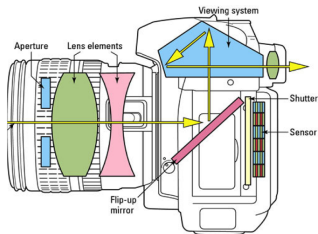


# Računarska grafika

## Model sintetičke kamere

Vesna Marinković

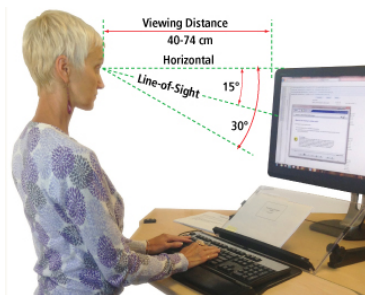
# Kamera i scena



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

# Vidno polje čoveka

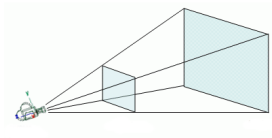
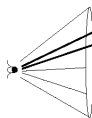
- Čovekovo vidno polje je  $180^\circ$
- Bez perifernog vida oko  $120^\circ$
- Računarski monitor na ugodnoj distanci  $25^\circ$ – $30^\circ$
- Ekran telefona samo par stepeni



# Zapremina pogleda

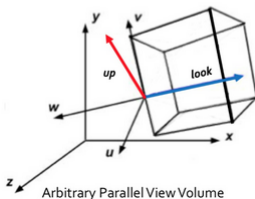
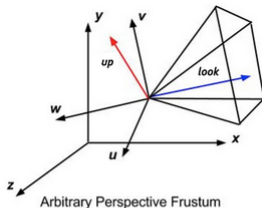
- Potrebno je ograničiti deo prostora koji će biti renderovan
- **Zapremina pogleda** ograničava deo 3D prostora koji se renderuje
  - **zarubljena kupa** – aproksimira ono što vidi oko
  - **zarubljena piramida** – aproksimira konusnu zapreminu pogleda
  - **paralelna zapremina pogleda** – simulira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

cm



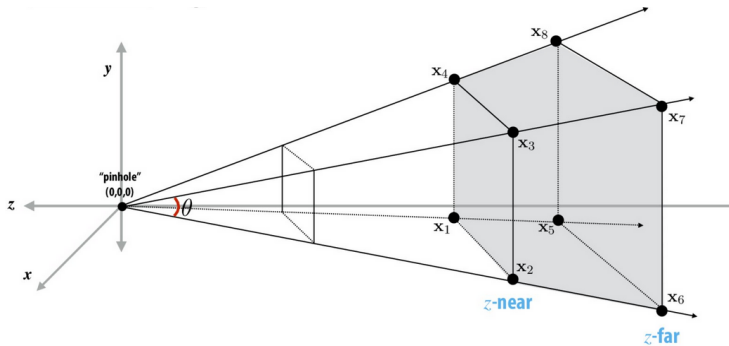
# Zapremina pogleda

- Zapremina pogleda je određena
  - oblikom
  - položajem



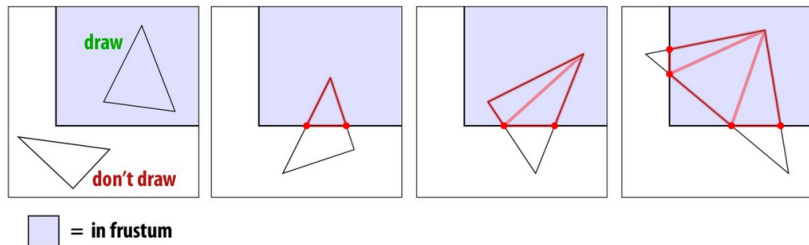
# Perspektivna zapremina pogleda

- 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



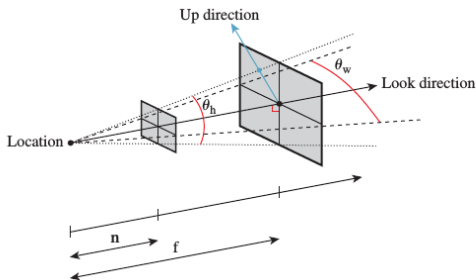
# Odsecanje

- **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

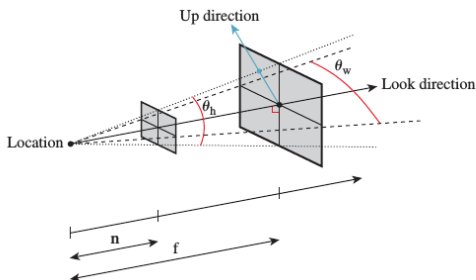
- Pozicija kamere
- Vektor pogleda i vektor nagore
- Vidno polje
- Prednja i zadnja ravan odsecanja





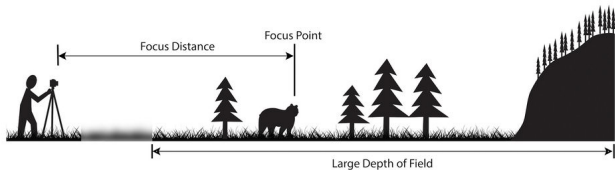
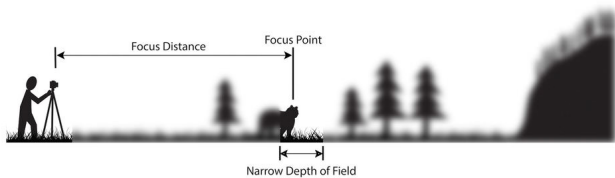
# Parametri kamere kod perspektivnog projektovanja

- 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

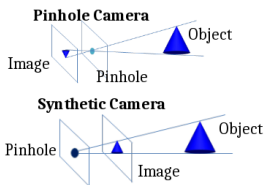
- Mračna kutija sa rupom na jednoj strani kroz koju se slika projektuje na ekran
- Karavađo, Velaskez, da Vinči i drugi hiperrealisti su je koristili za kreiranje svojih remek-dela



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

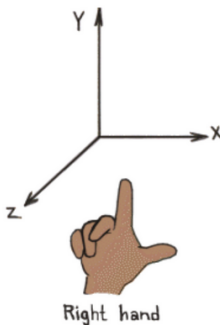
# Sintetička kamera vs. camera obscura

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



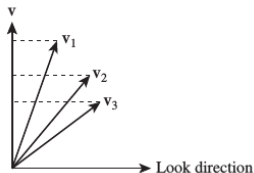
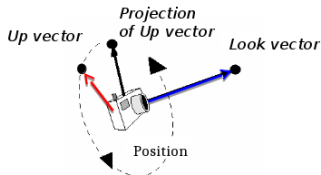
# Pozicija kamere

- **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



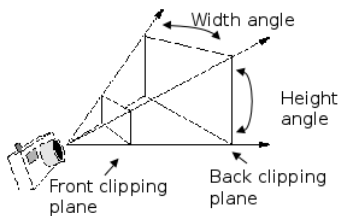
# Orientacija kamere: vektor pogleda i vektor nagore

- **Vektor pogleda** ( $\vec{look}$ )
  - zadaje smer u kom kamera gleda
  - može biti proizvoljan vektor u 3D prostoru
- **Vektor nagore** ( $\vec{up}$ )
  - 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

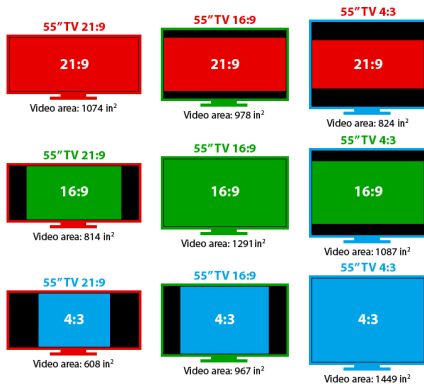
- **Uglovi vidnog polja** opisuju koliki deo scene će stati u zapreminu pogleda (izražavaju se u stepenima)



- 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

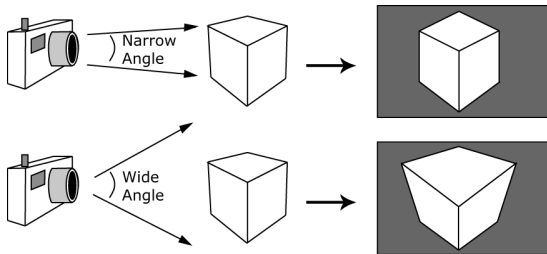
- Ponekad se zadaje horizontalno vidno polje i **odnos širine i visine** (engl. aspect ratio) prozora prikaza (1:1, 4:3, 16:9)
- Dobra praksa je da odnos širine i visine bude isti za prozor pogleda i oblast prikaza da ne bi došlo do istežanja ili suženja slike





# Uglovi vidnog polja

- Odabir ugla vidnog polja odgovara procesu kada fotograf bira tip sočiva (širokouglaoni 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 širokouglaonog objektiva je stepen perspektivnog iskrivljenja veliki



## Uglovi vidnog polja

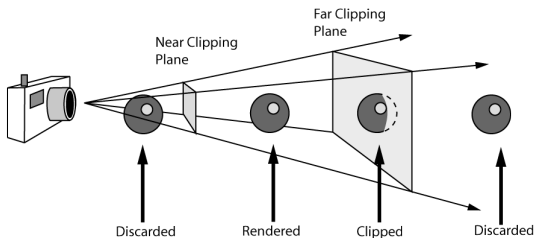
- 1. slika: širokougaoni objektiv (29mm žižna daljina, 30cm udaljenosti)
- 4. slika: teleobjektiv (105mm žižna daljina, 360cm udaljenosti)



<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)

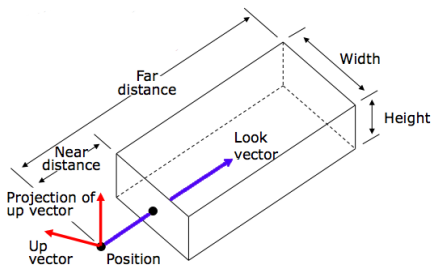
## Prednja i zadnja ravan odsecanja u industriji igara

- **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 paralelepiped (ne nužno kvadar)

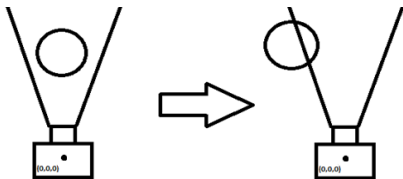


# Zapremina pogleda kod paralelnog projektovanja

- 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

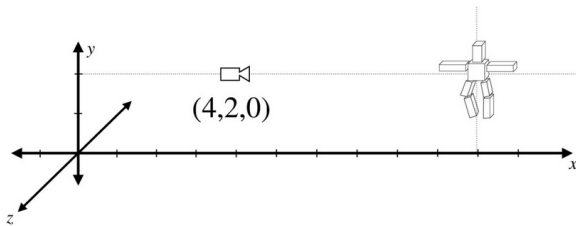
# Transformisanje kamere

- 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



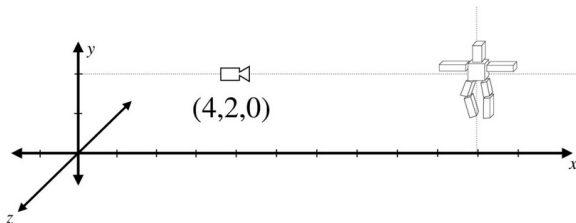


# Jednostavna transformacija kamere



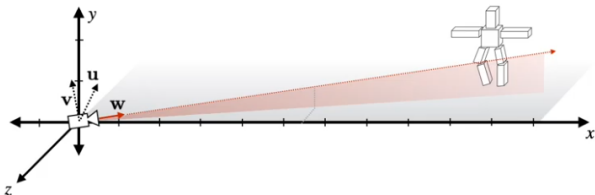
- Razmotrimo scenario u kom se kamera nalazi na poziciji  $(4, 2, 0)$  i gleda u pozitivnom smeru  $x$  ose
- Koordinate objekta izražene su u svetskom koordinatnom sistemu
- Kojom transformacijom se objekat dovodi u koordinatni sistem gde je kamera u koordinatnom početku i gleda u negativnom smeru 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

# Jednostavna transformacija kamere



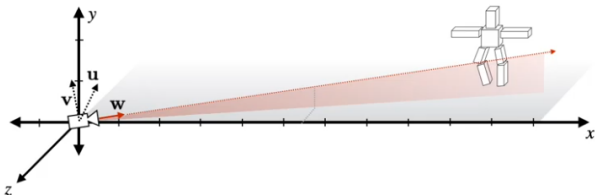
- Razmotrimo scenario u kom se kamera nalazi na poziciji  $(4, 2, 0)$  i gleda u pozitivnom smeru  $x$  ose
- Koordinate objekta izražene su u svetskom koordinatnom sistemu
- Kojom transformacijom se objekat dovodi u koordinatni sistem gde je kamera u koordinatnom početku i gleda u negativnom smeru 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

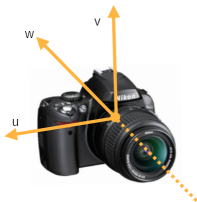
# Opšta transformacija kamere



- 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?
  - Konstruišem neki vektor  $v$  upravnan na  $w$  i  $u$  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 upravna na vektore  $v$  i  $w$



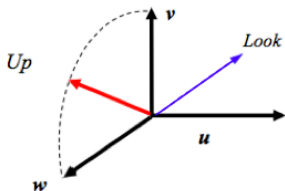
- **Zadatak:** na osnovu pozicije kamere, vektora pogleda i vektora nagore izgraditi koordinatni sistem kamere  $(u, v, w)$

# 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

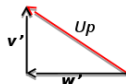
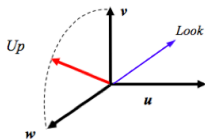


# Izgradnja koordinatnog sistema kamere

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

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

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

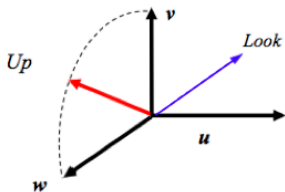


- $\vec{u}$  računamo tako da  $(u, v, w)$  bude pozitivno orijentisan koordinatni sistem

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

# Izgradnja koordinatnog sistema kamere

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

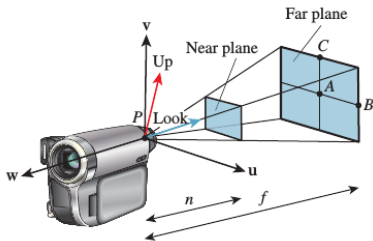




# Određivanje koordinata tačaka na zapremni pogleda

- 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  $P$

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



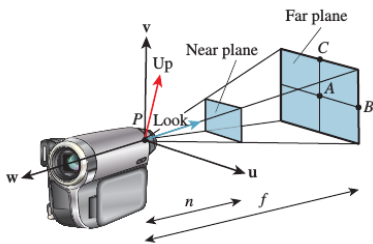
## Određivanje koordinata tačaka na zapremni pogleda

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

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

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

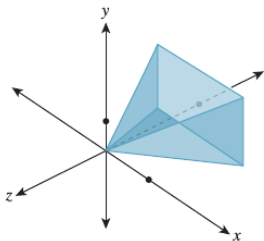
- $|AC|$  se analogno izražava kao funkcija vertikalnog vidnog polja  $\theta_v$



# Određivanje koordinata tačaka na zapremini pogleda

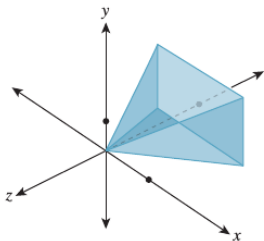
$$\begin{aligned}A &= P - f \cdot \vec{w} \\B &= A + f \cdot \tan \frac{\theta_h}{2} \vec{u} = P + f \cdot \tan \frac{\theta_h}{2} \vec{u} - f \cdot \vec{w} \\C &= A + f \cdot \tan \frac{\theta_v}{2} \vec{v} = P + f \cdot \tan \frac{\theta_v}{2} \vec{v} - f \cdot \vec{w}\end{aligned}$$

# 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

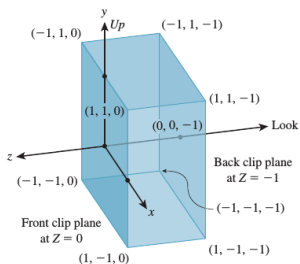
- Transformacija proizvoljne perspektivne u standardnu perspektivnu zapreminu pogleda je **afina transformacija** u 3D i kao takva određena je slikama četiri nekomplanarne tačke:
  - $P$  se slika u  $(0, 0, 0)$
  - $A$  se slika u  $(0, 0, -1)$
  - $B$  se slika u  $(1, 0, -1)$
  - $C$  se slika u  $(0, 1, -1)$
- 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  $\vec{look}$  i  $\vec{up}$  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 frustuma bude 2

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

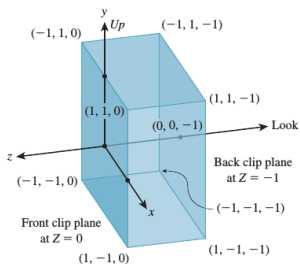
# Standardna (kanonska) paralelna zapremina pogleda



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



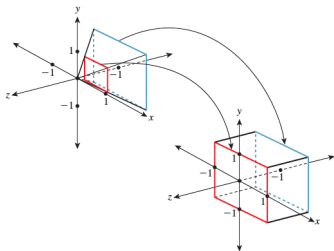
# Standardna (kanonska) paralelna zapremina pogleda



- Standardna paralelna zapremina pogleda je pravougaoni paralelepiped 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  $z = -1$

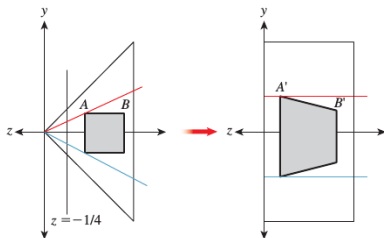
# Transformacija standardne perspektivne zapremine pogleda u standardnu paralelnu zapreminu pogleda

- 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

## Preslikavanje z koordinate u različitim interfejsima

- Transformisali smo geometriju scene u standardnu paralelnu zapreminu pogleda
- Različite grafičke aplikacije očekuju različite opsege z vrednosti:
  - OpenGL:  $[-1, 1]$
  - Direct3D:  $[0, 1]$
- Preslikavamo opseg  $[0, -1]$  po z u opseg  $[-1, 1]$  narednim nizom transformacija:
  - skaliranje za faktor  $-2$  po z osi:  $[0, -1] \rightarrow [0, 2]$
  - translacija 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

