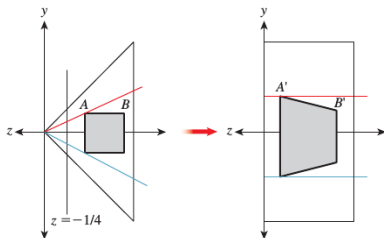
Transformacija standardne perspektivne zapremine pogleda u standardnu paralelnu zapreminu pogleda

- Cilj: pojednostaviti projektovanje, odsecanje i određivanje vidljivih površi
- Transformišemo deo standardne perspektivne zapremine pogleda između prednje i zadnje ravni odsecanja (između $z = -n/f$ i $z = -1$) u standardnu paralelnu zapreminu pogleda (između $z = 0$ i $z = -1$) tako da sačuvamo relativnu dubinu ključnu za određivanje vidljivih površi
- Koristimo **projektivnu transformaciju** kojom se zraci koji prolaze kroz perspektivnu zapreminu pogleda ka koordinatnom početku transformišu u zrake koji prolaze kroz paralelnu zapreminu pogleda ka xy ravni u pozitivnom smeru z ose



Transformacija standardne perspektivne zapremine pogleda u standardnu paralelnu zapreminu pogleda

- Perspektivno projektovanje je oblika: $(x, y, z) \rightarrow (x/z, y/z, 1)$
- Paralelno projektovanje je oblika: $(x, y, z) \rightarrow (x, y, 1)$
- Finalni rezultat projektovanja na ova dva načina je isti. Intuicija:
 - I tačka B i tačka B' su zaklonjene bližom ivicom kvadrata/trapeza
 - Što je objekat bliži prednjoj ravni odsecanja to će više biti uvećan – bliži objekti se prikazuju veći, a dalji manji
 - Paralelne prave u perspektivnoj zapremini konvergiraju ka tački nedogleda



Matrica transformacije standardne perspektivne zapremine pogleda u standardnu paralelnu zapreminu pogleda

- Označimo z -koordinatu prednje ravni odsecanja standardne perspektivne zapremine pogleda sa $c = -n/f$
- Transformacije standardne perspektivne u standardnu paralelnu zapreminu pogleda nije afina

$$M_{pp} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1/(1+c) & -c/(1+c) \\ 0 & 0 & -1 & 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & f/(f-n) & n/(f-n) \\ 0 & 0 & -1 & 0 \end{bmatrix}$$

- S obzirom na to da ćemo u nekom trenutku homogenizovati koordinate, možemo sve elemente matrice pomnožiti sa $f - n$:

$$M_{pp} = \begin{bmatrix} f-n & 0 & 0 & 0 \\ 0 & f-n & 0 & 0 \\ 0 & 0 & f & n \\ 0 & 0 & -(f-n) & 0 \end{bmatrix}$$

Provera matrice transformacije

- Razmotrimo gornje desno prednje teme zarubljene piramide: ono ima koordinate $(-c, -c, c)$

$$\begin{bmatrix} f-n & 0 & 0 & 0 \\ 0 & f-n & 0 & 0 \\ 0 & 0 & f & n \\ 0 & 0 & -(f-n) & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} -c \\ -c \\ c \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -c(f-n) \\ -c(f-n) \\ cf+n \\ -(f-n)c \end{bmatrix}$$

- Nakon homogenizacije dobija se:

$$\begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ \frac{cf+n}{-(f-n)c} \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}$$

- Dakle, slika gornjeg desnog prednjeg temena standardne perspektivne zapremine pogleda je gornje desno prednje teme standardne paralelne zapremine pogleda
- Slično važi za ostala temena

Opsezi z koordinata u različitim grafičkim aplikacijama

- Geometrija scene je transformisana u standardnu paralelnu zapreminu pogleda
- Različite grafičke aplikacije očekuju različite opsege z vrednosti:
 - OpenGL: $[-1, 1]$
 - Direct3D: $[0, 1]$
- Interval $[0, -1]$ po z se može preslikati u interval $[-1, 1]$:
 - skaliranjem za faktor -2 po z osi: $[0, -1] \rightarrow [0, 2]$
 - translacijom za -1 duž z ose: $[0, 2] \rightarrow [-1, 1]$
- Matrica podešavanja opsega z koordinata:

$$M_z = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

- Ukupna matrica: $M_z \cdot M_{pp} \cdot M_{persp}$

Prednosti rada sa standardnom paralelnom zapreminom pogleda

- Umesto da se vrši odsecanje svetskih koordinata u odnosu na proizvoljnu zapreminu pogleda kamere, svetske koordinate se transformišu u standardnu zapreminu pogleda u kojoj su odsecanja jednostavnija:
 - u odnosu na ravni $x = 1$, $x = -1$, $y = 1$, $y = -1$, $z = 1$, $z = -1$
- Projekcija na ravan slike nije projekcija na proizvoljnu ravan u 3D prostoru, već na ravan određenu standardnom paralelnom zapreminom pogleda, te je jedino potrebno “zaboraviti” z koordinatu
- Određivanje vidljivih površi je jednostavnije: samo se porede z koordinate

