# Računalniška grafika

## 4.11.2019

Točka je idealizacija lokacije v prostoru. Osnovna enota

Stolpična matrika opis koordinacije v prostoru ki nam podaja koordinate te točke oz. odmike po posamezni osi ko opisujemo vektor. Je urejen seznam števil. Uporabljamo jo za opisovanje točk in za opisovanje vektorjev(smer, dolžina).Posameznem element nam pove odmike po posamezni osi.

Število elementov predstavlja dimenzijo ponavadi se uporablja dimenzije 3 in 4.

Vrstična matrika je urejen seznam števil. Uporabljajo se zato ker je bistveno lažje napisat vrstico kot stolpec.

Transponiranje prehod med vrstičnim in stolpčnim matrikami.

Kdaj sta dve matriki enaki?
-enaka oblike
-enaka dimenzija
-morajo biti vsa števila v urejenem seznamu ista na istih mestih morajo biti ista števila

Notacija
-matrike se označuje z malimi tiskanimi črkami
-ko so elementi matrike konstantni uporabljamo črke iz začetka abeceda ko so elementi matrike spremenljivke uporabljamo črke iz konca abecede oštevilčili jih bomo ali z 0 ali z 1 pomembno je da smo konsistentni vedno številčimo use enako

Vektorji premiki iz točke v točko. Nimajo lokacije v prostoru niso vezani na izhodišče ks vezani so pa na osi ks. Predstavlja razliko med dvema točkama med ponorno in izvorno točko. Odštejemo ponorno-izvorno točko.

Seštevanje matrik-istoležne elemente seštejemo

Odštevanje matrik-istoležne elemente odštejemo odštevanje ni komutativno

Množenje z skalarjem- skalar je število s katerim množimo vse elemente te matrike. Če vektor pomnožimo z negativnim številom se vektor obrne v drugo smer.

Norma
-druga norma gre za koren iz vsote kvadratov elementov matrik
-prva norma je vsota absolutnih vrednosti posameznih elementov
-p ta norma je p ti koren od vsote absolutnih vrednosti na p to potenco
-neskončna norma neskončni koren iz vsote ali na neskončno manjši deli bodo postali manj pomembni večji deli pa bolj pomembni in dobili bomo maksimalni element po absolutni vrednosti

Enotski vektor je vektor dolžine 1.

Normalizacija

Skalarni produkt gre za vsoto produktov istoležnih elementov. Pomaga nam za odkrivanje ali sta dva vektorja med seboj pravokotna.

Če vzamemo se enotske vektorje zdravn

Kdaj sta vektorja vzporedna?
-ko je absolutna vrednost skalarnega produkta enaka 1

Komutativnost
Distributivnost
Homogenost
Asociativnost
Ortogonalni vektorji so pravokotni vektorji

Vektorski produkt
Desno pravilo

Splošna matrika
-urejen seznam števil le da je razporejen v tabeli
-ima določeno število vrstic in stolpcev
-to definira dimenzije matrike
-diagonala matrike so elementi od levega zgornjega do desnega spodnjega kota

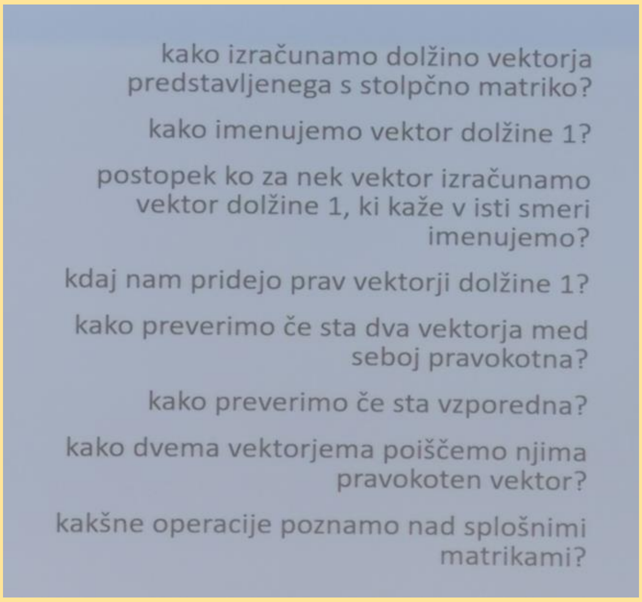
Operacije so definirane samo na matrikah istih dimenzij.
Množenje s skalarjem
Za množenje matrik mora veljati da ima levi operand isto stolpcev kot desni operand vrstic

Enota pri matrikah je diagonala.

Inmersivemath.com

# 11.10.2019 - Transformacije in homogene koordinate

Ponovi:




## Mozaičenje

Vsak predmet oz. njegovo površino lahko razbijemo na manjše bloke ki so ravninski in na ta način opišemo lupino predmeta.

Poznamo več pristopov Mozaičenje:
-Teselacija : mozaičenje

Transformacija je funkcija, ki poljubno točko ali vektor preslika v drugo točko oz. vektor.

Geometrijske transformacije delimo na:

- Rigidne – ohranjajo razdalje in kote (premik, zasuk)
- Konformne – ohranjajo kote (uniformno skaliranje)
- Afine – ohranjajo paralelizme (neenotno skaliranje, strig)

Afininska funkcija je sestava linearne funkcije s prevodom, tako da, čeprav linearni del fiksira izvor, ga lahko prevod preslika nekje drugje.

Afininska funkcija med vektorskimi presledki je linearna, če in samo če določa izvor.

Linearne funkcije med vektorskimi prostori ohranjajo strukturo vektorskega prostora (zato morajo predvsem popraviti izvor). Medtem ko podobne funkcije ne ohranjajo izvora, ohranijo nekatere druge geometrije prostora, na primer zbiranje ravnih črt.

Če izberete osnove za vektorske prostore V in W dimenzij m in n in upoštevate funkcije $f: V \to W$, potem je f linearna, če je $f(v) = Av$ za nekatere $n \times m$ matrike A in f je afina, če je $f(v) = Av + b$ za nekatere matrike A in vektor b, kjer se uporabijo koordinatni predstavitve glede na izbrane baze.

Afininska funkcija je sestava linearne funkcije, ki ji sledi prevod.
$a*x$ je linearna: $(x + b) \circ (a*x)$ je afina.

Vse linearne transformacije so afinaste transformacije.
Niso vse afinske transformacije linearne transformacije.

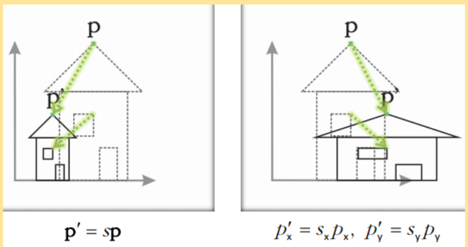
Pokaže se, da lahko vsako afinsko transformacijo A: U → V zapišemo kot A (x) = L (x) + v0, kjer je v0 neki vektor iz V in L: U → V je linearna transformacija.

Linearne transformacije vs Afine transformacije:
https://math.stackexchange.com/questions/1059220/what-is-the-difference-between-linear-transformation-and-affine-transformation

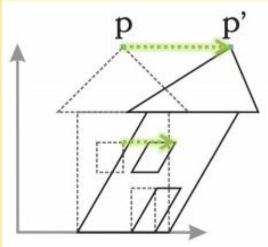
## Linearne transformacije = p′ = f (p)

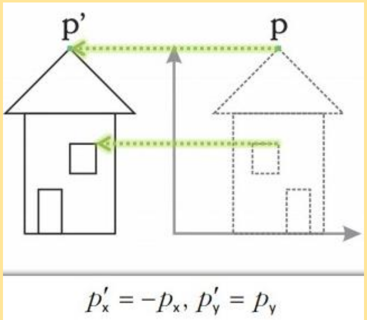
**http://linear.ups.edu/html/section-LT.html**
**https://www.youtube.com/watch?v=kYB8IZa5AuE**

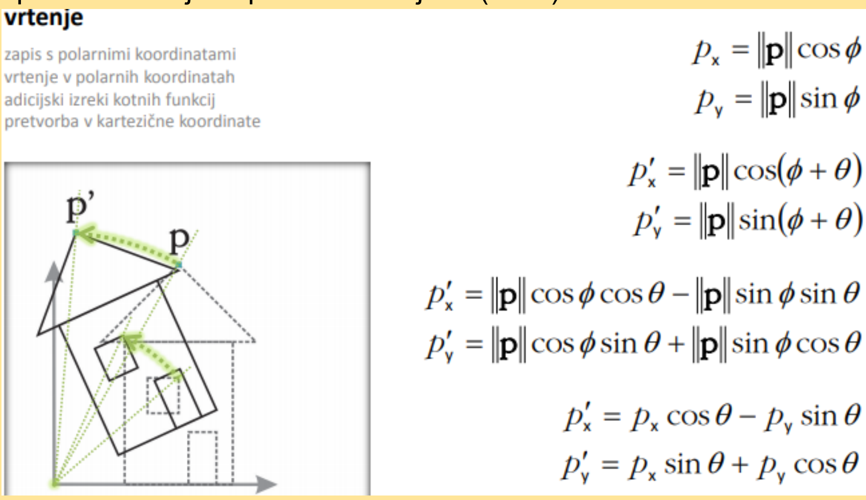
Omejen razred transformacij.
Ni potrebno izračunati transformacijo za vsako linearno kombinacijo.
Vse linije po transformaciji morajo ostati ravne, brez krivljenja in origin mora ostati vedno isti.
**2D geometrijske transformacije:**

1. **Razteg/skaliranje:**
   a. Poznamo ga kot enakomeren ali neenakomeren.
   b. Pri enakomernem sta razmerja ista. Enakomernega implementiramo z skalarjem.
   c. Neenakomerno pa imenujemo takrat ko sta razmerja različna zato potrebujemo dva skalarja za obe osi.
   d. $p'x = sx * px$ in $p'y = sy * py$ lahko zapišemo v matrični obliki: $\begin{bmatrix} x' \\ y' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} sx & 0 \\ 0 & sy \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix}$ ali krajše: $p' = S * p$ pri čemer je S skalirana matrika.
   e. To pomeni skaliranje glede na koordinatno izhodišče.
   f. 


2. **Striženje:**
   a. o njem govorimo takrat ko sliko zamaknemo v vzdolž osi x oz. y.
   b. Realiziramo jo da koordinati prištejemo z ustreznim skalarjem drugo točko.
   c. Strig vzdolž osi x: $p'x = px + zx * py, p'y = py$, lahko zapišemo v matrični obliki:
   $$p' = \begin{bmatrix} x' \\ y' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & ctg\alpha \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x + y * ctg\alpha \\ y \end{bmatrix}.$$
   Enačba pove da se pri strigu vzdolž osi x koordinata x poveča za člen y*ctgΦ, medtem ko y ostane nespremenjen. Vzporedne daljice so še naprej vzporedne.
   d. Strig vzdolž osi y pa:
   $$p' = \begin{bmatrix} x' \\ y' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ ctg\alpha & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x \\ y + x * ctg\alpha \end{bmatrix}$$




3. **Zrcaljenje:**
   a. Če uporabimo negativne skalirne faktorje, dobimo zrcaljenje okrog fiksne točke v smeri skaliranja.
   b. Zrcaljenje okoli poljubne premice v ravnini XY izvedemo tako, da najprej premestimo sceno, tako da premica poteka skozi koordinatno izhodišče. Zatem izvršimo zasuk scene, tako da premica sovpada z eno od koordinatnih osi. Sledi zrcaljenje okoli te osi. Na koncu opravimo še inverzen zasuk in inverzno premestitev, tako da premica leži v pravokotnem položaju.
   c. Zrcaljenje čez os
      i. x: $E_{y=0} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{bmatrix}$
      ii. čez y: $E_{x=0} = \begin{bmatrix} -1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$
      iii. čez y=x: $E_{x=0} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix}$
   d. 


4. **Vrtenje:**
   a. Definiramo ga s kotom zasuka **α** in s središčem zasuka. Vrtimo v nasprotni smeri urinega kazalca. Koordinati središča se ne spremenita in jima pravimo mirujoča (fixed) točka.
   b. 


Adicijski izrek

Sx za koliko raztegnemo po x sy za koliko raztegnemo po y
Matrika H je matrika striženja.
Matrika M je matrika zrcaljenja x=y se zamenjajo x in y

Pri linearnih transformacijah se translacije neda izvajat

Vrtenje v 3D se izvaja v središču ks.

## Afine transformacije (affine)

Za koliko se pomaknem po posamezni osi, da pridem do točke.
Vektor govori o odmikih vzdolž posamezne osi.

Skupna lastnost afinih transformacij je, da ohranjajo vzporednost daljic, ne ohranjajo pa dolžin in kotov!

Homogene koordinate so posebni tipi matrik pri katerem je četrta koordinata…

> **Homogene koordinate** (homogeni koordinatni sistem, koordinate označujemo z (X,Y,Z),v matematiki predstavlja sistem koordinat, ki se uporablja v projektivni geometriji tako, kot se kartezične koordinate uporabljajo v evklidski geometriji. Prednost te vrste koordinatnega sistema je v tem, da lahko točke, vključno s točkami v neskončnosti, prikažemo z uporabo končnih koordinat.

Če podamo točke v homogenih koordinatah, lahko vse tri transformacije izrazimo z množenjem

$$\mathbf{p}_h = \begin{bmatrix} p_x \\ p_y \\ p_z \\ 1 \end{bmatrix}$$

predstavitev točke

$$\mathbf{v}_h = \begin{bmatrix} v_x \\ v_y \\ v_z \\ 0 \end{bmatrix}$$

predstavitev vektorja

$$\mathbf{p}'_h = \mathbf{p}_h + \mathbf{v}_h = \begin{bmatrix} p_x + v_x \\ p_y + v_y \\ p_z + v_z \\ 1 \end{bmatrix}$$

Afine transformacije so geometrijske transformacije, ki omogočajo, da poljubni objekt premikamo, raztegnemo, skrčimo, zasučemo, zrcalimo ali upognemo v določeni smeri.

**Delimo jih na:**

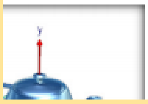
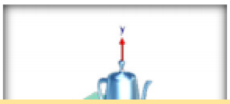
1. **premik**

   a.
   $$\mathbf{p}' = \mathbf{T}(\mathbf{t})\mathbf{p}$$
   $$\mathbf{p} = \begin{bmatrix} p_x \\ p_y \\ p_z \\ 1 \end{bmatrix}, \mathbf{t} = \begin{bmatrix} t_x \\ t_y \\ t_z \\ 0 \end{bmatrix} \Rightarrow \mathbf{p}' = \begin{bmatrix} p'_x \\ p'_y \\ p'_z \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & t_x \\ 0 & 1 & 0 & t_y \\ 0 & 0 & 1 & t_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} p_x \\ p_y \\ p_z \\ 1 \end{bmatrix}$$
   $$\mathbf{p}' = \begin{bmatrix} p'_x \\ p'_y \\ p'_z \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} p_x + t_x \\ p_y + t_y \\ p_z + t_z \\ 1 \end{bmatrix}$$
   

   b. **Inverzna operacija:**

   c.
   $$\mathbf{T}(\mathbf{t}) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & t_x \\ 0 & 1 & 0 & t_y \\ 0 & 0 & 1 & t_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \qquad \mathbf{T}(\mathbf{t})^{-1} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & -t_x \\ 0 & 1 & 0 & -t_y \\ 0 & 0 & 1 & -t_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

2. **razteg**

   a.
   $$\mathbf{p}' = \mathbf{S}(s_x, s_y, s_z)\mathbf{p}$$
   $$\mathbf{p} = \begin{bmatrix} p_x \\ p_y \\ p_z \\ 1 \end{bmatrix} \Rightarrow \mathbf{p}' = \begin{bmatrix} p'_x \\ p'_y \\ p'_z \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} s_x & 0 & 0 & 0 \\ 0 & s_y & 0 & 0 \\ 0 & 0 & s_z & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} p_x \\ p_y \\ p_z \\ 1 \end{bmatrix}$$
   $$\mathbf{p}' = \begin{bmatrix} p'_x \\ p'_y \\ p'_z \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} s_x p_x \\ s_y p_y \\ s_z p_z \\ 1 \end{bmatrix}$$
   
   

   b. **Inverzna operacija:**

   c.
   $$\mathbf{S}(s_x, s_y, s_z) = \begin{bmatrix} s_x & 0 & 0 & 0 \\ 0 & s_y & 0 & 0 \\ 0 & 0 & s_z & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \qquad \mathbf{S}(s_x, s_y, s_z)^{-1} = \mathbf{S}(1/s_x, 1/s_y, 1/s_z)$$

3. **vrtenje**

a.
$$\mathbf{p}' = \mathbf{R}(\theta)\mathbf{p}$$

$$\mathbf{R}_x(\theta) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\theta & -\sin\theta & 0 \\ 0 & \sin\theta & \cos\theta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{R}_y(\theta) = \begin{bmatrix} \cos\theta & 0 & \sin\theta & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\sin\theta & 0 & \cos\theta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{R}_z(\theta) = \begin{bmatrix} \cos\theta & -\sin\theta & 0 & 0 \\ \sin\theta & \cos\theta & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

4. **striženje**

a.
$$\mathbf{p}' = \mathbf{Z}(z_1,\ldots,z_6)\mathbf{p}$$

$$\mathbf{Z}(z_1,\ldots,z_6) = \begin{bmatrix} 1 & z_1 & z_2 & 0 \\ z_3 & 1 & z_4 & 0 \\ z_5 & z_6 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

**Transformacijska matrika**

razteg
vrtenje
striženje
zrcaljenje

premik

$$\mathbf{M} = \begin{bmatrix} m_{11} & m_{12} & m_{13} & m_{14} \\ m_{21} & m_{22} & m_{23} & m_{24} \\ m_{31} & m_{32} & m_{33} & m_{34} \\ m_{41} & m_{42} & m_{43} & m_{44} \end{bmatrix}$$

perspektivna preslikava

splošna povečava

# Homogene transformacije

Med homogene transformacije (afine transformacije) prištevamo

- premik (translacija)
- vrtenje (rotacija)
- skaliranje (povečevanje ali zmanjševanje)

Afine transformacije lahko prikažemo kot matrike. To pomeni, da zaporedje transformacij lahko predstavimo kot zmnožek matrik.

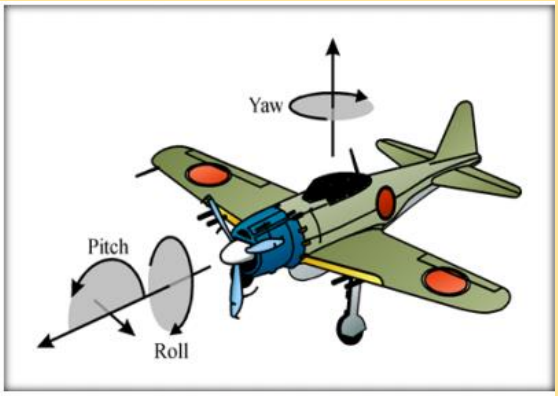
Točka minus točka nam da vektor.
Vektor plus vektor nam da vektor.
Točka plus točka pa ni definirano.

Ortogonalnost vzamemo stolpce oz. vrstice matrik za njih velja da takrat ko jih množimo same z sabo dobimo ena drugače dobimo 0.

Njihov inverz je transponirana matrika.

Veriženje transformacije

Eulerjevi koti




$$\mathbf{R}_E(\theta_h, \theta_p, \theta_r) = \mathbf{R}_z(\theta_r)\mathbf{R}_x(\theta_p)\mathbf{R}_y(\theta_h)$$

Kardanski zapori ko eno vrtenje izvedbo za 90 stopinj in se pred nastopom drugega vrtenja se osi poravnata.

Kvaternioni so štiri dimenzionalni vektorji ki podajajo osi in kot kam se vrti.

Veriženje transformacij

Veriženje translacij

Toge transformacije

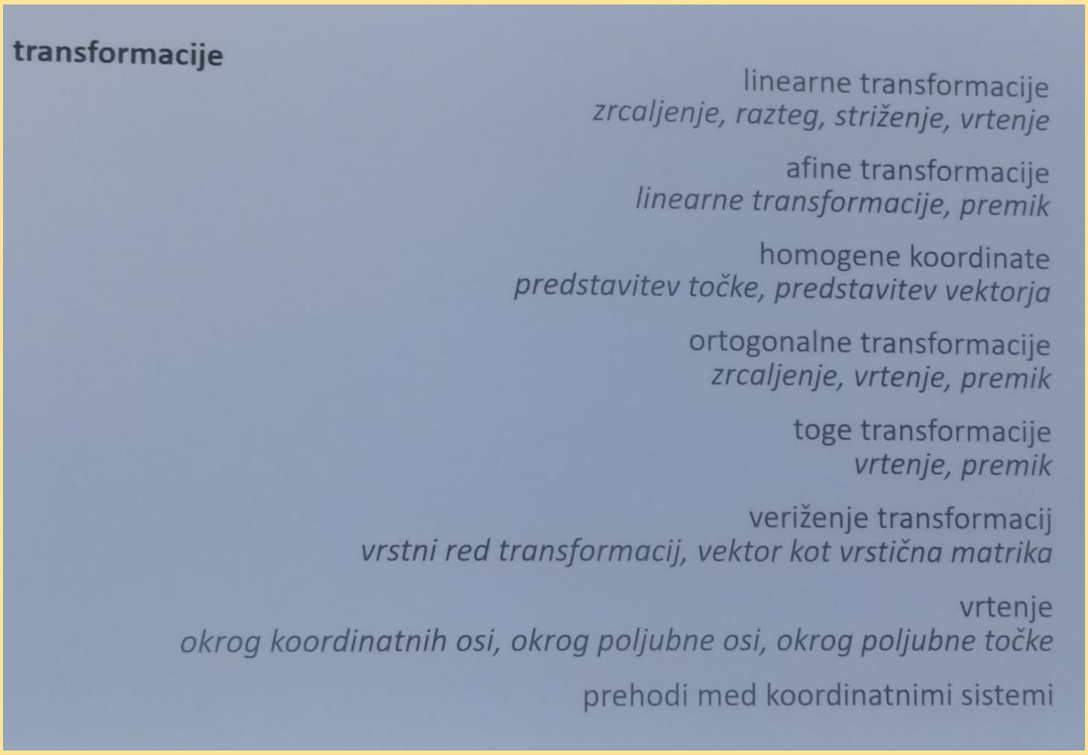
Prehodi med Koordinatnimi sistemi
-naloga p je poiskat kakšne so koordinate podane s tremi vektorji

Potrebujemo tri osi ki so nekolinearni vektorj.

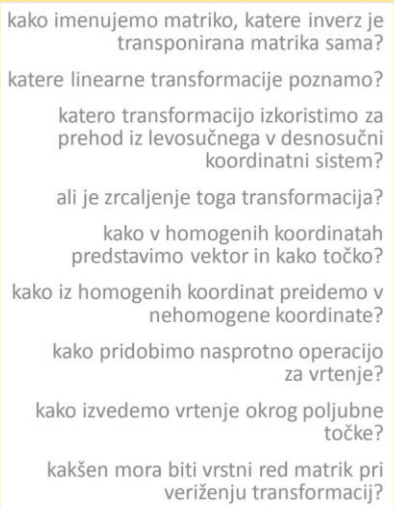
Točka v koordinatnem sistemu p uvwq je enaka px krat predstavitev vektorja x…

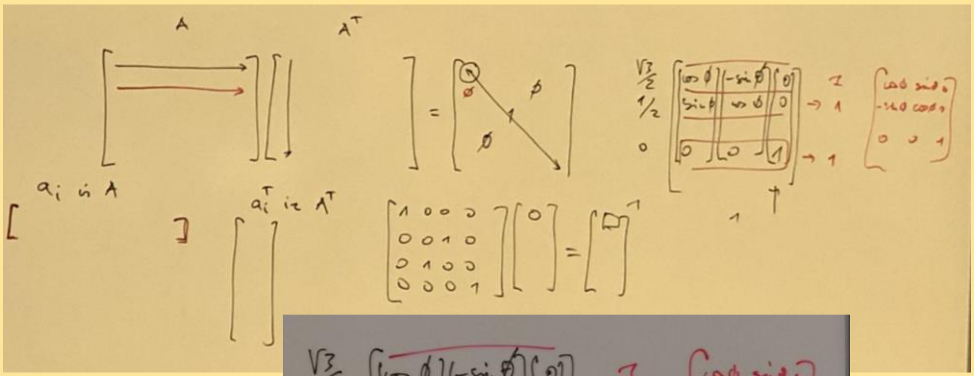
Obkroženo je baza koordinatnega sistema(glej slajde)

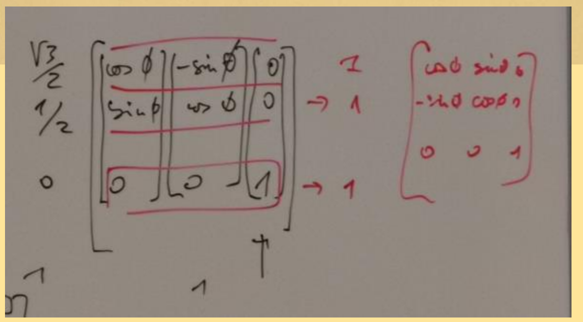
Te koordinate lahko razširimo v matriko 4x4. Točko dobimo tako da to matriko pomnožimo krat pxyzo.
Vse operacije razen striženja so reverzibilne.
Kadarkoli gre za transformacijo jo lahko zgolj transponiramo




## 18.10.2019 - Projekcije





Matriko, ki množimo z njeno transponirano verzijo, dobimo identiteto!
Matrika katere inverz je transponirana matrika sama je ortogonalna matrika!

Zrcaljenje ni toga transformacija.

V homogenih koordinatah predstavimo točko in vektor z ničlo in enko. Točka je vezana na izhodišče koordinatnega sistema zato je ničla, vektor pa ni vezan zato je enka.

Prve tri elemente homogenih koordinat delimo s četrtim elementom, da dobimo nehomogene koordinate.

Nasprotno operacijo za vrtenje dobimo z vrtenjem v negativno smer (če poznamo kot).
Vrtenje okrog poljubne točke izvedemo… ZA IZPOLNIT sm pozabu xD

Prvo se izvede skaliranje potem rotiranje in nati transformiranje  takšen mora biti vrstni red matrik pri veriženju transformacij.

## OPTIČNE ILUZIJE

Urban
Grafika skuša izkoristiti interpretacijski del
Razmak med očmi nam omogoča interpretacijo globine

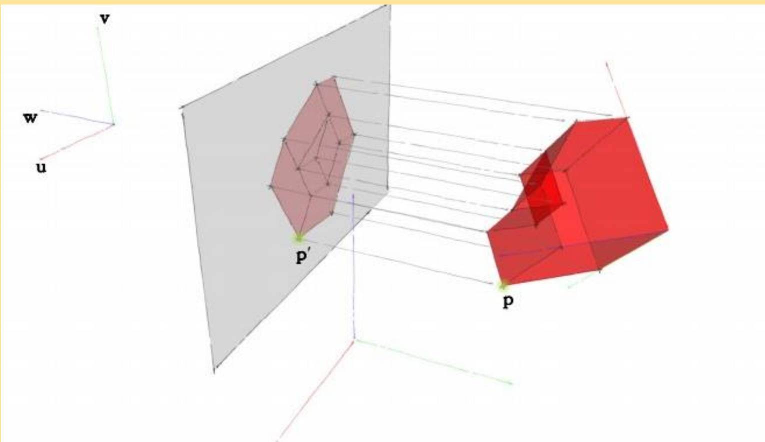
Gibajoča paralaksa pri gibanju se bližji predmeti premikajo hitreje predmeti v ozadju pa počasneje. Primer: vožnja z avtom drevesa blizu se premikajo zelo hitro gore v ozadju pa počasneje.

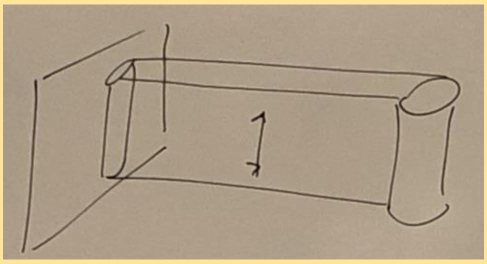
Perspektiva vzporedne premice se v oddaljenosti stikajo.

## PROJEKCIJA

Preslikava iz n dimenzionalnega prostora v nižji dimenzionalni prostor. 3D v 2D.
Temu postopku pravimo tudi postopek gledanja.
Projekcija transformira 3D objekte v 2D projekcijsko ravnino, ki ji tudi pravimo ravnina gledanja(view plane).
Projekcija 3D objekta je definirana z ravnimi projekcijskimi žarki, imenovanimi projektorji (projectors), ki se porajajo v središču projekcije (center of projection) ali gledišču (viewport) in gredo skozi vsako točko objekta ter sekajo projekcijsko ravnino. V sečiščih s projekcijsko ravnino se tvori projekcija.

Ločimo jih na:
⧫**vzporedne**(izhaja iz tehničnega risanja ki ga želimo narisat na kos papirja):



Projekcijski žarki so pravokotne na projekcijsko ravnino in so vzporedni med seboj.

**-pravokotne**

naris, stranski ris, tloris

-Aksonometrične (opis spodaj)

Prednost je da lahko iz njih z ravnilom dobimo dejansko dimenzijo.
Črte ki padajo pravokotno na list papirja pravimo da je pravokotna projekcija.

Aksonometrične pogledamo na predmet iz treh dimenzij in ohranjamo vse lastnosti, da lahko iz slike dobimo prave dimenzije. Delimo:

-Trimetrični na sliki dobimo tri različna razmerja(0,9:0,5:1)  različni koti

-Globina in širina sta v različnem razmerju.

-Dimetrična na sliki dobimo dve različni razmerji (1:0,5:1).

-2 kota enaka, eden različen

-Izometrična na sliki dobimo eno razmerje (1:1:1).

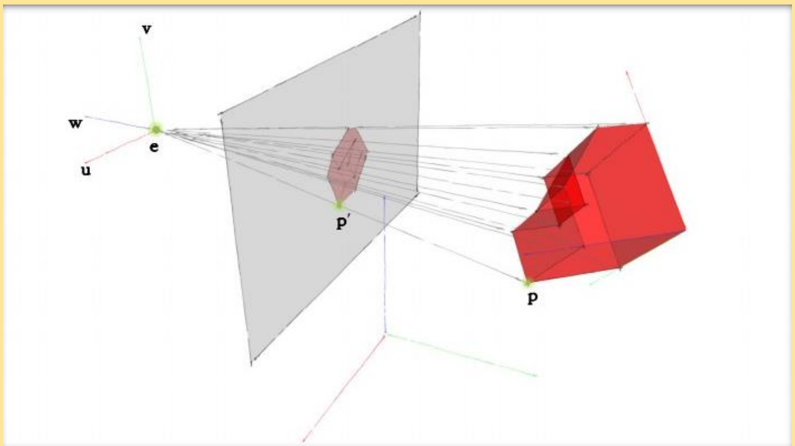
-Vse tri so predstavljene v pravi vrednosti koti so enaki 120 stopinj.

**-poševne**

kavalirska(prikazuje širino, višino in globino v enakem razmerju)
kabinetna (skrči globino za 0.5 enote)

Razlika je kako prikazujeta globino. Kavalirska prikazuje vse tri širino in globino v enakem razmerju kabinetna pa skrči globino da jo prikazuje z 0,5 enote. Dobimo jih tako da vpadni kot med projekcijskih žarkom in projekcijskim ravnilom je 45 stopinj.

**⧫perspektivne**




-enobežna - eno lice poravnano s proj. ravnino; vse premice se stikajo v eno točko
-dvobežna -en rob poravnan s proj. ravnino; stikanje premic v dveh točkah
-tribežna - nimamo poravnave z projekcijsko ravnino

Razlika med njimi je, da če vzamemo vzporedne robove na predmetu iz njih potegnemo neskončne premice dobiš eno, dve ali tri točke, kjer se stikajo premice.

## Grafični cevovod


- Je kompleks strojne in programske opreme ki nam nudi podporo za izrisovanje predmetov na ekranu. Sestavljen je iz več sklopov.

Osnovni element (trikotnik) določa

- Oglišče - vertex
- Barva
- Teksturna koordinata

Vse te informacije potujejo vsaj enkrat skozi cevovod; po prehodu skozi cel cevovod se izriše (predstavljen) trikotniki v cevovod vstopajo sekvenčno

**MODEL**

-geometrija

točke, ki določajo oglišča povezave točk v večkotnike lastnosti (barva, koordinate teksture, normala)

-teksture, luči, kamera, …

sekvenčni vstop v cevovod koordinatni sistem predmeta

**TRANSFORMACIJA MODELA IN POGLEDA**

prvi korak ki se izvede transformacija pozicioniranje predmeta v prostor ter nato transformacija tega predmeta.

**IZRAČUN OSVETLITVE**

sprehod čez vse deklarirane luči osvetlitev za vsako oglišče

V naslednji fazi se izvede sprehod cez vse deklerirane luči in izvede se račun osvetlitvene enačbe za vsako iz oglišč. Na ta način se izračuna barva oglišč.

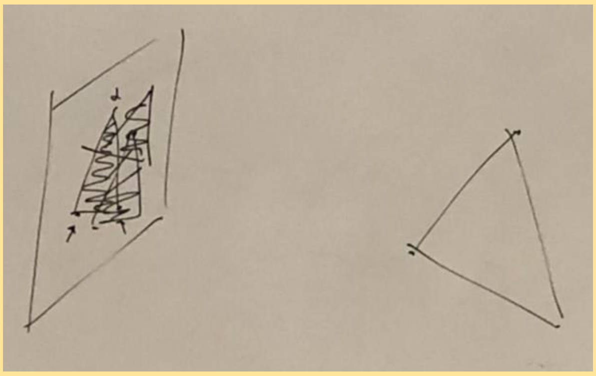
**PROJEKCIJA**

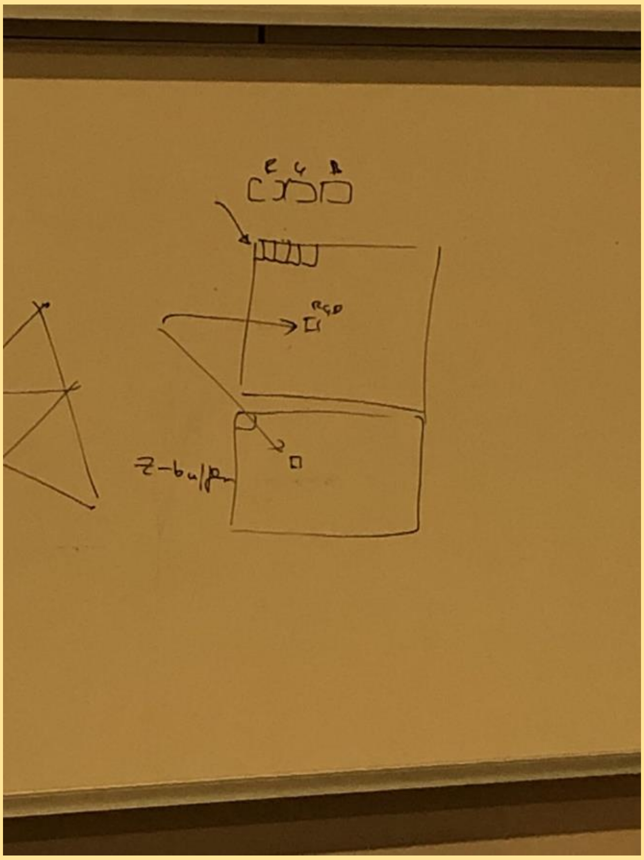
prehod iz 3D koordinat v 2D

Nato se izvede projekcija ki je prehod iz koordinatnega pogleda v 2D pogled na ekranu.

**RASTERIZACIJA IN PREKRIVANJE**
izris primitivov ugotavljanje vidnosti
Ce imamo matematicni izpis ogljisc trikotnika jih povezemo pogledamo iz zornega kota kamere
…
Skozi cevovod vstopa sekvenčno (ex. barva zadnjega trikotnika ki pride skozi bo najvišje (sloj) bo najbližje očem)

Slika ki se prikaže na ekranu se shranjuje v pixlih ki shranjujejo informacijo o barvi pixla. Predstavljeno z RGB vrednostjo.
**Z-buffer** = hrani globino predmeta...globino izrisane točke (za vsak pixel preverimo če je na teji koordinati slučajno že izrisana neka pika ki je bližje koordinatam tisteka pixla ki gre trenutno v procesiranje, če JE, ne spreminjam elementa in ga hranim, če je pa blizja uporabniku ga zamenjam, s tem da vpišem novo vrednost.





**3 koordinatni sistem:**
-Predmeta - najlažji za predstaviti (opisati) predmet

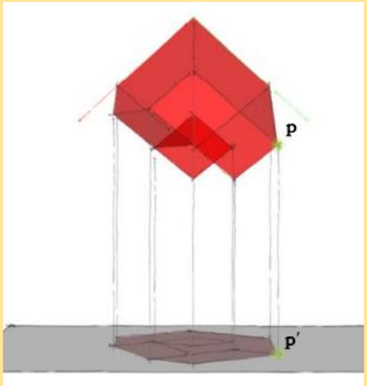
-Kamere ali pogleda - definicija kamere; podan kot veriga transformacij ki v svet postavijo neviden predmet imenovan kamera; pomembna da v svet gledamo iz očišča kamere

pogled → svet $\mathbf{C}$ svet → pogled $\mathbf{C}^{-1}$ predmet → pogled $\mathbf{p}^{\text{camera}} = \mathbf{C}^{-1}\mathbf{M}\mathbf{p}^{\text{object}}$

-Sveta - predstavljeno kje se nahaja predmet (veriga transformacij za pozicioniranje v svetu - transformacija modela SRT)
SRT = scale, rotate, translate

predmet → svet $\mathbf{M}$

**PROJEKCIJSKA TRANSFORMACIJA**

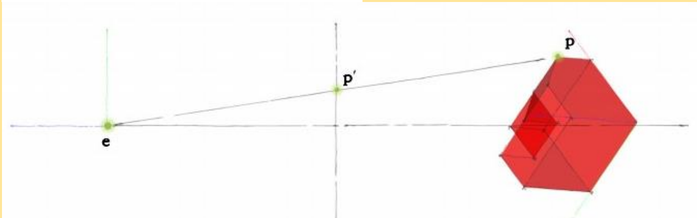


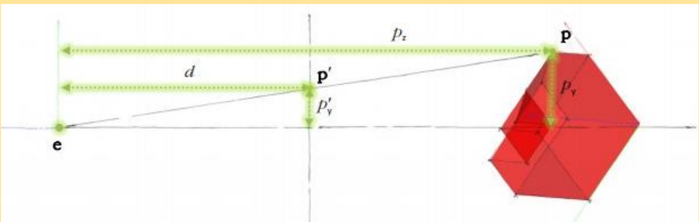

**vzporedna pravokotna projekcija**

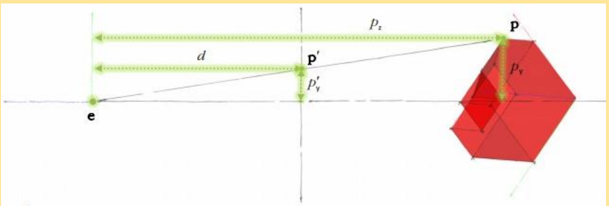
Premice med seboj vzporedno na ravnino, ki jo sekajo pod pravim kotom.

Predmet stisnemo v ploščo (z koordinato ignoriramo)

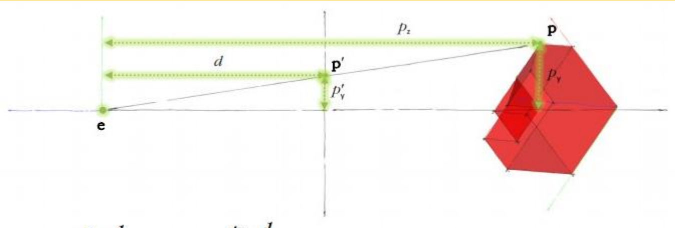
**perspektivna projekcija**




$$\frac{p'_y}{d} = \frac{p_y}{p_z}, \quad \frac{p'_x}{d} = \frac{p_x}{p_z}$$




$$p'_x = \frac{p_x d}{p_z}, \quad p'_y = \frac{p_y d}{p_z}, \quad p'_z = d$$

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ \boxed{0 \;\; 0 \;\; 1/d \;\; 0} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} p_x \\ p_y \\ p_z \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} p_x \\ p_y \\ p_z \\ \boxed{p_z/d} \end{bmatrix} \Rightarrow \begin{bmatrix} p_x d/p_z \\ p_y d/p_z \\ d \\ \boxed{1} \end{bmatrix}$$

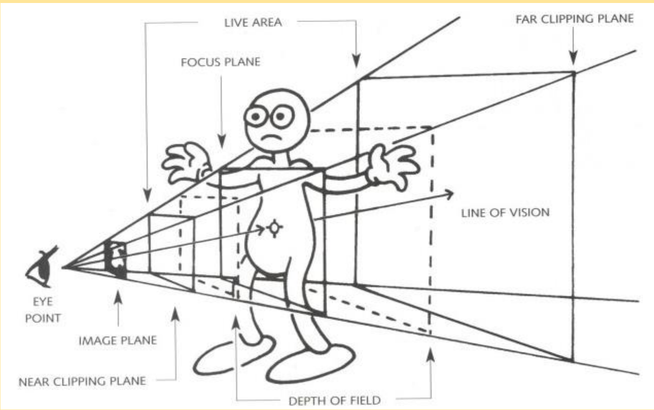
$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & -1/d & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} p_x \\ p_y \\ p_z \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} p_x \\ p_y \\ p_z \\ -p_z/d \end{bmatrix} \Rightarrow \begin{bmatrix} -p_x d/p_z \\ -p_y d/p_z \\ -d \\ 1 \end{bmatrix}$$

**Realizem**

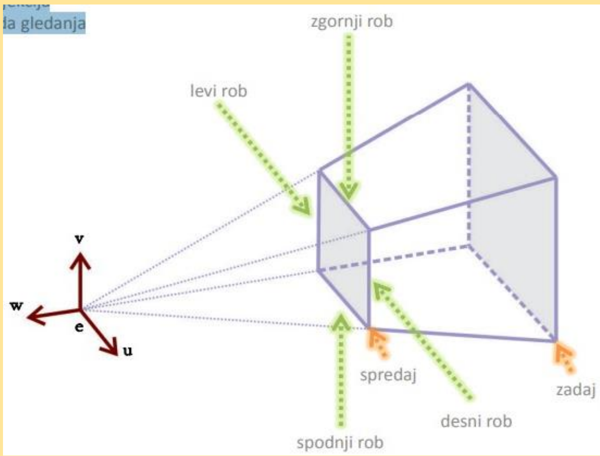
- -fokus in globinska ostrina
- -ribje oko
- -kromatska aberacija
- -zaslonka

## VIDNO POLJE

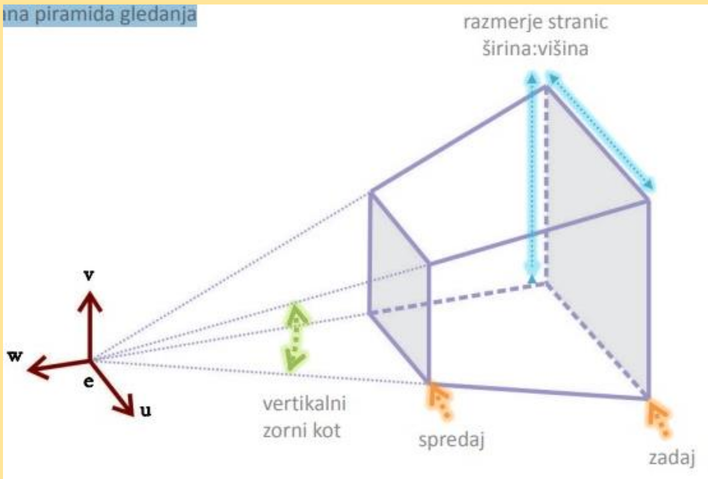
Definira vidno polje, ki bo izrisano na računalniku.
Terminologija:



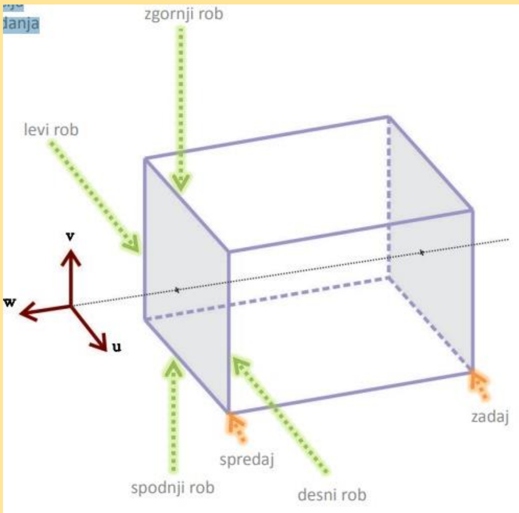

Perspektivna projekcija - prirezana piramida gledanja:




Perspektivna projekcija - simetrična prirezana piramida gledanja:

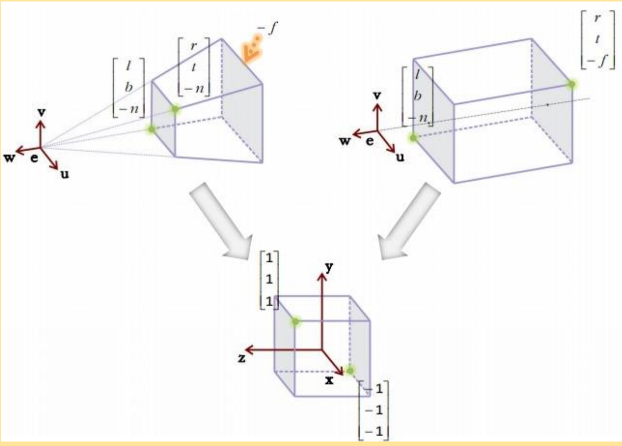



Vzporedna projekcija - paralelepipedno gledanje:




Z vidnim poljem ne znamo delati kavalirskih ali kabinetnih pogledov

## IZLOČANJE IN OBREZOVANJE




Normaliziran koordinatni sistem dimenzije 2x2x2 - projekcijska matrika dela to transformacijo (v normaliziran koordinatni sistem)

**Projekcijska matrika**

Pocne perspektivno transformacijo in prehod v koordinatni sistem.

R - right

L - left

N - near

F - far

T - top
B - bottom

Matrika naprave prevede iz (-1,1) x (1,-1) v koordinate da jih lahko izrišemo na ekran (100,100) x (500,300)

# 25.10.2019 - Krivulje in ploskve

## Ponovitev

Kakšna je glavna delitev projekcij in po čem se razlikujejo:
- glavna delitev: vzporedno in perspektivno
- razlike: kako se projicirajo (s projekcijskimi žarki)

Kakšen tip projekcij je kavalirska in kaj je za njo značilno:
- Kavalirska je posebna izvedenka poševne vzporednih projekcije; njene lastnosti: projekcijski žarki, ki padajo na ravnino so vzporedno in so popolnoma enake dolžine ohranja vse tri dimenzije (kabinetna jih razpolovi)

Katere koordinatne sisteme poznamo v procesu izdelave posnetka sintetičnega sveta:
  - koordinatni sistem predmeta
  - koordinatni sistem sveta
  - koordinatni sistem kamere
  - pogled na svet iz koord. sistema kamere se stlači v kocko ki ji pravimo normaliziran koordinatni sistem (-1,-1,-1) x (1,1,1)

Najbolj intuitiven način podajanja koordinatnega sistema pogleda
- kje
- enote in smeri v katerih se lahko premikamo (dolžina vektorjev je enota premika)

Kje pri prehodu skozi grafični cevovod preidemo iz homogenih v nehomogene koordinate?
- pri čisto zadnjem koraku(ko imamo transformacijo že v koordinatnem sistemu naprave)
    - z koordinata globina (za prekrivanje)

Kakšne oblike je vidno polje perspektivne
projekcije in kako ga parametriziramo?
- prirezana štiristrana piramida ( ker je nasa slika pravokotnik)
- razdalja od očesa do prednje rezalne ravnine in razdalja do zdanje
  (zadošča kje se nahaja spodnji, zgornji, levi in desni rob prednje rezalne ravnine)

Kakšna je celotna transformacijska veriga, ki se pred izrisom na ekran, izvede na točki predmeta predstavljeni v koordinatnem sistemu predmeta? (DN poglej na netu)
- p’ = DPC-1Mp
    - model (M)

- kako gledamo (C-1)
- projekcija (P)
- v napravo (D)

Podajanje krivulj, izhajamo iz tega, podamo množico točk in če imamo omejen nabor to pomeni da bo naša krivuljo ko jo bomo risala z majhnim ptevilom točk odsekoma ravna, seveda jo lahko povečamo število točk vendar vedno do neke mere na določenem približku in se vedno pridemo do neravne krivulje drugič pa ko pošiljamo ogromno tock jih bo moral ogromno obravnavati zato pridemo do kontrolne točke, ki kontrolirajo obliko točke niso pa vse točke na krivulji

## Podajanje krivulj

Z množicami točk
Kontrolne točke - spreminjanje naj bi bilo predvidljivo in intuitivno
interpolacijska točka - krivulja gre skozi njo => vpliv na celotno krivuljo (nepredvidljiv)
aproksimirajo - vplivajo na obliko, ne poteka pa krivulja skoznje

Enačba krivulje lahko opišemo:

- eksplicitno: razdelimo dve spremenljivke na odvisno in neodvisno, odvisno spremenljivke definiramo na bazi neodvisne spremenljivke, smo zelo odvisno od koordinatnega sistema, prednost je da znamo preverit ali je tocka na krivulji ( ko je enako 0) ali je v notranjosti krivulje (ko manjša od 0), in zunaj krivulje (ko je večje od 0)

$$p_y = f(p_x)$$
$$p_y = kp_x + m$$
$$p_y = \cos p_x$$

- implicitno: funkcijo dveh spremenljivk, ki so komponente/koordinate nase tocke, to pa enačimo z 0 (druga enačba predstavlja enačbo elipse),

$$f(p_x, p_y) = 0$$
$$ap_x + bp_y + c = 0$$
$$p_x^2 + p_y^2 - r^2 = 0$$

-parametrično: odstopa od prejšnjih; uvede novo spremenljivko (tipično t); posamezno koordinato izpelje kot funkcijo novo vpeljane spremenljivke => najbolj pogost
polinomske funkcije => spadajo med parametrično - preprosto odvedljive

$$\mathbf{p}(t) = \begin{bmatrix} p_x(t) \\ p_y(t) \end{bmatrix}$$
$$p_x(t) = f(t)$$
$$p_y(t) = g(t)$$

premica - 2. enačba v 1. sklopu
elipsa - 2. enačba v 2. sklopu

## Parametrične krivulje

$$\mathbf{p}(t) = \begin{bmatrix} p_x(t) \\ p_y(t) \end{bmatrix}$$

$$p_x(t) = r\cos t, \quad p_y(t) = r\sin t$$

$$p_x(t) = a\cos t, \quad p_y(t) = b\sin t$$

$$p_x(t) = a\sec t, \quad p_y(t) = b\tan t$$

$$p_x(t) = at^2, \quad p_y(t) = 2at$$

$$p_x(t) = a_x + (b_x - a_x)t, \quad p_y(t) = a_y + (b_y - a_y)t$$

-točka kot funkcija ene spremenljivke, podajamo preko neodvisne spremenljivke t, pri čemer je dogovor da ima t zalogo vrednosti med 0 in 1, najlažje si jo predstavljamo kot sprehod od začetka krivulje do konca, to == 0 -> začetek krivulje, t == 1 -> konec krivulje

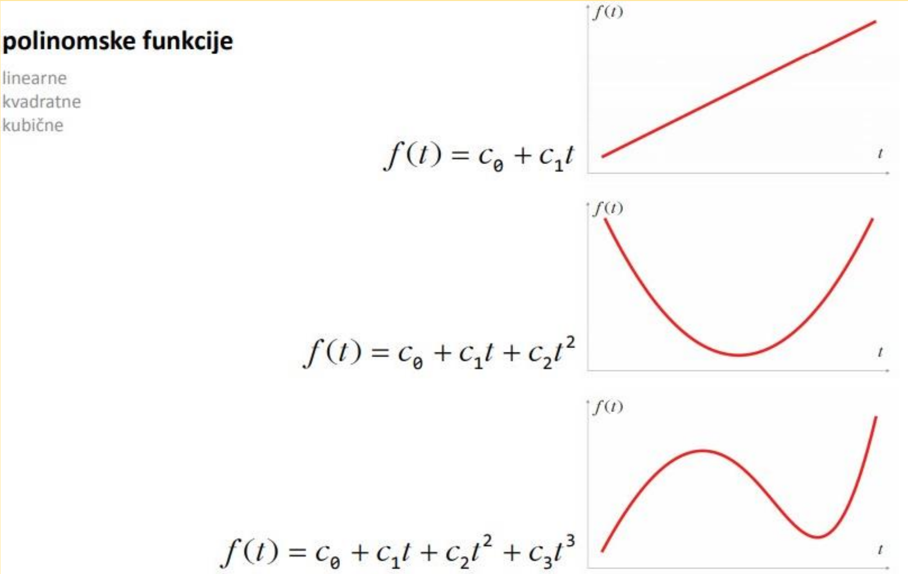
-opisujemo lahko tudi z enačbami ki niso polinomske (na slides)

## Polinomske funkcije

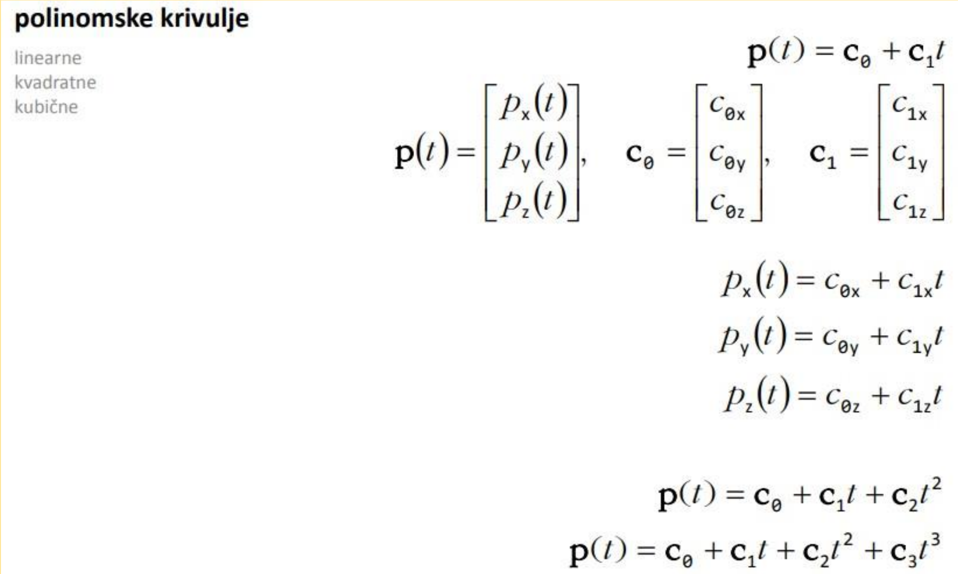
Prednost je da so preprosto odvedljive, na relativno enostaven način jim podajamo namreč na podlagi
Polinom prve stopnje -> ravne črte, premice
Polinom druge stopnje -> kvadratne krivulje
Polinom tretje stopnje -> kubične krivulje

Funkcije:

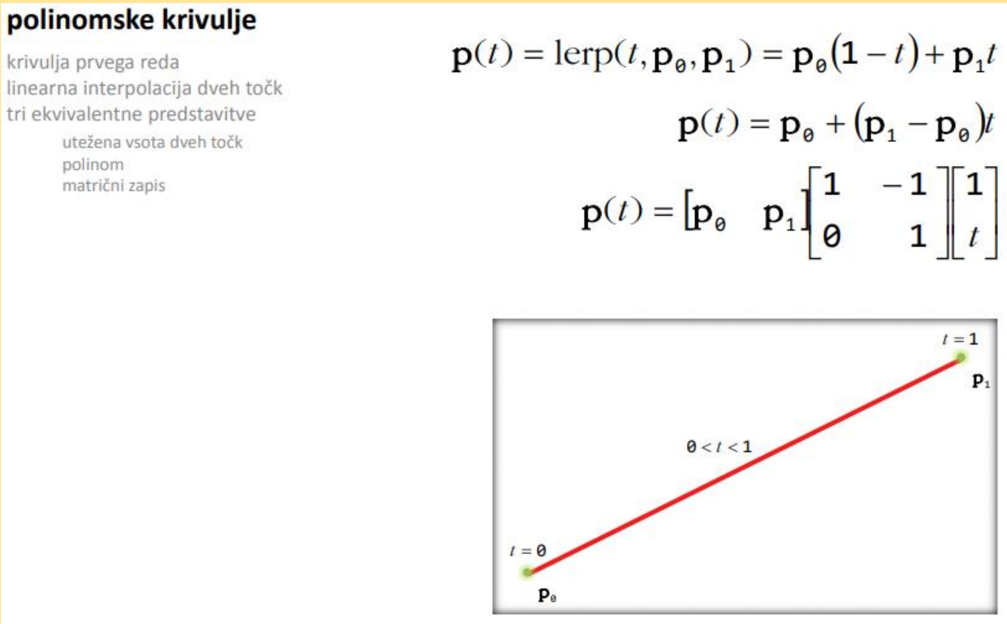
- linearne - (1. stopnje) ravna črta
- kvadratne - (2. stopnje) krivulja ki enkrat spremeni smer
- kubične - (3. stopnje) krivulja ki 2 krat spremeni smer
- itd.




Iz polinomskih funkcij preidemo v polinomske krivulje, pridemo do tega da je koeficient stolpična matrika in da je koeficient 2 zopet stolpična matrika, vsaka komponenta posamezno postane pa skalarna polinomska funkcija




Polinomsko krivuljo 1. stopnje lahko predstavimo z uteženo vsoto dveh točk, kot polinom in kot matrični zapis.
lerp => linearna interpolacija dveh točk
Uporabljena v senčilnikih, redering enginih, linearna interpolacija - mešanje dveh vrednosti (barvi, točki)
Za polomsko krivulje n-te stopnje potrebujemo n-1 koeficientov (vključno z 0)



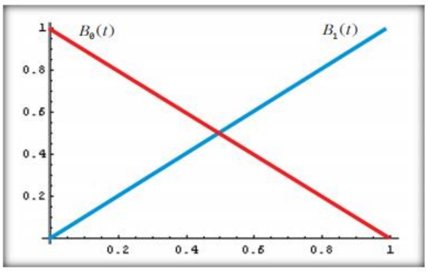

Za vsako vrednost bo njuna vsota enaka ena. Take funkcije imenujemo mešalne funkcije zato se označi z črko B.

**krivulja prvega reda**

utežena vsota dveh točk

$$\mathbf{p}(t) = \mathbf{p}_0(1-t) + \mathbf{p}_1 t$$

$$B_0(t) = 1 - t, \quad B_1(t) = t$$
$$\mathbf{p}(t) = \mathbf{p}_0 B_0(t) + \mathbf{p}_1 B_1(t)$$



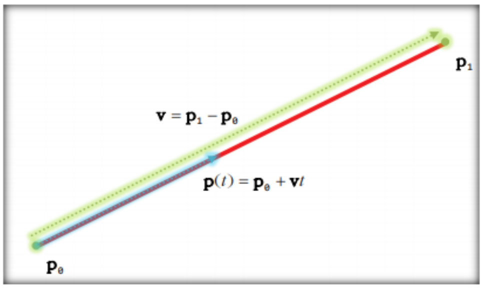

Funkcije ki dosegajo t + (1- t) so mešalne funkcije (B) mešata ?

**krivulja prvega reda**

polinom

$$\mathbf{p}(t) = \mathbf{p}_0 + (\mathbf{p}_1 - \mathbf{p}_0)t$$

$$\mathbf{v} = \mathbf{p}_1 - \mathbf{p}_0$$
$$\mathbf{p}(t) = \mathbf{p}_0 + \mathbf{v}t$$




Razlika med dvema točkama je vektor ki kaže od ene točke proti drugi.
Iz kontrolnih točk p0,1 preidemo do koeficientov polinoma, koeficient p0 je p0,1 je med tema točkama.

**krivulja prvega reda**

matrični zapis

$$\mathbf{p}(t) = \begin{bmatrix} \mathbf{p}_0 & \mathbf{p}_1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ t \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{G} = \begin{bmatrix} \mathbf{p}_0 & \mathbf{p}_1 \end{bmatrix}, \quad \mathbf{B} = \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad \mathbf{T}(t) = \begin{bmatrix} 1 \\ t \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{p}(t) = \mathbf{GBT}(t)$$

$$\mathbf{p}(t) = (\mathbf{GB})\mathbf{T}(t) = \mathbf{CT}(t) \begin{bmatrix} \mathbf{p}_0 & \mathbf{p}_1 - \mathbf{p}_0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ t \end{bmatrix} = \mathbf{p}_0 + (\mathbf{p}_1 - \mathbf{p}_0)t$$

$$\mathbf{p}(t) = \mathbf{G}(\mathbf{BT}(t)) = \mathbf{GB}(t) = \begin{bmatrix} \mathbf{p}_0 & \mathbf{p}_1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1-t \\ t \end{bmatrix} = \mathbf{p}_0(1-t) + \mathbf{p}_1 t$$

Matrični zapis razbije zapis na 3 enote:

-geometrije - točke krivulje

-baze - skrbi za 2 preslikavi

-polinomsko matriko - polinom

Pri matričnem zapisu odvajamo izkljucno polinom, in odvananje polinomske matrike je trivialno.

**krivulja prvega reda**

izračun tangente krivulje

$$\tfrac{d}{dt}\mathbf{p}(t) = \mathbf{p}'(t) = \mathbf{p}_1 - \mathbf{p}_0$$

$$\mathbf{p}(t) = \mathbf{p}_0(1-t) + \mathbf{p}_1 t$$

$$\mathbf{p}'(t) = \mathbf{p}_0(-1) + \mathbf{p}_1 1$$

$$\mathbf{p}(t) = \mathbf{p}_0 + (\mathbf{p}_1 - \mathbf{p}_0)t$$

$$\mathbf{p}'(t) = \mathbf{p}_0 0 + (\mathbf{p}_1 - \mathbf{p}_0)1$$

$$\mathbf{p}(t) = \begin{bmatrix} \mathbf{p}_0 & \mathbf{p}_1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ t \end{bmatrix}$$

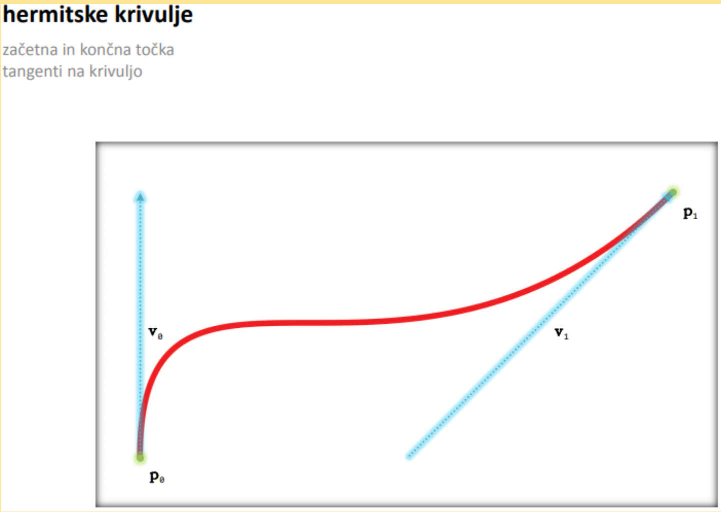
$$\mathbf{p}'(t) = \begin{bmatrix} \mathbf{p}_0 & \mathbf{p}_1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix}$$

Izračun tangentne krivulje kaže smer gibanja krivulje.

## Hermitske krivulje

Uporabljajo se krivulje tretjega reda ker so najbolje za intuitivno uporabo.

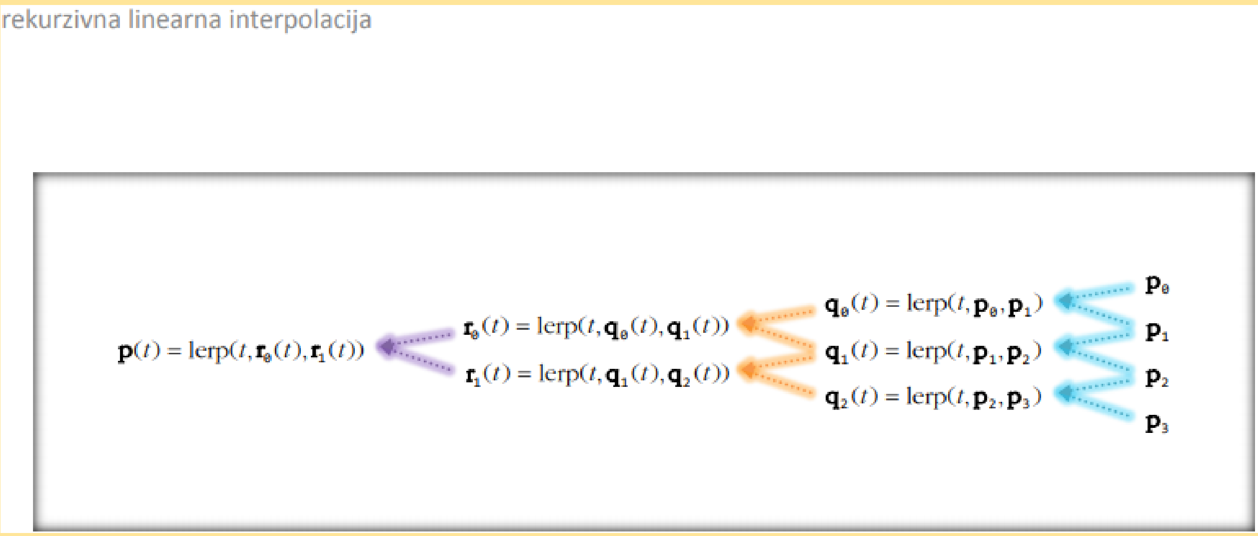
Definirajo parametre preko začetne in končne tangente, skozi katere krivulja gre (interpoliranje) tangento v točki p0 in tangentov v točki p1.



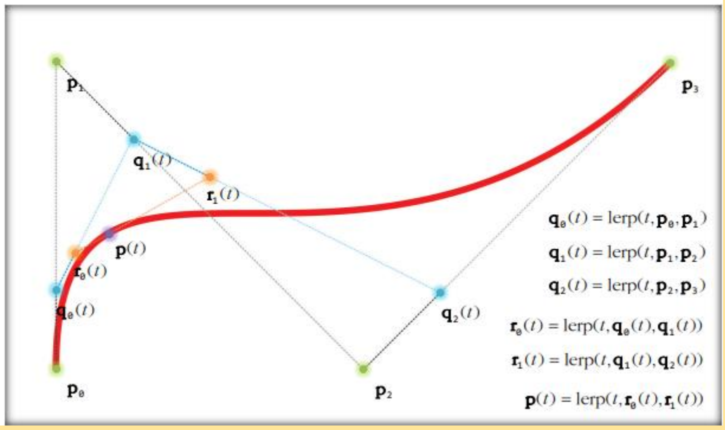

## Bezierove krivulje

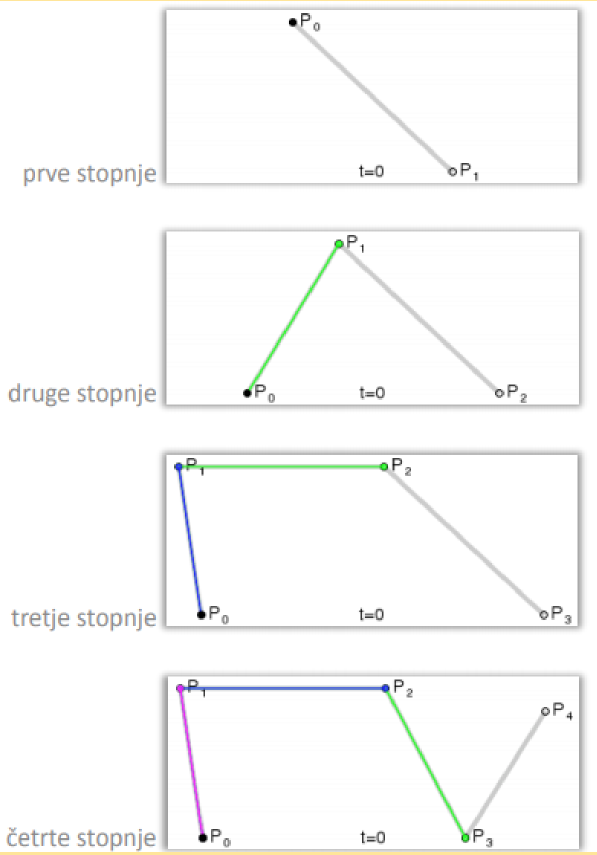
https://en.wikipedia.org/wiki/Bézier_curve
Temeljijo na razširitvi linearne interpolacije do višjih stopenj. Uporabljajo se za risanje tipografi na ekran. Omogočajo intuitivno delo in oblikovanje krivulje. Nad njimi veljajo uporabne lastnosti.V RG se uporabljajo povsod.  Afine transformacije ki jih izvajamo nad krivuljami, lahko izvajamo nad točko na krivulji ali pa nad kontrolnimi točkami po konstrukciji proizvedle enako krivuljo
Krivulja ne bo nikoli spremenila smeri, večkrat ko jih spreminja kontrolni poligon

Konveksni poligon je notranjost črt, ki povezujejo točke  (npr. v pravokotnik)
Kontrolni poligon je črta ki povezuje naše 4 točke.
Vzamemo parameter t in sosednje točke, p0 ter p1 ter izvedemo linearno interpolacijo in dobimo q0, q1, ponovimo za p3, p4…
To ponovimo se met lerp(t, q0, q1) dobimo r0, r1….to spet ponovimo in dobimo p0, ostane nam samo ena točka, točka na krivulji. Tako konstruiramo našo krivulje. To imenujemo De Castejau (“De kosteljejeva konstrukcija”) konstrukcija



De Castejau konstrukcija




Za krivuljo cetrtega reda bi dodai se cetrt stolpec.

Bernsteinovi polinomi

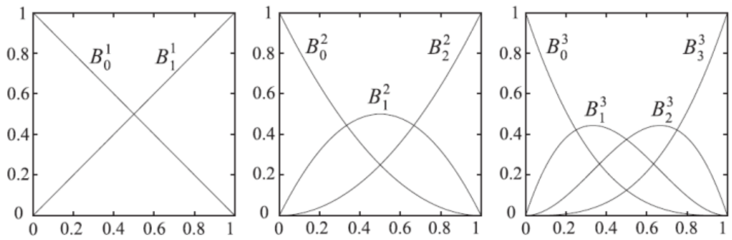
So splošna enačba, ki je definirana na poljubno potenco in so definirani kot:

Bernsteinovi polinomi

$$\mathbf{p}(t) = \sum_{i=0}^{n} \mathbf{p}_i B_i^n(t), \quad B_i^n(t) = \binom{n}{i} (1-t)^{n-i} t^i$$

$$\binom{n}{i} = \frac{n!}{i!(i-n)!}, \quad n! = \prod_{k=1}^{n} k$$

$$\sum_{i=0}^{n} B_i^n(t) = 1$$



Kubični polinom :

**Bézierove krivulje**

kubični polinom

$$\mathbf{p}(t) = \mathbf{p}_0(1-t)^3 + \mathbf{p}_1 3(1-t)^2 t + \mathbf{p}_2 3(1-t)t^2 + \mathbf{p}_3 t^3$$

$$\mathbf{p}(t) = \mathbf{p}_0(1-3t+3t^2-t^3) + \mathbf{p}_1(3t-6t^2+3t^3) + \mathbf{p}_2(3t^2-3t^3) + \mathbf{p}_3 t^3$$

$$\mathbf{p}(t) = \mathbf{p}_0 + (-3\mathbf{p}_0 + 3\mathbf{p}_1)t + (3\mathbf{p}_0 - 6\mathbf{p}_1 + 3\mathbf{p}_2)t^2 + (-\mathbf{p}_0 + 3\mathbf{p}_1 - 3\mathbf{p}_2 + \mathbf{p}_3)t^3$$

$$\mathbf{p}(t) = \mathbf{c}_0 + \mathbf{c}_1 t + \mathbf{c}_2 t^2 + \mathbf{c}_3 t^3$$

$$\mathbf{c}_0 = \mathbf{p}_0$$

$$\mathbf{c}_1 = (-3\mathbf{p}_0 + 3\mathbf{p}_1)$$

$$\mathbf{c}_2 = (3\mathbf{p}_0 - 6\mathbf{p}_1 + 3\mathbf{p}_2)$$

$$\mathbf{c}_3 = (-\mathbf{p}_0 + 3\mathbf{p}_1 - 3\mathbf{p}_2 + \mathbf{p}_3)$$

$$\mathbf{p}'(t) = \mathbf{c}_1 + \mathbf{c}_2 2t + \mathbf{c}_3 3t^2$$

$$\mathbf{p}(0) = \mathbf{p}_0, \quad \mathbf{p}(1) = \mathbf{p}_3, \quad \mathbf{p}'(0) = 3(\mathbf{p}_1 - \mathbf{p}_0), \quad \mathbf{p}'(1) = 3(\mathbf{p}_3 - \mathbf{p}_2)$$

matrični zapis

$$\mathbf{p}(t) = \mathbf{C}\mathbf{T}(t) = \begin{bmatrix} \mathbf{c}_0 & \mathbf{c}_1 & \mathbf{c}_2 & \mathbf{c}_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ t \\ t^2 \\ t^3 \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{c}_0 = \mathbf{p}_0, \quad \mathbf{c}_1 = -3\mathbf{p}_0 + 3\mathbf{p}_1, \quad \mathbf{c}_2 = 3\mathbf{p}_0 - 6\mathbf{p}_1 + 3\mathbf{p}_2, \quad \mathbf{c}_3 = -\mathbf{p}_0 + 3\mathbf{p}_1 - 3\mathbf{p}_2 + \mathbf{p}_3$$

$$\mathbf{p}(t) = \mathbf{G}\mathbf{B}(t) = \begin{bmatrix} \mathbf{p}_0 & \mathbf{p}_1 & \mathbf{p}_2 & \mathbf{p}_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} B_0(t) \\ B_1(t) \\ B_2(t) \\ B_3(t) \end{bmatrix}$$

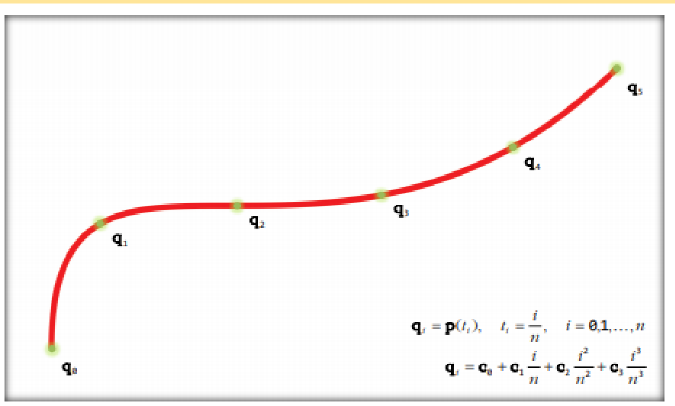
$$B_0(t) = 1 - 3t + 3t^2 - t^3, \quad B_1(t) = 3t - 6t^2 + 3t^3, \quad B_2(t) = 3t^2 - 3t^3, \quad B_3(t) = t^3$$

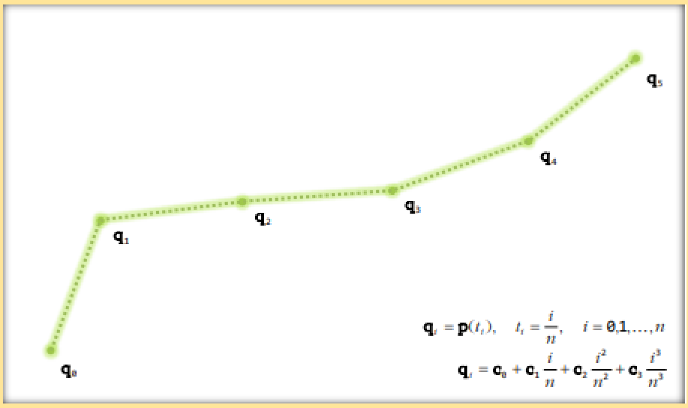
$$\mathbf{p}(t) = \mathbf{G}\mathbf{B}_b\mathbf{T}(t) = \begin{bmatrix} \mathbf{p}_0 & \mathbf{p}_1 & \mathbf{p}_2 & \mathbf{p}_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & -3 & 3 & -1 \\ 0 & 3 & -6 & 3 \\ 0 & 0 & 3 & -3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ t \\ t^2 \\ t^3 \end{bmatrix}$$

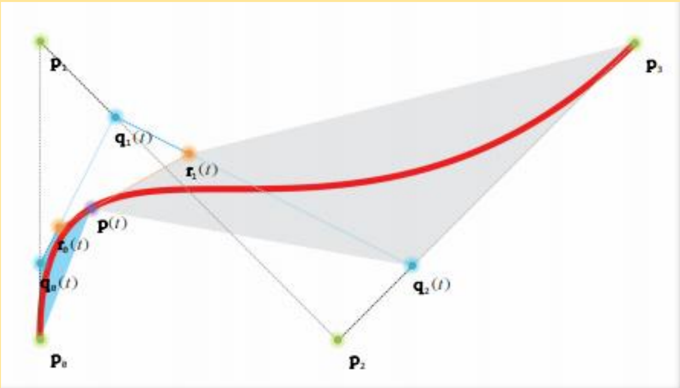
Neposredno določa točke Bernsteinovi posredno pa Kubični v tem je razlika med obema polinoma.

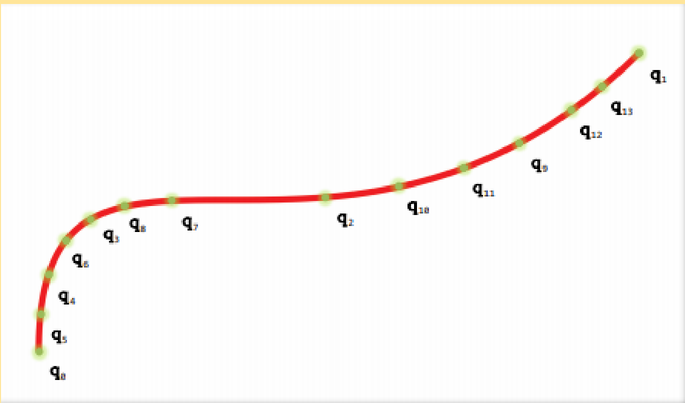
## Risanje Bézierove krivulje

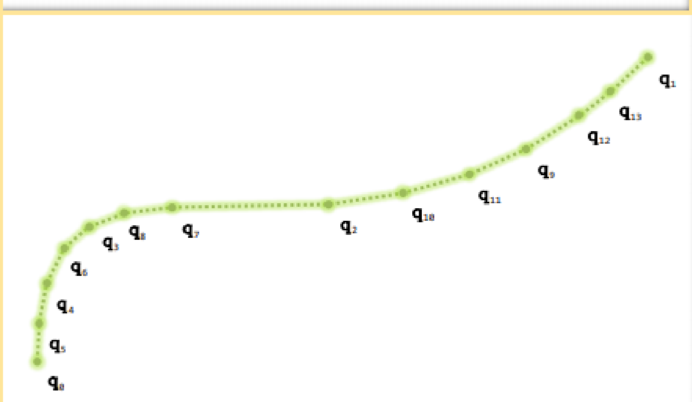
Vzamemo t, in na podlagi njega v korakih izračunamo točke na krivulji!
Število točk bo kazalo kvaliteto krivulje.





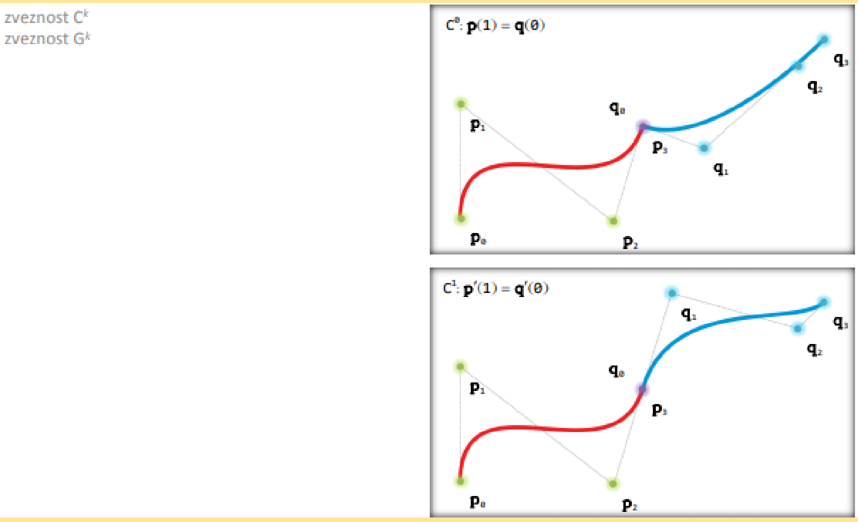




Lepe lastnosti Bezierove krivulje vedno v konveksnem poligonu in ne spremeni smeri bolj kot je to definirano s točkami. Bolj kot so te točke (aproksimacijske) oddaljene bolj je ostra krivulja na tem delu, sicer je bolj zravnana.

Izrisovanje lahko naredimo adaptivno tam kjer je krivulja bolj ukrivljena izrisemo vec tock kjer pa ni krivulje pa manj tock(premica).

## Sestavljene krivulje

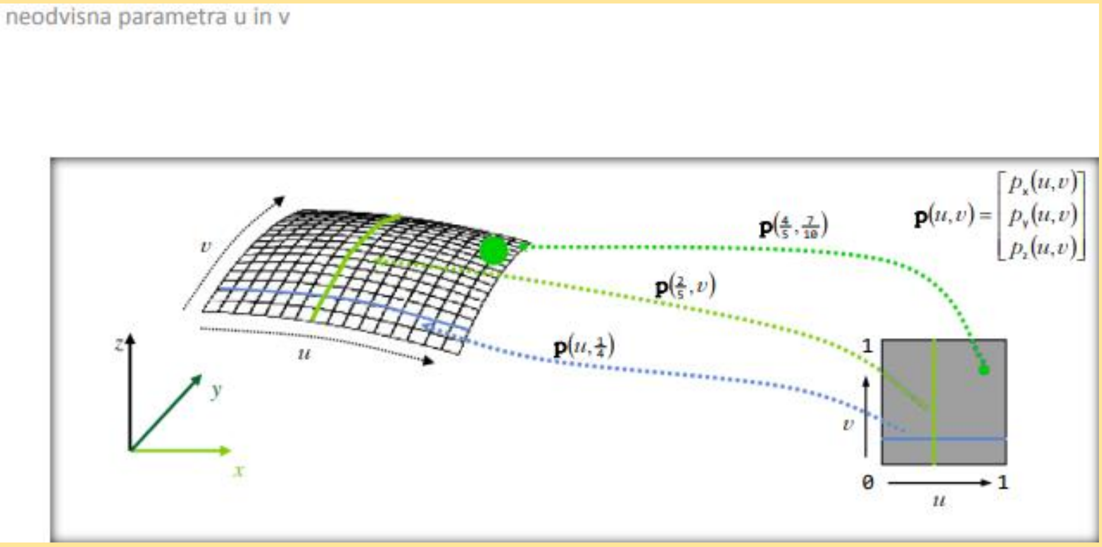
Pomembna sta dva termina imenujemo jih geometrijska zveznost (G^k) in parametrična zveznost (C^k).




Poznamo več različnih stopenj. C na k pomeni da ima na krivulji na tej točki enak ti odvod.

## Parametrične ploskve

Dve neodvisne spremenljivke!

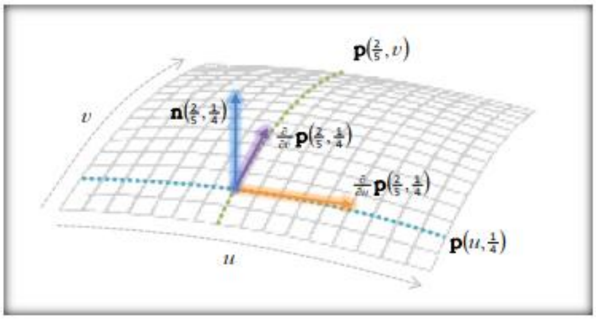


tangente

$$\tfrac{\partial}{\partial u}\mathbf{p}(u,v) = \begin{bmatrix} \frac{\partial}{\partial u} p_x(u,v) \\ \frac{\partial}{\partial u} p_y(u,v) \\ \frac{\partial}{\partial u} p_z(u,v) \end{bmatrix}, \quad \tfrac{\partial}{\partial v}\mathbf{p}(u,v) = \begin{bmatrix} \frac{\partial}{\partial v} p_x(u,v) \\ \frac{\partial}{\partial v} p_y(u,v) \\ \frac{\partial}{\partial v} p_z(u,v) \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{n}(u,v) = \tfrac{\partial}{\partial u}\mathbf{p}(u,v) \times \tfrac{\partial}{\partial v}\mathbf{p}(u,v)$$

$$\mathbf{n}_u(u,v) = \frac{\mathbf{n}(u,v)}{\|\mathbf{n}(u,v)\|}$$

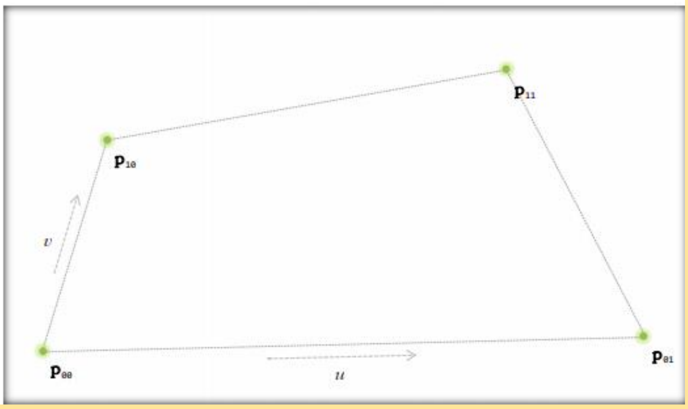



Pri fiksiranju enega parametra dobimo krivulje preko ploskve vzdolž drugega predmeta in pri fiksiranju drugega predmeta dobimo krivuljo preko ploskve vzdolž drugega predmeta.
Računati moramo tudi normalo v točki na ploskev.
1 .Tangento na krivuljo vzdolž ene osi in 2. vzdolž druge osi in pridemo do normale v točki

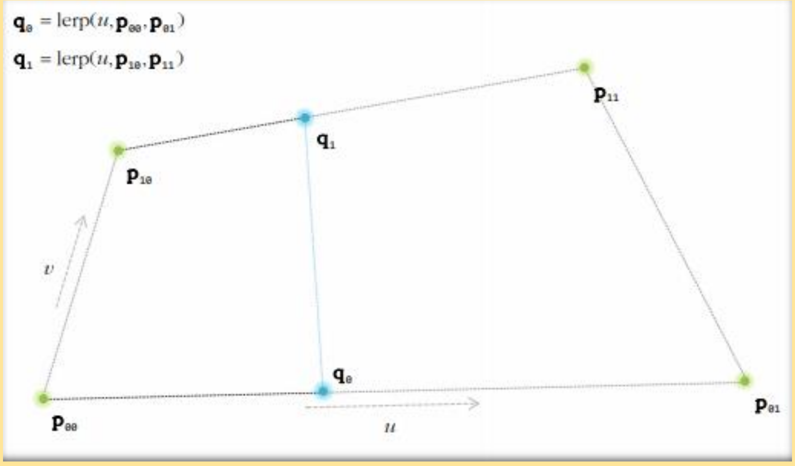
## Bilinearna krpa

Bi pomeni v dveh smereh
Definirajo jo 4 koeficienti, dva za vsako smer, p00, p10 vzdolž osi v, p00, p01 vzdolž osi u.
Najprej izračunamo linearno interpolacijo med točkami ki definirajo krivuljo vzdolž parametrov nato linearno interpolacijo med p10 in p11 te dve točki nam

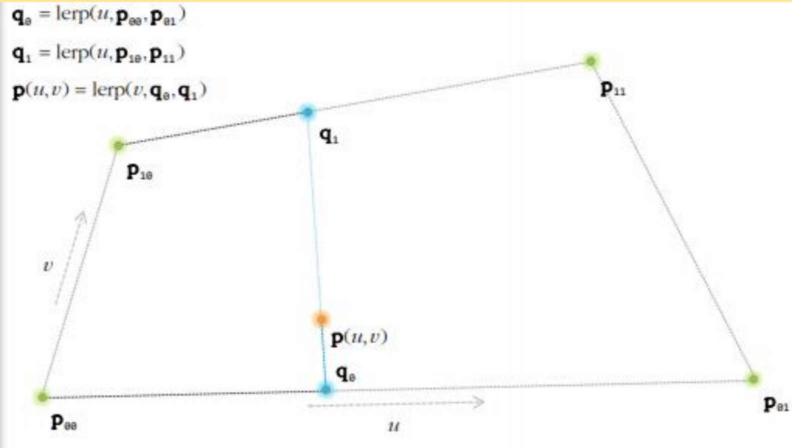
kontrolna mreža štirih točk




Prvi korak:




Drugi korak:




Lastnosti:

utežena vsota točk

$$\mathbf{p}(u,v) = \mathbf{p}_{00}(1-u)(1-v) + \mathbf{p}_{01}u(1-v) + \mathbf{p}_{10}(1-u)v + \mathbf{p}_{11}uv$$

bilinearni polinom

$$\mathbf{p}(u,v) = \mathbf{p}_{00} + (\mathbf{p}_{00} - \mathbf{p}_{10})v + (-\mathbf{p}_{00} + \mathbf{p}_{01})u + (\mathbf{p}_{00} - \mathbf{p}_{01} - \mathbf{p}_{10} + \mathbf{p}_{11})uv$$

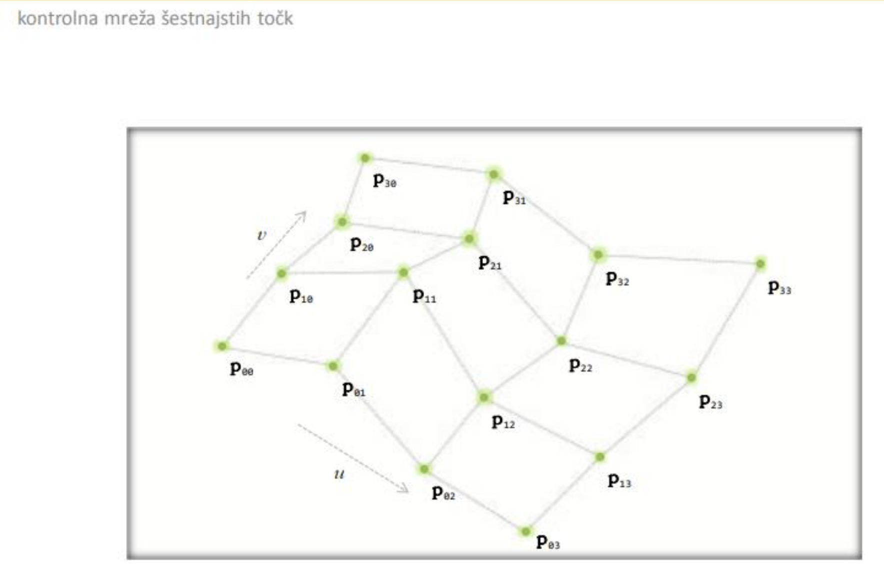
matrični zapis

$$\mathbf{p}(u,v) = \begin{bmatrix} 1 & v \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{p}_{00} & \mathbf{p}_{01} \\ \mathbf{p}_{10} & \mathbf{p}_{11} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ u \end{bmatrix}$$

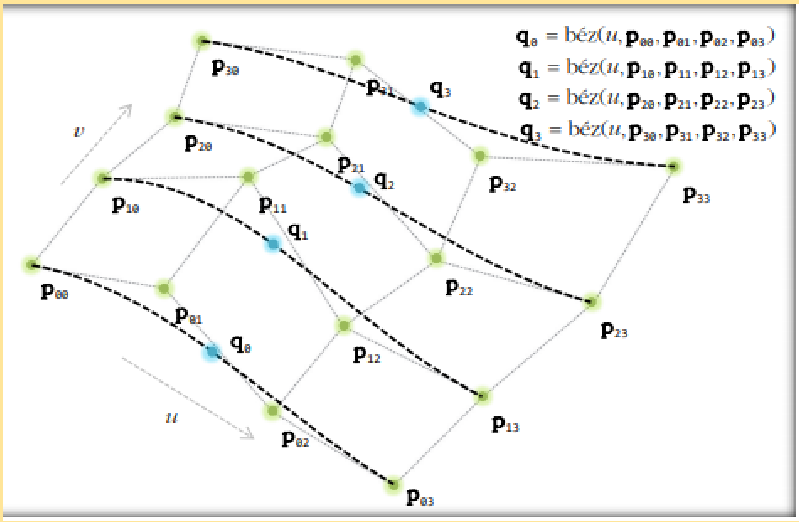
$$\mathbf{p}(u,v) = \mathbf{V}(v)^{\mathsf{T}}\mathbf{B}^{\mathsf{T}}\mathbf{G}\mathbf{B}\mathbf{U}(u)$$

## Bikubična Bézierova krpa

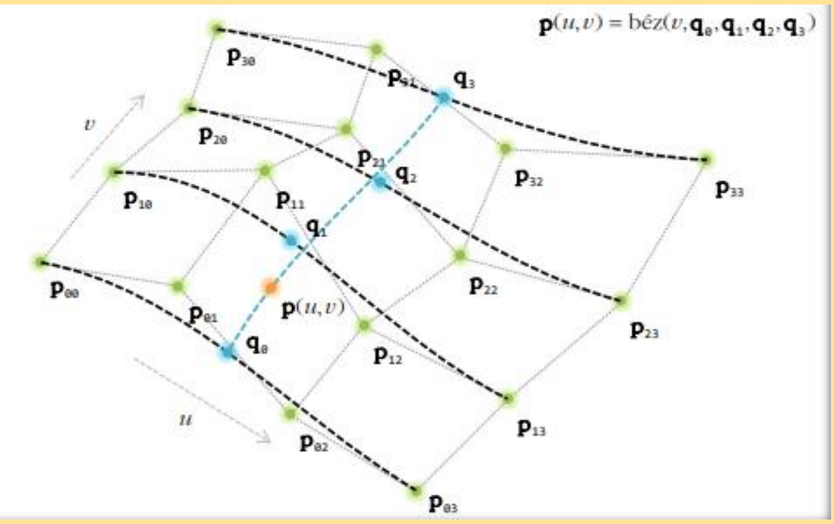
4 eksterne točke na vogalih so interpolirane ostalih 14 krpo aproksimirajo. Definirana je na podlagi štirih bezierovih krivulj. Vzdolž osi u in vzdolž osi v.



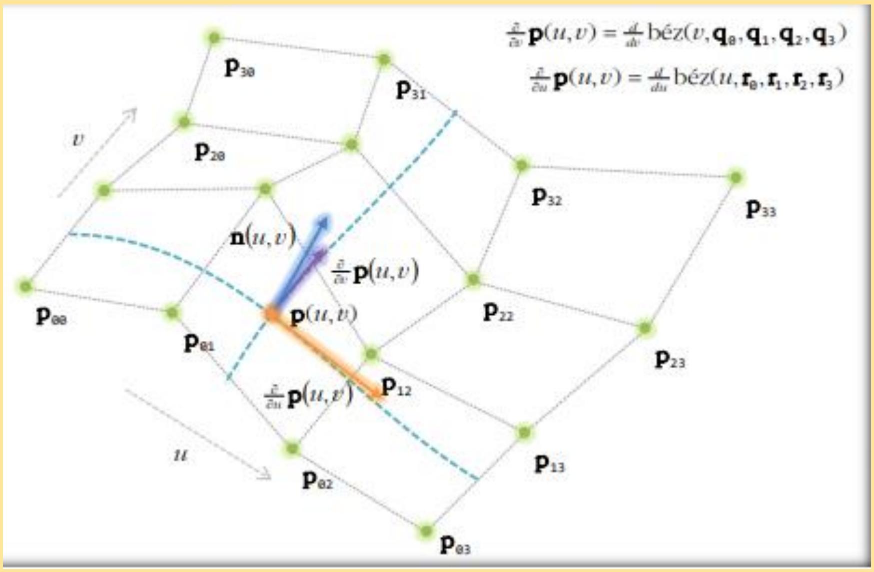

Prvi korak:




Drugi korak:




Tangente:




Lastnosti:

Bernsteinovi polinomi
matrični zapis

$$\mathbf{p}(u,v) = \sum_{i=0}^{3}\sum_{j=0}^{3}\mathbf{p}_{ij}B_i^3(u)B_j^3(v)$$

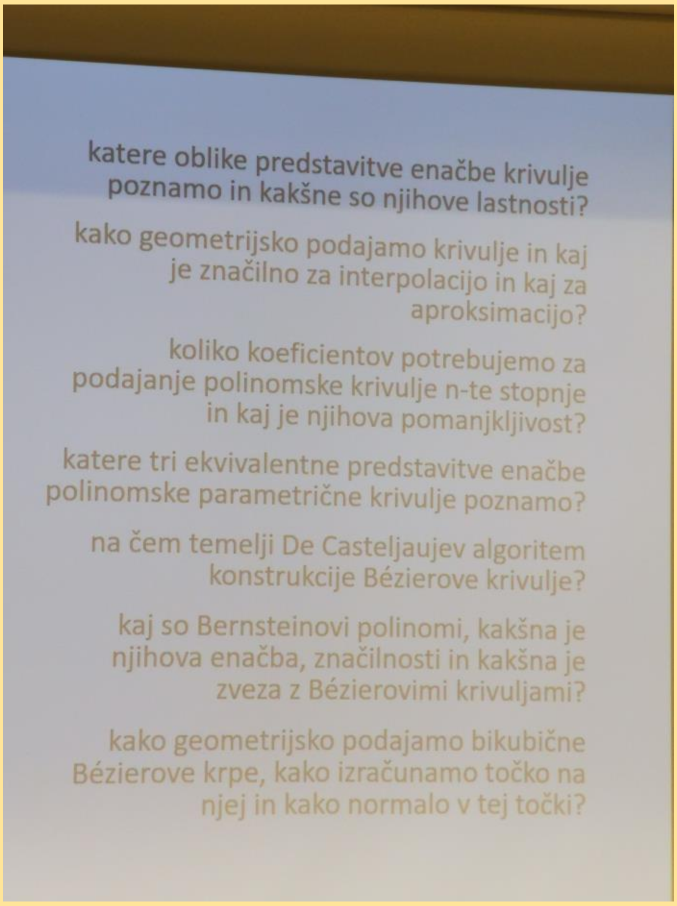
$$\mathbf{p}(u,v) = \mathbf{V}(v)^\mathsf{T}\mathbf{B}_\mathrm{b}{}^\mathsf{T}\mathbf{G}\mathbf{B}_\mathrm{b}\mathbf{U}(u)$$

$$\mathbf{p}(u,v) = \begin{bmatrix}1 & v & v^2 & v^3\end{bmatrix}\begin{bmatrix}1 & 0 & 0 & 0\\ -3 & 3 & 0 & 0\\ 3 & -6 & 3 & 0\\ -1 & 3 & -3 & 1\end{bmatrix}\begin{bmatrix}\mathbf{p}_{00} & \mathbf{p}_{01} & \mathbf{p}_{02} & \mathbf{p}_{03}\\ \mathbf{p}_{10} & \mathbf{p}_{11} & \mathbf{p}_{12} & \mathbf{p}_{13}\\ \mathbf{p}_{20} & \mathbf{p}_{21} & \mathbf{p}_{22} & \mathbf{p}_{23}\\ \mathbf{p}_{30} & \mathbf{p}_{31} & \mathbf{p}_{32} & \mathbf{p}_{33}\end{bmatrix}\begin{bmatrix}1 & -3 & 3 & -1\\ 0 & 3 & -6 & 3\\ 0 & 0 & 3 & -3\\ 0 & 0 & 0 & 1\end{bmatrix}\begin{bmatrix}1\\ u\\ u^2\\ u^3\end{bmatrix}$$

## Overview:

- krivulje kontrolne točke, aproksimacija, interpolacija
- enačba krivulje eksplicitna, implicitna, parametrična, utežena vsota kontrolnih točk, polinom, matrični zapis
- parametrične krivulje linearne, kvadratne, kubične
- Bézierove krivulje De Castejau konstrukcija, Bernsteinovi polinomi, risanje s prilagodljivim vzorčenjem, sestavljanje krivulj sestavljanje krivulj
- zveznost Gk, zveznost Ck ploskve
- bilinearne krpe, bikubične Bézierove krpe, sestavljanje krp

# 15.11.2019 - Vid in Barve




Ponovitev:

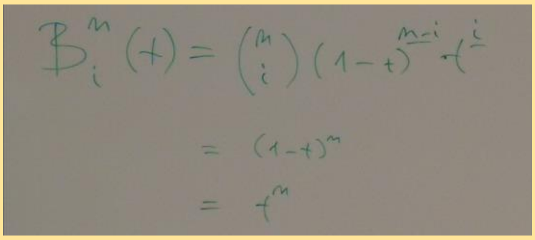
1. Implicitne, eksplicitnega in parametričnega
   a. pri implicitnem odvisno glede na neodvisno spremenljivko (znamo analitično izračunati vrednost odvisne spremenljivke) ex. y = n*k + n
   b. eksplicitne: enačbo kot funckijo neodvsnih spremenelnjiv in enačimo z 0, s tem zapišemo enačbo te krivulje, ta definira pogoje da jih izpolni da se točka nahaja na krivulji, prednost je da opišemo ponovno kdaj se tocka pojavi na krivuljo, če je vrednost manjša od nič se nahajamo v notranjosti pod krivuljo, večja od nič pa zunaj krivulje

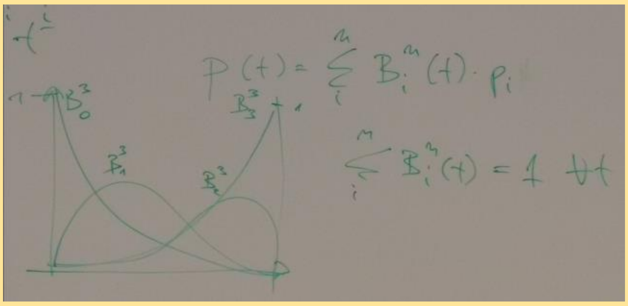
2. krivulje geometrijsko podajamo s kontrolnimi točkami, tisti ki skozi krivulja poteka se interpolira

3. n+1, ker gre polinom od nič do n (0…..n) torej n+1
   a. pomanjkljivost je:

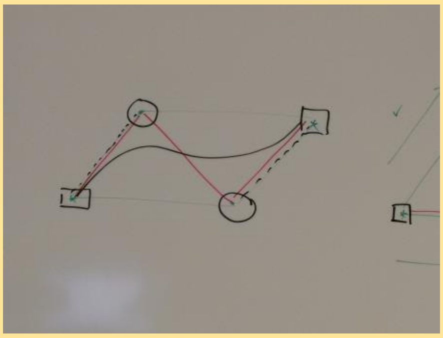
4. polinom, vsoto mešalnih funkcij = vsoto zmnožkov, matrično ….. funkcija geometrijske baze = če jo gledamo z nivoja vezave na geometrije/kontrolne točke …pretransformirati v točke polinoma

5. na osnovi rekurzivne linearne interpolacije kontrolnih točk

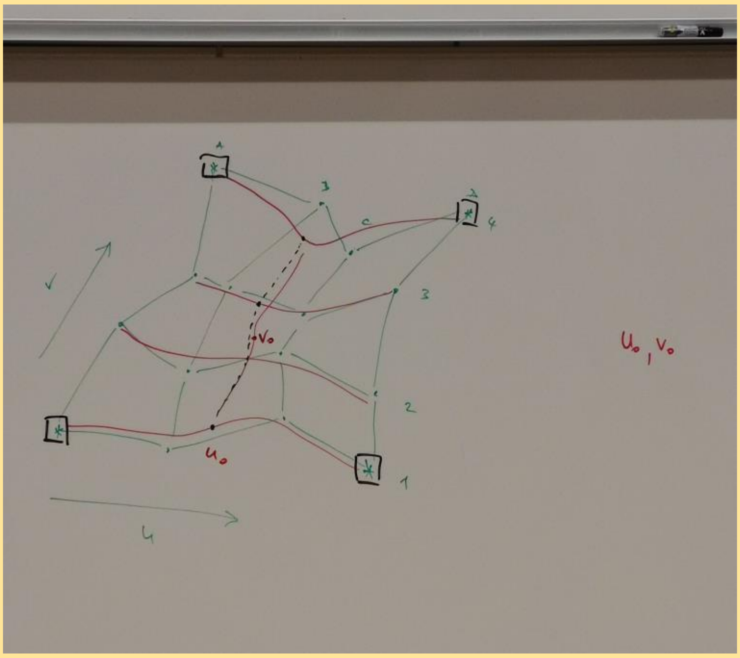
6. 


7. krpe majo dve neodvisne spremenljivke, krivulje pa eno



   a. kubično bezierovo krivuljo potrebujemo 1m3 kontrolnih točk torej 4
   b. bikubično bezierovo krivuljo potrebujemo kontrolnih točk torej 4^2, postopke je dvofazen, (u0, v0), vzamem 4 krivulje in po postopku de Casteljajeve izračunamo, dobim 4 točke na 4 krivuljah

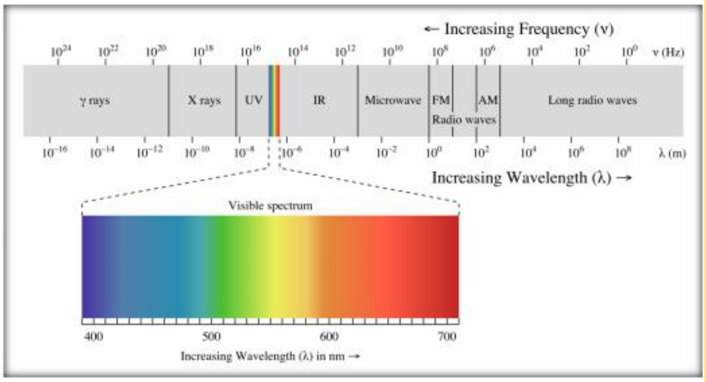


# SVETLOBA

množica delcev nabitih z energijo = photons, elektromagnetno valovanje

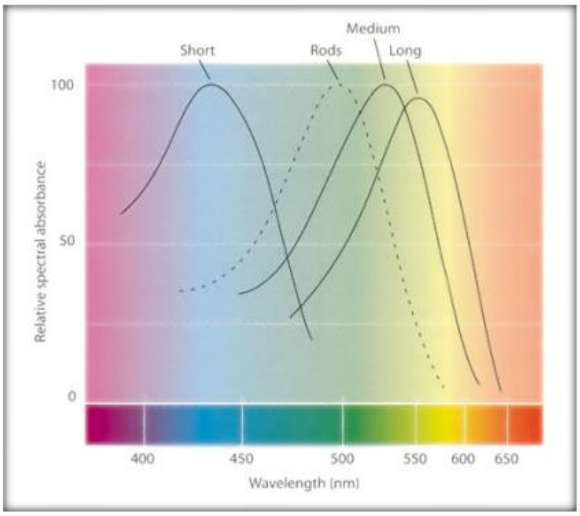
## svetloba

- gama žarki
- rentgenski žarki
- ultravijolična svetloba
- vidna svetloba
- infrardeča svetloba
- mikrovalovi
- radijski valovi




## zaznavanje vidne svetlobe

- odziv paličnic
- odziv čepnic

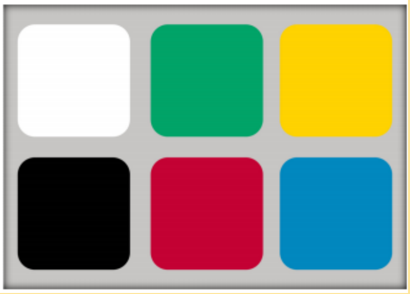


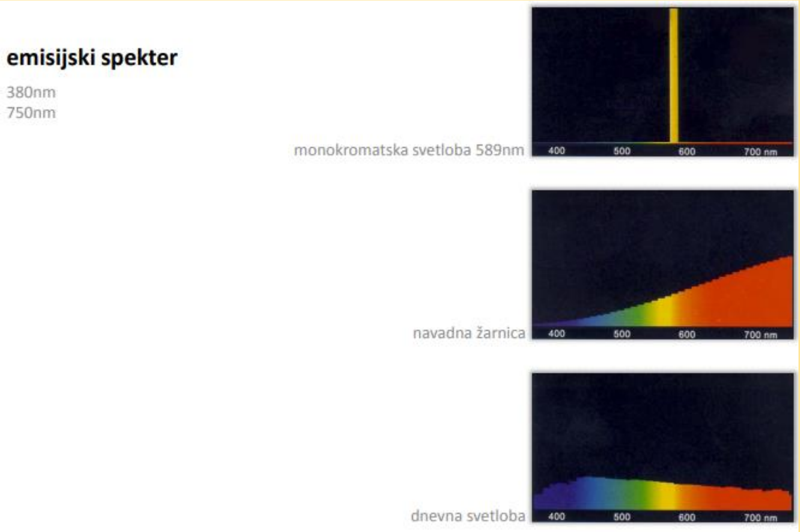

## zaznavanje vidne svetlobe

- izračun odziva paličnic
- procesiranje barvnih nasprotij

$$R_c = \sum_i \rho(\lambda_i) L(\lambda_i) w$$

$$R_c = \int \rho(\lambda) L(\lambda) d\lambda$$





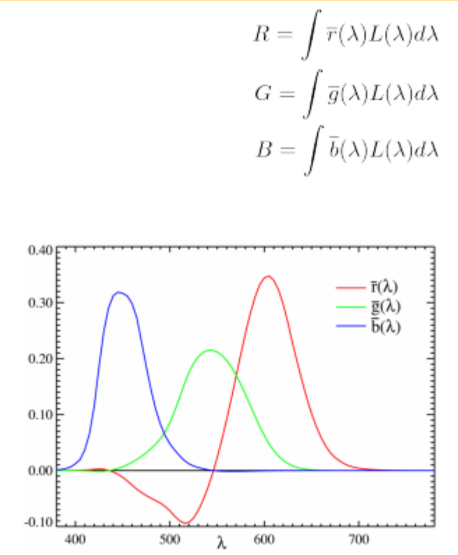

## REPRODUKCIJA BARV

barva predmetov vir svetlobe odbojnost in prepustnost zaznavanje svetlobe

-kromatska teorija govori da lahko vse opišemo z tremi barvami

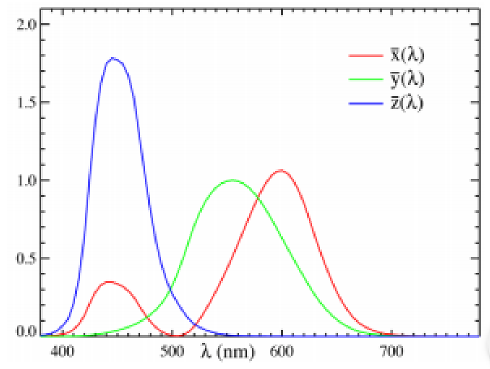
BARVNI MODELI
-subtraktivni ker določamo kolorand ki bo odvzel del svetlobe in ostalo odbilo v oči (svičnik ko piše na list)
-aditivni

BARVNI PROSTORI
-CIE RGB

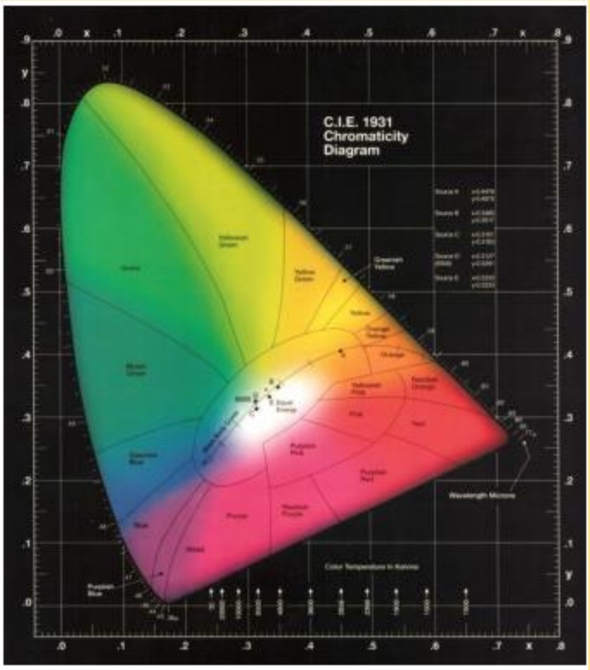



-CIE XYZ

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \frac{1}{0{,}17697} \begin{bmatrix} 0{,}49 & 0{,}31 & 0{,}2 \\ 0{,}17697 & 0{,}81240 & 0{,}01063 \\ 0{,}0 & 0{,}99 & 0{,}99 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}$$




CIE xyY
kromatični diagram CIE xy
-predstavlja vidni specter cloveka, mešanica različnih valovni dolžin



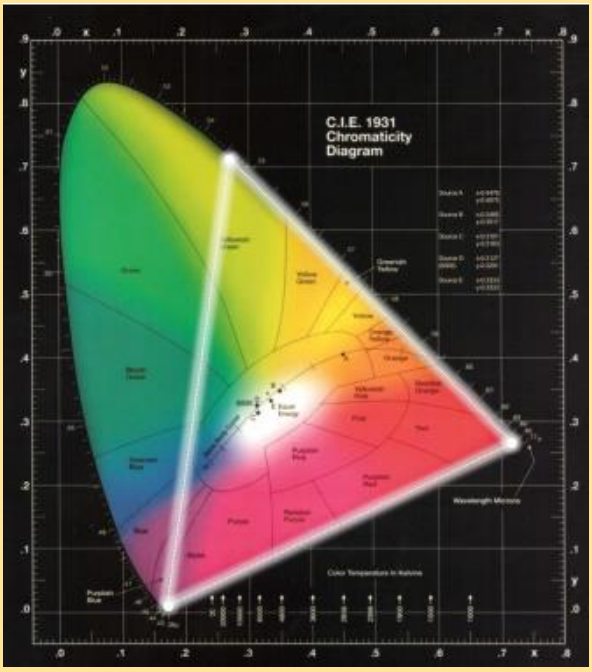

CIE XYZ → CIE xyY

$$x = \frac{X}{X+Y+Z},\ y = \frac{Y}{X+Y+Z},\ Y = Y$$

CIE xyY → CIE XYZ

$$X = Y\frac{x}{y},\ Y = Y,\ Z = Y\frac{1-x-y}{y}$$

-kromatični diagram
barvni obseg
CIE rgb



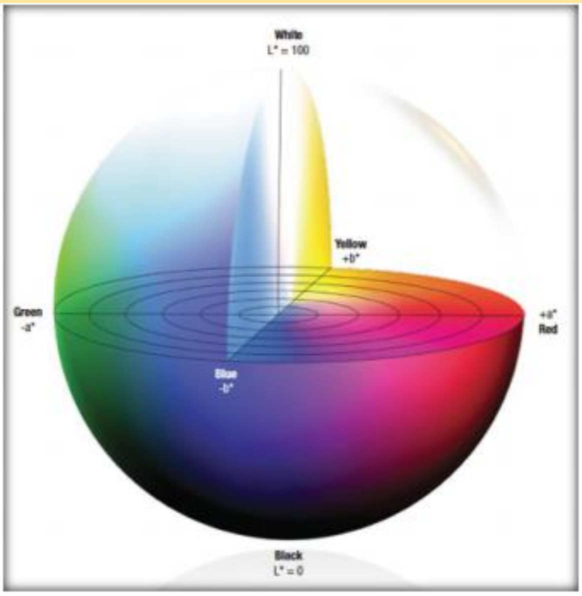

CIE L*a*b*

CIE XYZ → CIE L*a*b*

$$L^* = 116 f(Y/Y_n) - 16$$
$$a^* = 500\big(f(X/X_n) - f(Y/Y_n)\big)$$
$$b^* = 200\big(f(Y/Y_n) - f(Z/Z_n)\big)$$
$$f(t) = \begin{cases} t^{\frac{1}{3}}; & \text{če } t > \left(\frac{6}{29}\right)^3 \\ \frac{1}{3}\left(\frac{29}{6}\right)^2 t + \frac{4}{29}; & \text{sicer} \end{cases}$$

CIE L*a*b* → CIE XYZ

$$X = Y_n f^{-1}\left(\frac{L^*+16}{116}\right)$$
$$Y = X_n f^{-1}\left(\frac{L^*+16}{116} + \frac{a^*}{500}\right)$$
$$Z = Z_n f^{-1}\left(\frac{L^*+16}{116} - \frac{b^*}{200}\right)$$
$$f^{-1}(t) = \begin{cases} t^3; & \text{če } t > \frac{6}{29} \\ 3\left(\frac{6}{29}\right)^2\left(t - \frac{4}{29}\right), & \text{sicer} \end{cases}$$




prikaz barv na monitorjih
RGB

R = ($x_R$, $y_R$), G = ($x_G$, $y_G$), B = ($x_B$, $y_B$), W = ($x_W$, $y_W$)

$$z_i = 1 - x_i - y_i$$

$$Y_w \Rightarrow \begin{bmatrix} X_w \\ Y_w \\ Z_w \end{bmatrix}_{\text{CIE XYZ}} = \begin{bmatrix} \frac{x_w}{y_w} Y_w \\ Y_w \\ \frac{z_w}{y_w} Y_w \end{bmatrix}$$

$$\begin{aligned} X_w &= x_R S_R + x_G S_G + x_B S_B \\ Y_w &= y_R S_R + y_G S_G + y_B S_B \\ Z_w &= z_R S_R + z_G S_G + z_B S_B \end{aligned}$$

RGB → CIE XYZ

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_R S_R & x_G S_G & x_B S_B \\ y_R S_R & y_G S_G & y_B S_B \\ z_R S_R & z_G S_G & z_B S_B \end{bmatrix} \begin{bmatrix} r \\ g \\ b \end{bmatrix}$$

CIE XYZ → RGB

$$\begin{bmatrix} r \\ g \\ b \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_R S_R & x_G S_G & x_B S_B \\ y_R S_R & y_G S_G & y_B S_B \\ z_R S_R & z_G S_G & z_B S_B \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}$$

-barvni prostor sRGB

## prikaz barv na monitorjih

sRGB

R = (0,64; 0,33); G = (0,3; 0,6); B = (0,15; 0,06);
W = (0,3127;0, 329)
a=0,055; s=12,92; γ=2,4; $t_0$=0,04045; $t_1$=0,0031308

sRGB → CIE XYZ

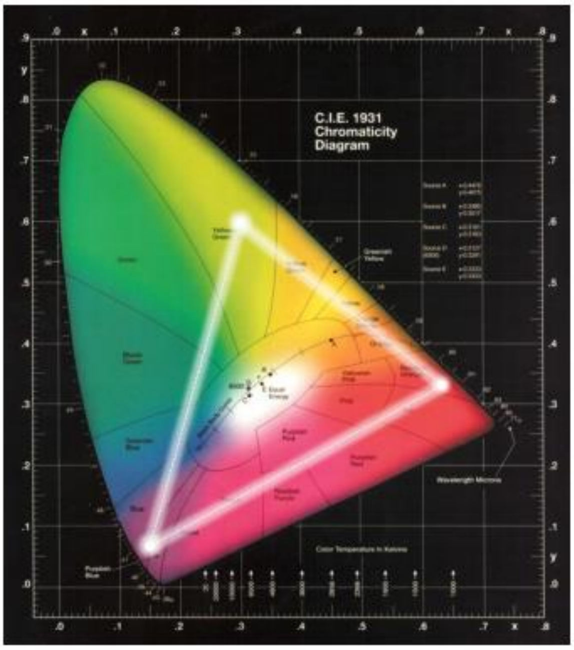
$$\begin{bmatrix} R' \\ G' \\ B' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f(R) \\ f(G) \\ f(B) \end{bmatrix}, \quad f(C) = \begin{cases} \frac{1}{s} C; & 0 \le C \le t_0 \\ \left(\frac{C+a}{1+a}\right)^{\gamma}; & t_0 \le C \le 1 \end{cases}$$

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0{,}4142 & 0{,}3576 & 0{,}1805 \\ 0{,}2126 & 0{,}7152 & 0{,}0722 \\ 0{,}0193 & 0{,}1192 & 0{,}9505 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R' \\ G' \\ B' \end{bmatrix}$$

CIE XYZ → sRGB

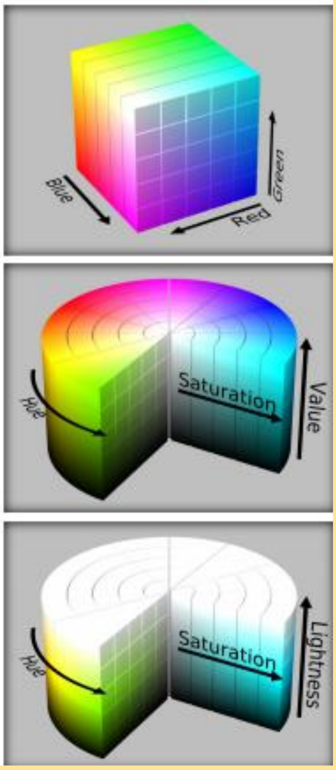
$$\begin{bmatrix} r' \\ g' \\ b' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 3{,}2406 & -1{,}5372 & -0{,}4986 \\ -0{,}9689 & 1{,}8758 & 0{,}0415 \\ 0{,}0557 & -0{,}2040 & 1{,}0570 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f(R') \\ f(G') \\ f(B') \end{bmatrix}, \quad f(C) = \begin{cases} sC; & 0 \le C \le t_1 \\ (1+a)C^{\frac{1}{\gamma}} - a; & t_1 \le C \le 1 \end{cases}$$



**barvni sistemi**

RGB
HSV
HSL




-načini opisa RGB, ki poskušajo prevzet barvno teorijo
-HSV in HSL poskusajo opisat na podlagi red, green, blue

vid
*anatomija očesa, paličnice, čepnice, zaznavanje, barvna slepota*

svetloba
*vidni spekter, emisijski spekter*

reprodukcija barv
*barvni modeli, barvni sistemi, barvni prostori, barvni obseg*

barvni modeli
*aditivni, subtraktivni*

barvni sistemi
*RGB, HSV, HLS*

barvni prostori
*CIE RGB, CIE XYZ, CIE xyY, CIE L*a*b**

## 22. 11. 2019 Osvetljevanje in senčenje

1.Kaj določa barvo nekega predmeta?
kako se odbija od nasega očesa odbija svetloba, zaznavamo samo dolocen del barvnega spektra,količina svetlobe,vir svetlobe in objekt ki ga gledamo.

2. Kaj je svetloba?
elektromagnetno valovanje, množica nabitih delcev (fotonov), ki so sposobni delčnih pojavov in pojavov valovanje, ki se širijo v prostoru. Določa jo frekvenca,kotni moment,faza orientacija…

3.Kako zaznamo svetlobo in barvo?
imamo naše oči, preko mrežnice, ki so občutljive na različne valovne dolžine, paličnice ki so občutljive na jakost svetlobe

4.kaj je rumena pega in slepa pega?

5. kaj je trikromatska teorija in kaj je barvni prostor?
trikromatska teorija izhaja iz našega vidnega zaznavanja, ki zaznava tri valovne dolžine svetlobe, zeleno, rdečo, modro, govorijo da katerikoli barvo lahko reproducirati z tremi barvami, hkrati pa se v rač. pri reprezentaciji

Barvni prostor je koordinatni sistem ki se nanaša na barve. Gre za dogovor o temu da neko barvo predstavimo s trojico urejenih števil pri čemer nam ta troica poda intenzivnost preko katerih pridemo do te končne barve.

6. Kaj je namen barvnega prostora CIE rgb in kaj so kolorimetrične funkcije?
CIE je prvi poskus ki poskusa definirat nekega univerzalnega opazovalca, trojica barvnih števil RGB pomenla enako stvar, definira natančno kakšni so teji trije viri monokromatske svetlobe

7. Kaj so značilnosti kolorimetričnih funkcij barvnega prostora CIE XYZ?
So kolorimetrične funkcije krivulje ii podajo kolikšen del te svetlobe je potreben da generiramo zeleno funkcijo.

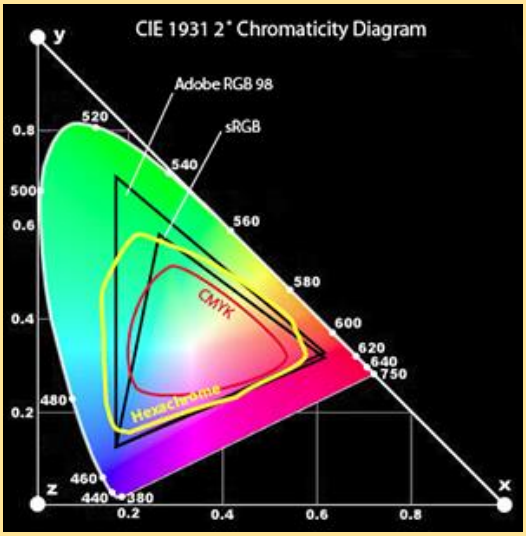
8.Kaj so znacilnosti kolorinrtricnih funckij barvnega prostora CIE XYZ?

Xyz ima namisljene naslove ki ne obstajajo v resnici da lahko postavimo stand prostor kjer so zauzete use barve svetlobe. Kombinacije xyz je ⅓ in sovpada z belo barvo.

9.Kaj je krimaticen diagram CIE xy in kaj prostor CIE xyY?

Kromatični diagram je prerez prostora xyZ, ki je stisnjen na ravnino x+y+z, normaliziran, omogoča pa nam prikazati vse celoten barvni spekter neodvisno od jakosti svetlobe, zato pa je xyY pri čemer veliki Y podaja barvo svetlobe,

10. Kaj je barvni obseg kako ga v kromatičnem diagramu CIE xy predstavimo?




Je površina nek 2D graf v katerem se nahaja ta lik potkaste oblike od 340 do 800 nm barvni obseg je pa površina v notranjosti tega lika ki ga dolocajo viri svetlobe ki smo ga uporabili za generiranje neke svetlobe.

11.Kaj sta poglavitni prednosti barvnega prostora CIE L*a*b pred ostalimi?

Predvsem ta da prejšnji prostori sovpadajo s kromatsko teorijo (tri barve z mešanico katerih smo sposobni generirat vse  barve) CIE L*a*b izhaja iz teorije barvnih nasprotij ampak podaja razmerje med črno in belo …, hkrati pa je ta prostor prvi ki ohranja perceptivno homogenost

**//TODO**
Kakšna je razlika med aditivnim in subtraktivnim modelom: pri aditivnem procesu nastopata zgolj dva elementa, vir svetlobe in naše oko, pri subtraktivnem, vir svetlobe ,predmet in nase oko, pri aditivnem mi določamo vir svetlobe katerim aditivi …

OSVETLITVENI MODELI

Zajema vse postopke ki so potrebni zato da mi izračunamo kakšne barve bo neka točka na ekranu!

Ločimo:
-GLOBALNI poskusa posnemat fotorealizem, da bo odziv nekega predmeta predvidljiv, se dejansko obnašal tako kot v realnem svetu, skušajo modelirat materiale in njihove realne odzive na svetlobo, obravnavajo posredno osvetlitev

-LOKALNI se normalno koncentrirajo na prvi del svetlobe, dosegljivi iz vseh virov svetlobe tako da noben predmet nebo pustil senc na drugih predmetih. Sence so posledica kota pod katerim na predmet pada svetloba.

Razlika je da lokalni ne obravnavajo posredne osvetlitve.

Grafični cevovod::::

IZRAČUN OSVETLITVE
Izračun osvetlitve, izračunamo osvetliteveno enačbo ,ki na podlagi virov svetlobe izračuna barve oglišča, glede na osvetlitvene pogoje,

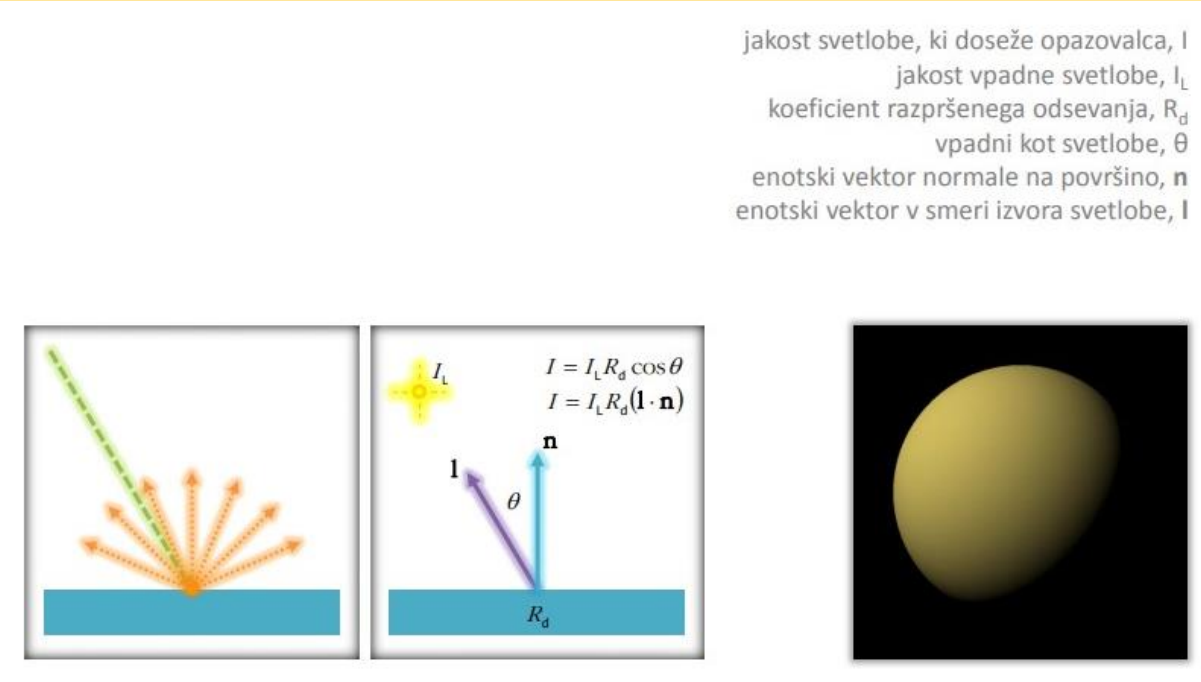
PROJEKCIJA
Projekcije ki izračuna koordinate na projekcijski ravnini, in ko se nabere dovolj oglišč za vsaj en poligon se izvede postopek rasterizacije, in določi kakšna naj bo barva pixla v notranjosti

LOKALNI OSVETLITVENI MODEL

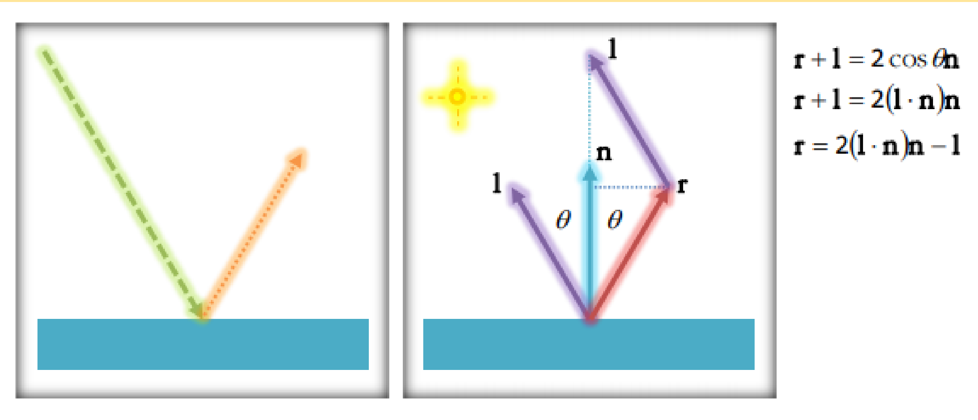
Smiselno se je vprašati kateri materiali so na voljo.

## Razpršeno odsevanje

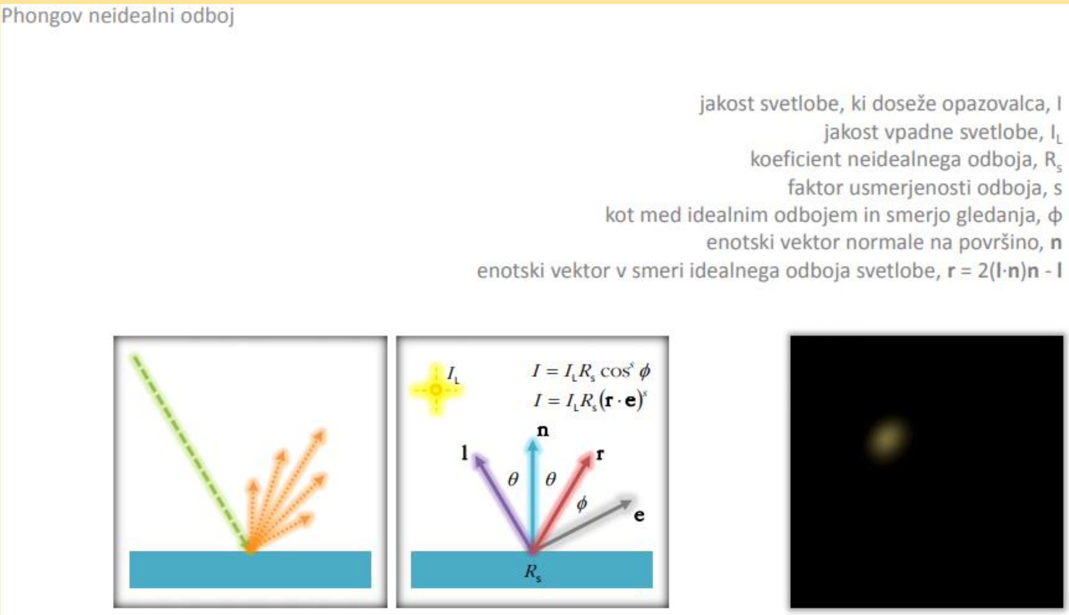
-temelji na Lambertovem osvetlitvenem zakonu
Predmeti ki realno razpršuje svetlobo so lambertski materiali. Izhaja iz stališča ne glede na kot kjer gledamo predmet je svetlost  predmeta ki jo vidimo enaka. S kotom se spremi ja tudi površina predmeta ki jo mi vidimo. TO je tako imenovan lambertov kosinusni zakon.




Idealni odboj = treba se vprašati kako definirati vektor ki izračuna svetlobe ki pride v naše oko.

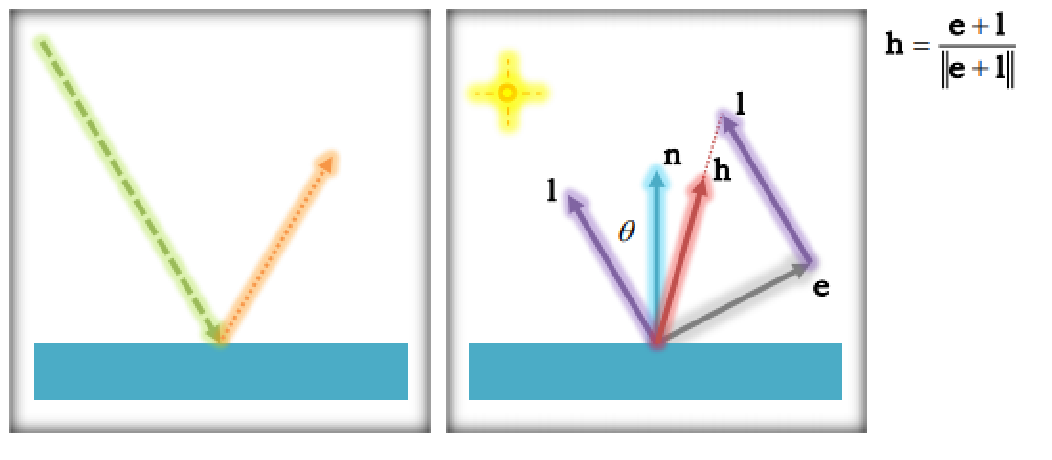



neidealne odboj=phongov model je prikazal odseve na predmete.  Stvar postane odvisna od kota pod katerim gledamo. Bolj kot se od svetlobe odmika manj jo dobimo v oko. Odvisna je od kota idealnega odboja in vektorja smeri gledanja. Bolj ko je predmet zloščen bolj natančno bo odbija svetlobo.

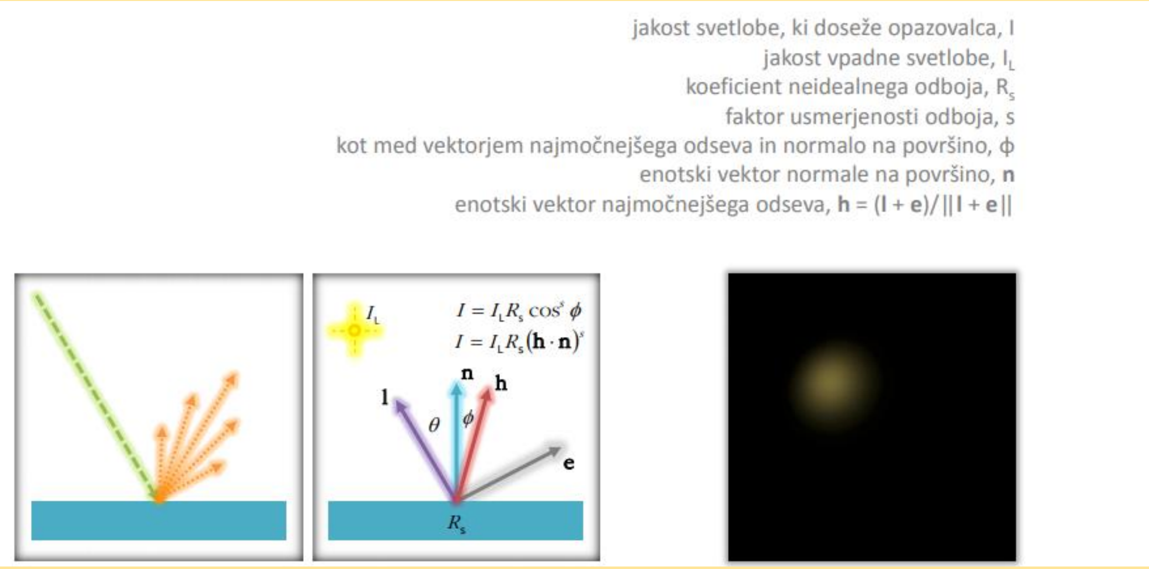



Za vsako točko na predmetu zahteva računanje svojega vektorja idealnega odboja kar postane potratno.

Vektor najmočnejšega odseva:




Blinnov neidealno odboj

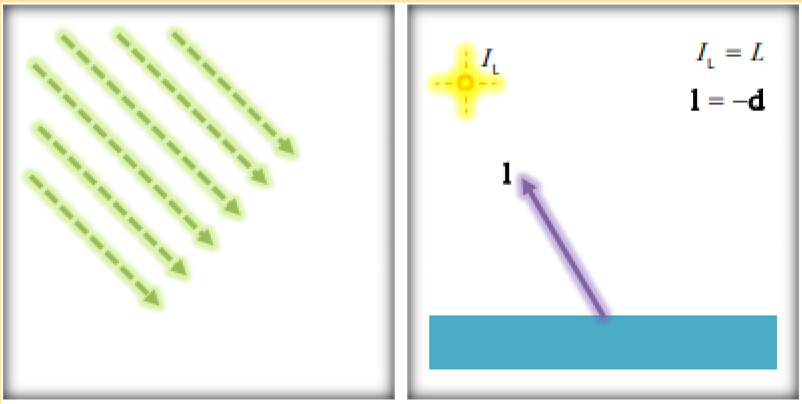



Posredna osvetlitev

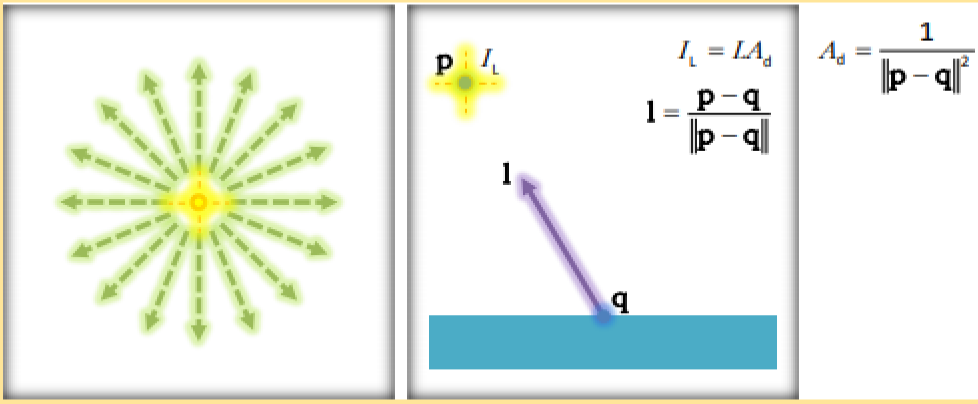
ad-hoc kompenzacija

VIRI SVETLOBE

-usmerjeni
smer svetlobe, d;
jakost svetlobe, L;

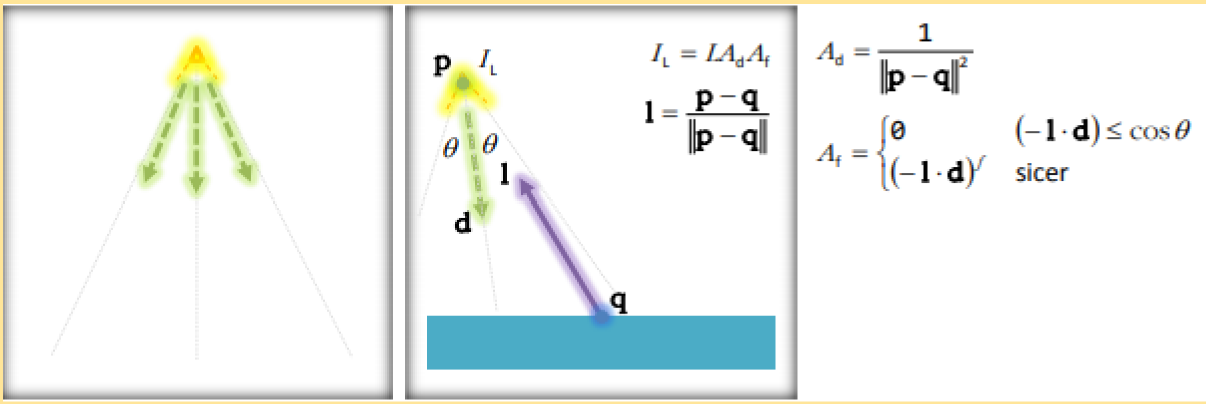



-točkovni
lokacija vira svetlobe v prostoru, p;
jakost oddane svetlobe, L;
ena lokacija v prostoru iz katere se razširja v vse smeri
Intenzivnost (I)




-reflektorski
-pada v odvisnosti kako sta poravnana smer v kateri energijo oddaja in nas kot gledanja

lokacija vira svetlobe v prostoru, p
jakost oddane svetlobe, L
smer svetlobnega snopa, d
širina svetlobnega snopa, θ
faktor usmerjenosti svetlobnega snopa, f



## SENČENJE

-po temu ko imamo izračunane koordinate

ploskovno senčenje
-izvede polnjenje notranjosti trikotnika na osnovi informacij ki so bile izračunane za prvo ogljišče

Gouraudova interpolacija
-upošteva barve ki so izračunan od vseh treh oglišč in med njimi interpolira

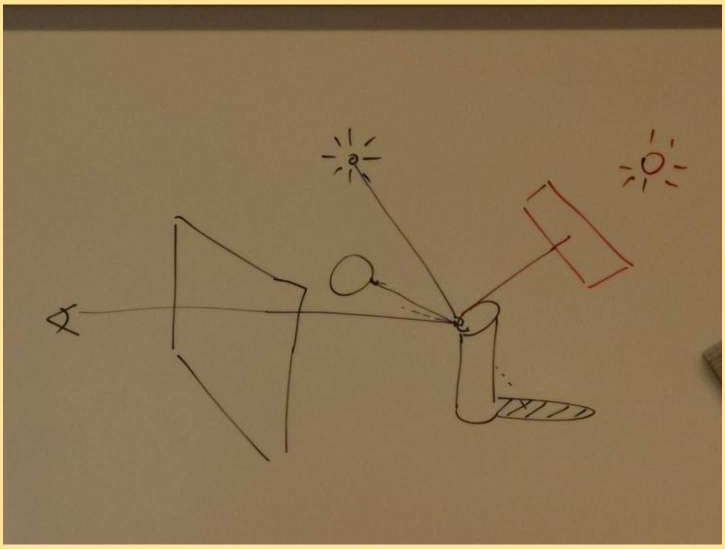
Phongova interpolacija
-zahtevajo da se za posamezno notranji element trikotnika izvede svoj program
-izračun osvetlitvene enačbe v vsaki točki
-geometry, vertex, fragment shader
-zgradi se na podlagi interpolacija normal
-omogoča da na površini vidimo phonogovo osvetlitev na površini

# 29.11.2019

1. Katere osvetlitvene modele poznamo in po čem se ločijo: lokalni in globalni - lokalni se koncentrirajo na prvi stik z materialom, medtem ko globalni se širijo naprej
2. Kje se v grafičnem cevovodu dogaja upodabljanje: upodabljanja enačba, izračun osvetlitvene enačbe ter rasterizacija (zadnji korak v cevovodu)
3. Kateri način širjenja svetlobe upoštevajo lokalni modeli: razpršenje, ko je usmerjen v neki smeri, posredna osvetlitev.
4. Razložite parametre Blinnove osvetlitvene metode: d = difuzni (širjenje svetlobe), s (specular), a (ambient), I (jakost), R (reflektivity), L (light source), l (light vector, od točke proti viru luči), n (normala), h (halfway vector, med vektorjema, l in e): intenziteta svetlobe ki jo bom videl kot opazovalec v točki ki jo obravnavam
5. Kakšne vire svetlobe poznamo: usmerjeni, točkovni, reflektorski!
6. Kaj vpliva na prejeto jakost svetlobe v primeru reflektorskega vira: razdalja, odmik od smeri kamor je ta projektor usmerjen
7. Kaj je najpomembnejša razlika med Gouraudovo in Phongovo interpolacijo: ko je v navezi s interpolacijo se nanaša na samo eno lokacijo v cevovodu v fazi rasterizacije;

Globalni osvetlitveni modeli poskušajo doseči tak izris oz. izračun ki bo omogočal čim bolj natančno kar svetloba dela na materialih oz. odvezava od svetlobe, to na račun nezmožnosti tega izvajati v realnem času, zato so bolj uporabljen filmski industriji.
Nimajo več prvega stika prvega stika svetlobe z predmetom.
Lokalni modeli so zasnovani na tak način ker je za njimi grafični cevovod skozi katerega potujejo oglišča.

# SLEDENJE ŽARKOV



## SEVALNA METODA

Obravnava da so vse površine deli svetlobe

FOTONSKO KARTIRANJE
Rešuje problem metode sledenja žarkov
Je dvofazni proces ki v prvem koraku obstreljuje prostor z delci/fotoni, iz vira svetlobe, delce se zasleduje skozi potovanje po prostoru, ob stikih s predmetov se zgodi stohastični prostor ki z verjetnostjo ugotovi kaj se bo s tem delcem zgodilo glede na lastnosti materiala (ali bo material posrkal ali bo skozi material prešel), beleži se kot pod katerim je priletel, koliko energije je bilo etc. Gradijo se dve fotonski karti, ena zasleduje predvsem koncentracijo svetlobe, in ena ki ....
Drugi korak je enak koraku sledenja žarkov. Proces je zelo dolgotrajen.

*13.12.2019*

BSSRDF - matematična enačba ki kar se da natančno opiše material

# TEMELJI ANIMACIJE

# TEKSTURE

**3. 1. 2020**

Koordinatni sistem se navadno razteza od 0 do 1. Dobimo pa ga tudi z dolžino potence 2.
Izračun koordinatnega sistema (točke v koordinatnem sistemu):
Slika

Sfrefično lepljenje
Slika

Aliasing – nazobčenost teksture
Antialiasing – odpravljanje nazobčenosti

Večdimenzionalne teksture so sestavljene iz več nivojev dvodimenzionalnih tekstur, skozi katere gremo in izračunamo barvo, ki bo prikazana.

Višja stopnja interpolacije kot jo uporabimo, bolj se nazobčenost manjša, dobimo pa bolj zamegljeno sliko.

## Uporaba

Predmetu damo barvo, teksturo – bolj zanimive.

## Bump mapping

*Če vzamemo za opazovan predmet krog*
Izbokline – izračunava se normala -> rezultat je še vedno pravilen krog (če gledamo zunanji rob), na površju nastanejo izbokline
Odmiki – razdalja od središča se uporablja -> na rezultatu se pozna deformacijo na zunanjem robu

# Grafični cevovod

V rasterizaciji in prekrivanju se izračuna vidnost ter barva točke.

## Scene graph

Podatkovna struktura – manegement objektov, ki jih imamo v prostoru
Kako vodimo strukturo, je odvisno od tega če je predmet odvisen od drugih (recimo če premaknemo mizo, na kateri je luč; bi radi da se s premikom mize premakne tudi luč); ali je predmet neodvisen (če premaknemo le luč, ta ne vpliva na ostale premete). Hierarhična podatkovna struktura nam to omogoča.
Vsak nivo nižje pomeni, da je predmet bolj podrejen od ostalih; višje pa pomeni, da je nadrejen.

Pomeni, da premik nadrejenega predmeta vpliva na transformacijske matrike njemu podrejenih objektov.

Da lahko dosežemo določene efekte med animacijo, moramo včasih med animacijo spremeniti hierarhijo predmetov.

V animaciji je struktura:

Aciklični graf – da ne podvajamo nepotrebnih stvari

Optimizacija renderiranja (upodobitve)
Predmeti, ki so zakriti, se jih niti ne pošilja v izračun (procesiranje).