



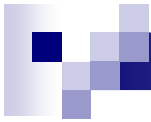
Grafički hardver

Dr. sci. Emir Skejić, vanr. prof.
Fakultet elektrotehnike Tuzla



Grafički hardver

- Ekran (CRT, LCD, ...)
- Grafički akcelerator
 - Scan kontroler
 - Video memorija (engl. *framebuffer*)
 - Prikazni procesor / grafički procesor
- CPU / memorija / disk...



Prikazne tehnologije

- Prednja projekcija (engl. *front projection*)
- Pozadinska projekcija (engl. *back projection*)
- Direktan pogled (engl. *direct view*)
- Backlit



Prikazne tehnologije

■ Prednja projekcija

- Prednja projekcija je proces vizualnog efekta unutar kamere koji se koristi u filmskoj produkciji gdje se kombinira glavna radnja (engl. *foreground performance*) sa unaprijed snimljenom scenom. U odnosu na pozadinsku projekciju, pozadinska slika se projektuje i na izvođača i na visoko reflektivni pozadinski ekran, što ima za posljedicu da se projektovana slika reflektira s ekrana na sočiva kamere.

■ Pozadinska projekcija

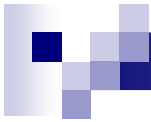
- Pozadinska projekcija je tehnika za dobijanje specijalnih efekata koja se koristi u filmskoj produkciji, gdje se kombinira glavna radnja sa unaprijed snimljenom pozadinom. Koristi se u scenama vožnje ili u "udaljenim" kretanjima u pozadini.

■ Direktni pogled

- Ekрани s direktnim pogledom (engl. *direct view*) su video ekрани u kojima se svjetlost koju proizvodi prikazni uređaj gleda direktno, bez prethodnog odbijanja od ekrana. Svi CRT-ovi, LCD-ovi, plazma televizori i računarski monitori su ekрани s direktnim pogledom. Ovi prikazi imaju tendenciju da najbolje rade u uslovima jakog osvjetljenja, te imaju jaču izlaznu svjetlost nego prikazi s projekcijom.

■ Backlit

- LCD ekran koji ima pozadinsko osvjetljenje, što pozadinu čini sjajnijom a likove oštrijim.



Prikazne tehnologije

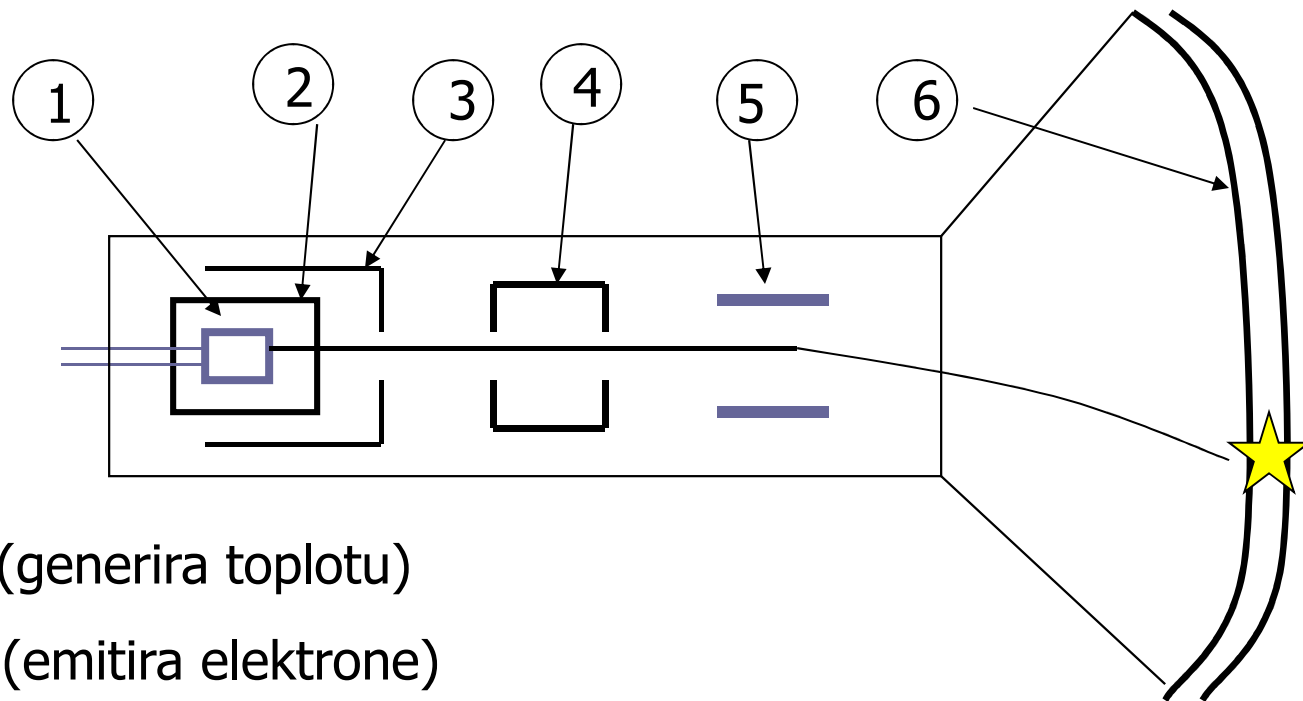
- CRT
- LED
- LCD
- Plazma ekrani
- Digitalna obrada svjetlosti (engl. *Digital Light Processing – DLP*)
- Itd.



Kompromisi

- Cijena, težina, veličina
- Potrošnja energije
- Prostorna rezolucija i rezolucija boja
- Maksimalna osvijetljenost (engl. *peak brightness*), nivo crnila (engl. *black level*), kontrast
- Itd.

Katodna cijev



1. Vlakno (generira toplotu)
2. Katoda (emitira elektrone)
3. Kontrolna rešetka (kontrolira intenzitet)
4. Fokus
5. Deflektor
6. Fosforni premaz



Katodna cijev

- Katodna cijev (engl. *Cathode Ray Tube – CRT*) predstavlja jedan od najstarijih i najšire primjenjivanih prikaznih uređaja. U primjeni se nalazi u vidu matričnog, rasterskog ili grafičkog, vektorskog prikaznog uređaja.
- Rad katodne cijevi kao rasterskog prikaznog uređaja sličan je radu katodne cijevi televizora.
- Rad katodne cijevi kao grafičkog prikaznog uređaja je drugačiji od rasterskog i na svom ekranu pruža puno veću rezoluciju podataka.



Princip rada katodne cijevi

1/2

- Zagrijavanjem vlakna iz katode se oslobađaju elektroni.
- Visoki pozitivni napon na ekranu katodne cijevi privlači oslobođene elektrone.
- Rešetka oblikuje elektrone u uski snop koji pogađa tačkasto mjesto, element slike (engl. *pel-picture element*) na ekranu čime se s fosfornog premaza unutrašnje strane ekrana emitiraju fotoni svjetlosti.



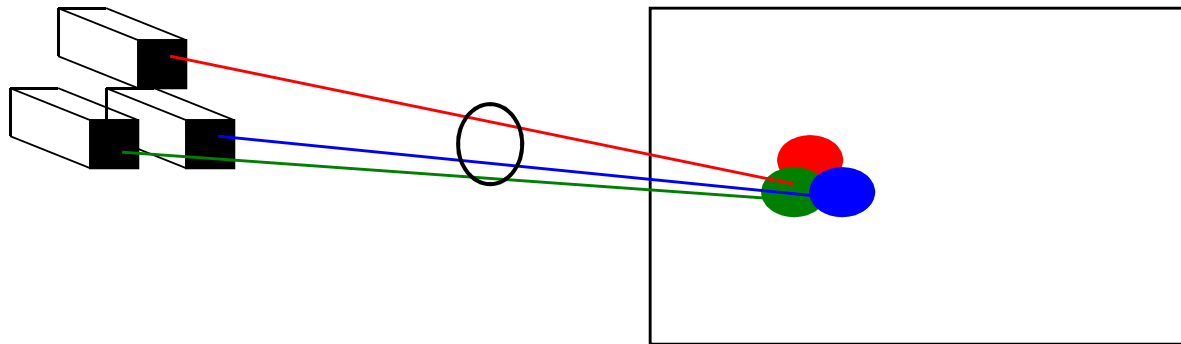
Princip rada katodne cijevi

2/2

- Kod jednoboynih cijevi vrsta fosfora određuje boju svjetlosti koju zrači ekran.
- Višebojna cijev se sastoji od tri vlakna s odgovarajućim katodama i tri različita fosforna premaza.
- Fosforni premazi emitiraju tri različite boje svjetlosti, crvenu, zelenu i plavu, čijim se miješanjem dobijaju sve ostale boje.

CRT u boji

3 elektronska topa, 3 fosforne tačke u boji po svakom pikselu



Boja = (crvena, zelena, plava)

Crvena = 0 do 100%

Zelena = 0 do 100%

Plava = 0 do 100%

Crna = (0,0,0)

Bijela = (1,1,1)

Crvena = (1,0,0)

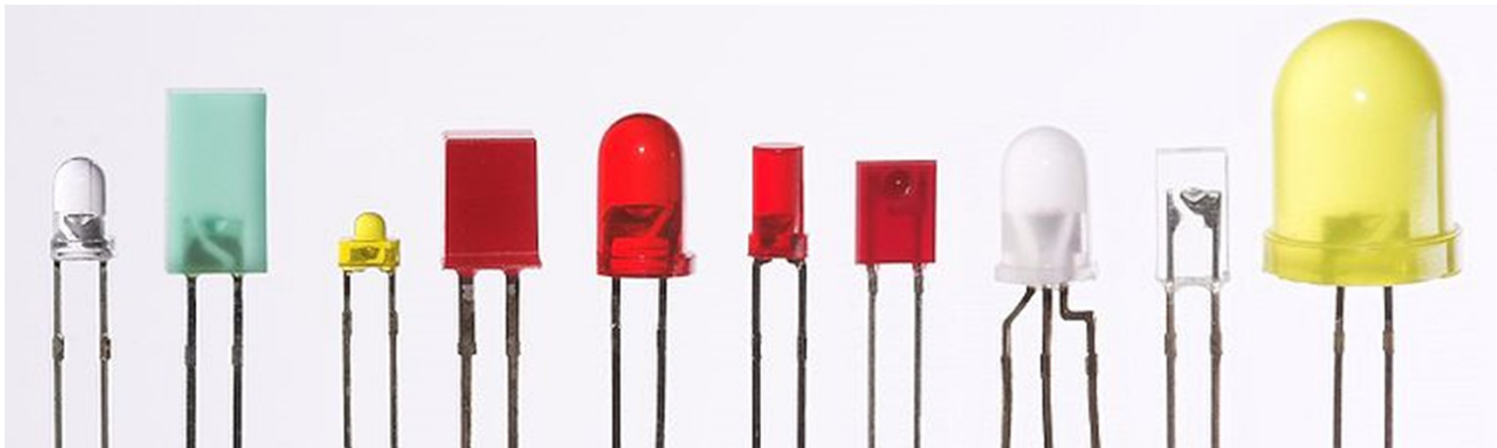
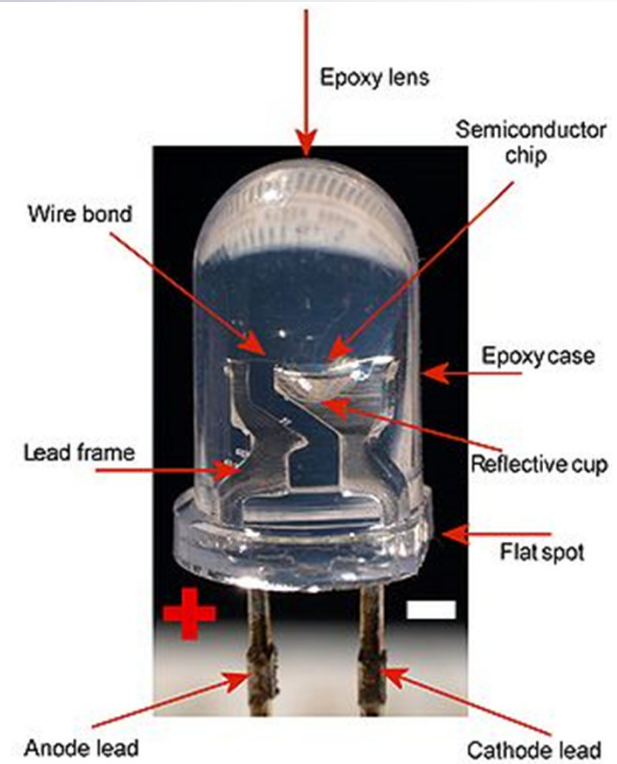
Zelena = (0,1,0)

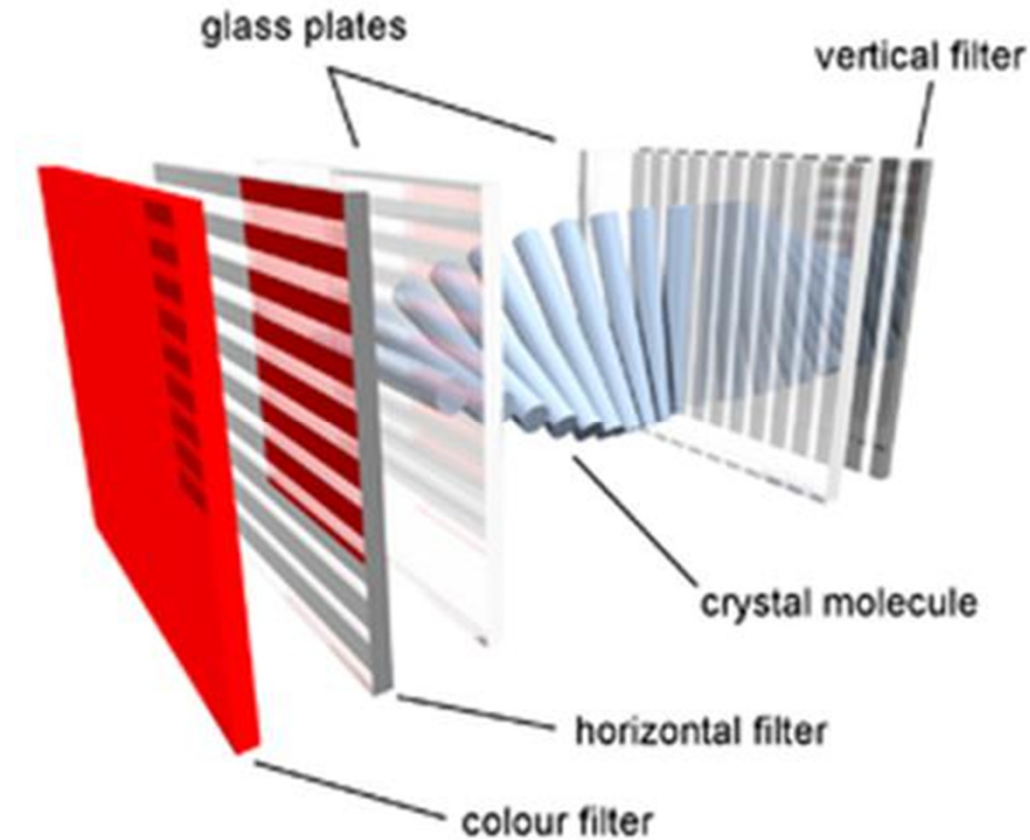
Plava = (0,0,1)

...

LED

- Direktan pogled
- Izvor pozadinskog svjetla





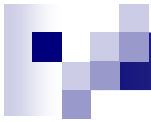
LCD: backlit

LCD (engl. *Liquid Cristal Display*) tehnologija je danas potpuno istisnula iz upotrebe CRT ekrane računara. Također, usljed pada cijene, LCD ekrani su potpuno zamijenili klasične CRT televizore.



LCD ekrani

- Tečne kristale otkrio je 1898. godine austrijski botaničar Friedrich Reinitzer. Provodio je eksperimente sa supstancom koju danas poznajemo pod nazivom "holesteril benzoat" (*cholesteryl benzoat*).
- U 1930-im godinama evropski naučnici su već potpuno shvatili fiziku i hemiju tečnih kristala, ali je trebalo proći još mnogo vremena do prvih funkcionalnih prototipova ekrana koje je razvila američka firma RCA 1968. godine.



Princip rada LCD ekrana

1/2

- LCD uređaji su pasivnog tipa, što znači da ne emitiraju svjetlost, već koriste svjetlo iz okoline. Pri svom radu troše vrlo malo snage pa ih vrlo često susrećemo kod prenosivih uređaja gdje su dimenzije i potrošnja ograničeni.
- Tečni kristal je organska tvar koja se nalazi u tečnom obliku, a molekularne je strukture poput kristala. Njegove molekule normalno se nalaze u paralelnim redovima, a električnim poljem se može utjecati na njihovu orijentaciju.
- Tečni kristal se nalazi između dvaju paralelnih ploča na čijim se površinama nalaze izbočene paralelne linije. Ploče su međusobno zakrenute za 90° tako da su paralelne linije jedne ploče okomite na linije druge ploče. Molekule tečnog kristala prilagođavaju se položaju linija na pločama, a svjetlost koja prolazi kroz takav medij također se zakreće za 90° . Ako se tečni kristal stavi pod utjecaj električnog polja, njegove molekule mijenjaju orijentaciju. Svjetlost koja sada prolazi kroz taj medij ostaje nezakrenuta.

Princip rada LCD ekrana

2/2

- Prije i poslije tečnog kristala nalaze se dva polarizirajuća filtera međusobno zakrenuta za 90° . Kada je električno polje isključeno, svjetlost koja prolazi kroz tečni kristal se zakreće za 90° i nesmetano prolazi kroz oba filtera. Kada električno polje djeluje na kristal, ne dolazi do zakretanja svjetlosti pa ona ostaje blokirana drugim polarizirajućim filterom.
- Postoje dvije izvedbe upravljanja LCD-om: pomoću aktivne ili pomoću pasivne matrice. Pasivna matrica (engl. *passive matrix*) se sastoji od dva sloja električnih vodova. Jedan sloj je postavljen vodoravno, a drugi okomito tako da se sijeku pod pravim uglom. Između ta dva sloja nalazi se tečni kristal. Odabirom jednog vodoravnog i jednog okomitog voda adresira se tačno jedna određena tačkica te se kroz nju propušta određena količina svjetlosti ovisno o naponu priključenom između ta dva voda.
- Aktivna matrica je građena slično poput pasivne matrice. Razlika je u tome što se kod aktivne matrice kod sjecišta okomitih i vodoravnih linija koriste mali tranzistori (engl. *Thin Film Transistor – TFT*) i kondenzatori. Tranzistori rade kao sklopke, a kondenzatori imaju ulogu da ih drže otvorenim između dva ciklusa osvježavanja ekrana. Na taj način tranzistori reguliraju napon koji djeluje na tečni kristal kao što je to maloprije objašnjeno.



LCD ekrani

Najvažnije tehničke karakteristike

■ Veličina ekrana

- Dužina stvarne dijagonale ekrana u inčima

■ Rezolucija

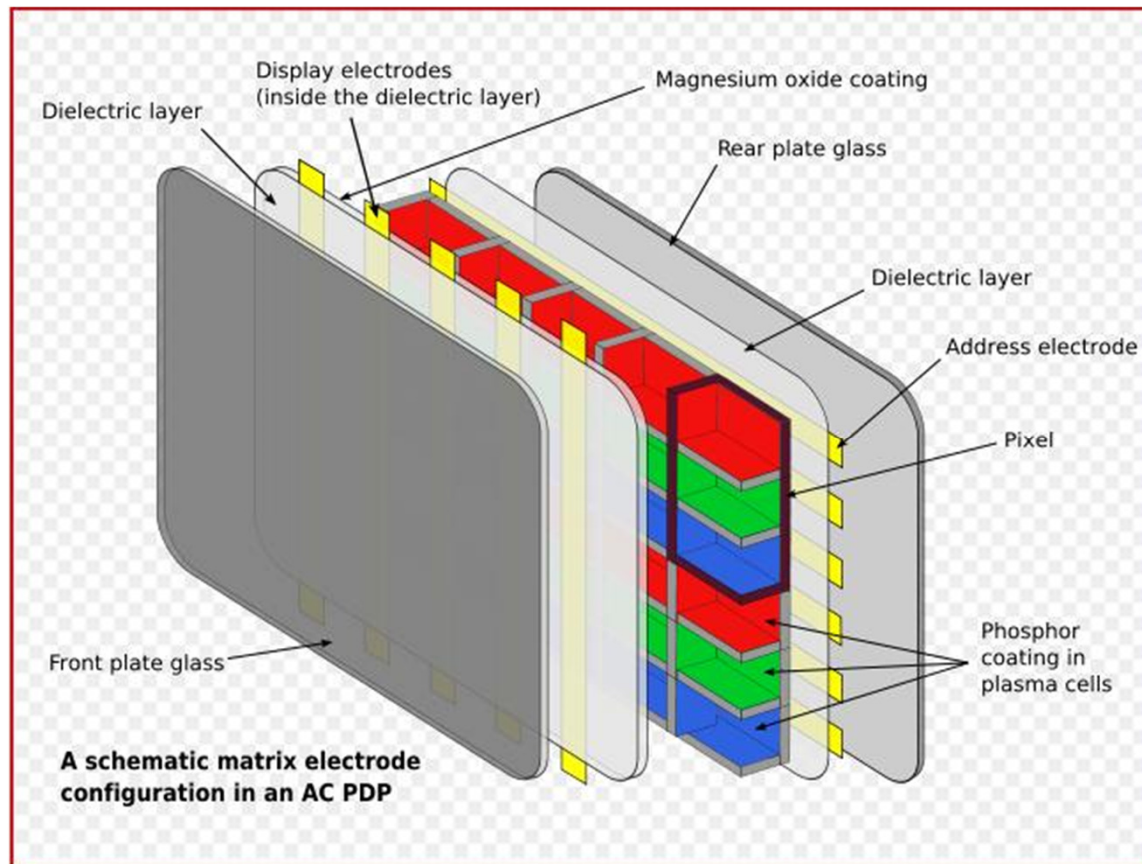
- LCD ekrani se uvijek izrađuju tako da budu prilagođeni radu u određenoj rezoluciji jer sadrže određeni broj tečnih kristala, npr. 15" LCD će biti prilagođen rezoluciji od 1024x768 piksela.
- Ako se koristi manja rezolucija, dio ekrana će biti crn ili će slika biti rastegnuta preko cijelog ekrana

■ Frekvencija osvježavanja

- Zbog drugačije tehnologije nego što je kod CRT ekrana, bolje je imati manju frekvenciju osvježavanja, jer se može dogoditi da slika treperi

■ Ugao gledanja

- Ograničen vidni ugao



Plazma ekrani

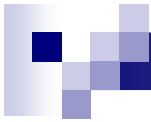
Plazma ekrani: emitiraju svjetlost; uskoro nestaju?

U staklu ekrana nalaze se mjehurići s gasom koji pod djelovanjem napona emitiraju svjetlost.



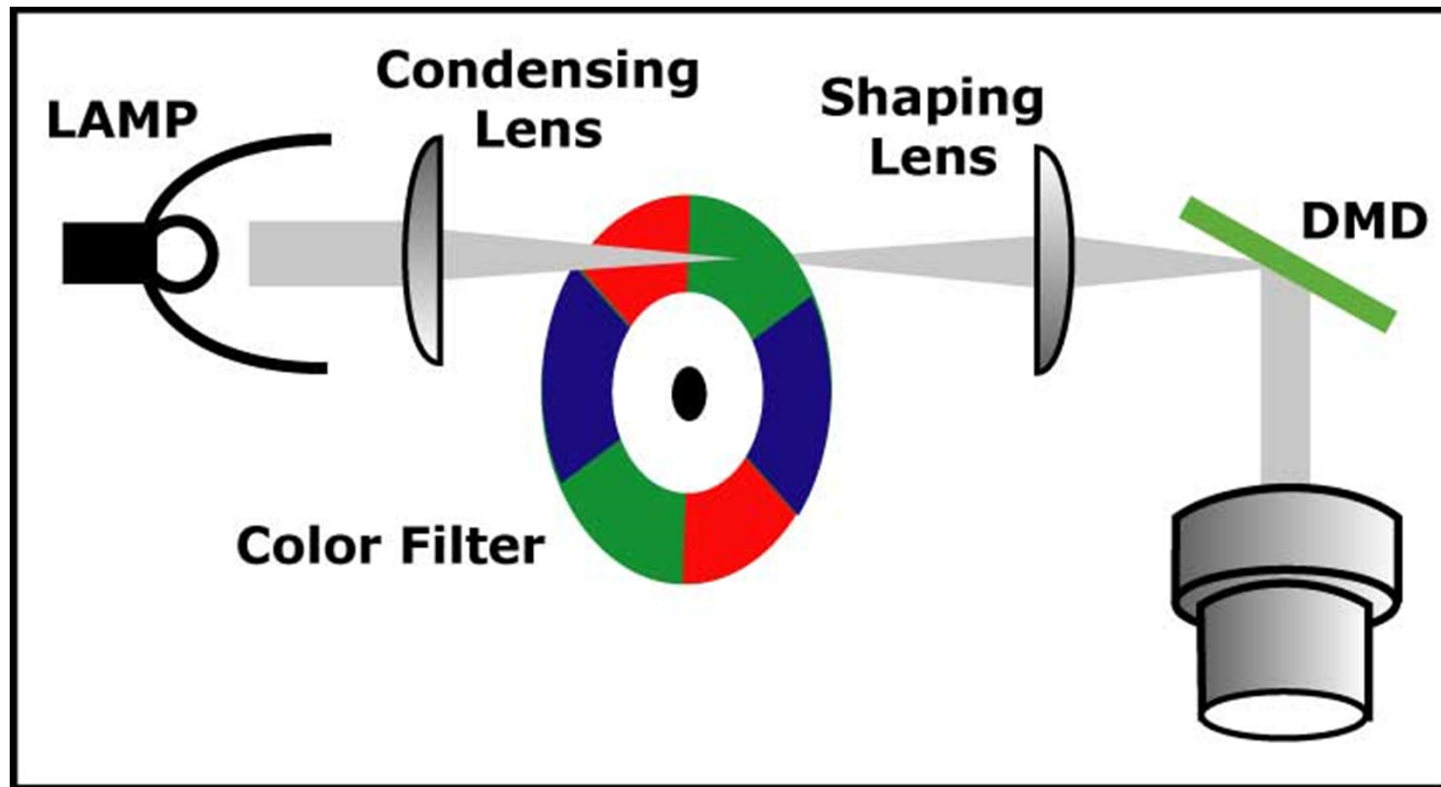
Plazma ekrani

- Plazma ekrani se sastoje od tri staklene ploče između kojih se nalazi plazma.
- Kada se kroz tačku na ekranu propusti električna struja, plazma emitira energiju u vidu narandžaste svjetlosti, baš kao što i fluorescentne cijevi emitiraju bijelu svjetlost.
- Plazma ekrani se upotrebljavaju kod prijenosnih računara, jer su veoma tanki i ne zamaraju oči. Pošto im veličina nije ograničena, u plazma tehnologiji mogu se izraditi veliki zidni ekrani.
- Plazma ekrani troše mnogo energije i ne mogu prikazati mnogo boja, što su im glavni nedostaci.



Digitalna obrada svjetlosti

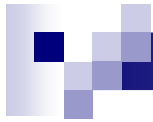
- Za digitalnu projekciju
- Potpuno digitalna tehnologija
- Nema A/D konverzije, odnosno gubitka signala
- Kvalitet slike ne opada s vremenom, kao kod LCD tehnologije
- Rešetka slike nije vidljiva (kao kod LCD projektora)
- Visoke vrijednosti kontrasta (2000:1)
- Prikaz potpuno crne/bijele boje
- Manja osjetljivost na utjecaj prašine, vlage i toplote



Digital Micromirror Device

Slika se stvara pomoću niza mikroogledala.

http://www.dlp.com/includes/video_demo.aspx

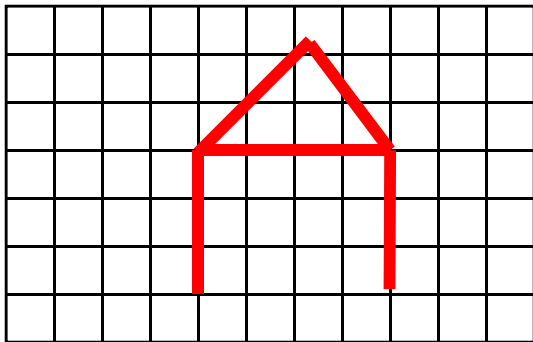


Kompromisi

- Prednja projekcija
- Pozadinska projekcija
- Direktan pogled
- Backlit
- Maksimalna osvijetljenost
- Nivo crne boje
- Kontrast
- Osvijetljenost ekrana
- Artefakti kretanja
- Starenje
- Maksimalna rezolucija
- Debljina
- Težina
- Potrošnja energije

Redoslijed proizvoljnog scana

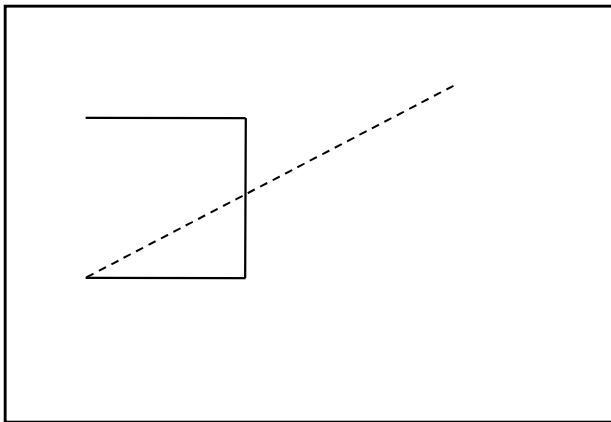
- Zastarjeli način: Nema piksela – elektronski top crta pravce od lokacije do lokacije na ekranu (vektorska grafika)



Također poznat kao kaligrafski displej, uređaj s proizvoljnim skeniranjem (engl. *random scan device*), uređaj za vektorsko crtanje

Koristi ili **prikaznu listu** ili **storage tube** tehnologiju.

Vektorska grafika



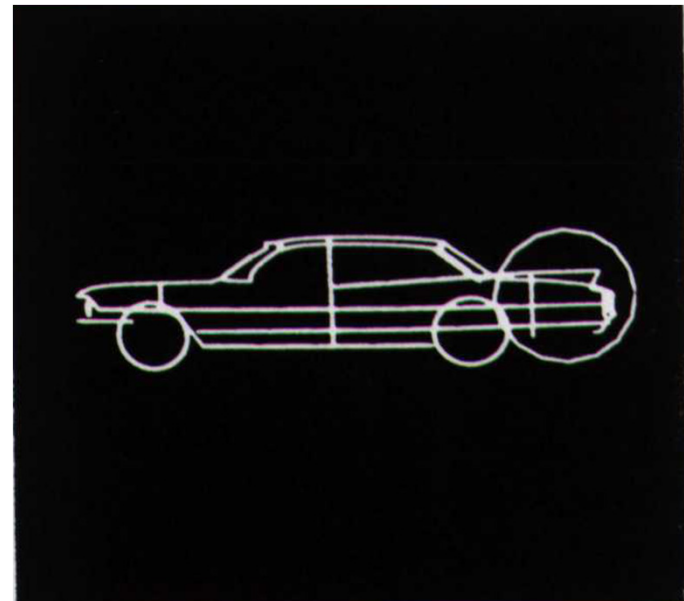
Prikazna lista

Move (100,200)

Draw (200,200)

Draw (200,100)

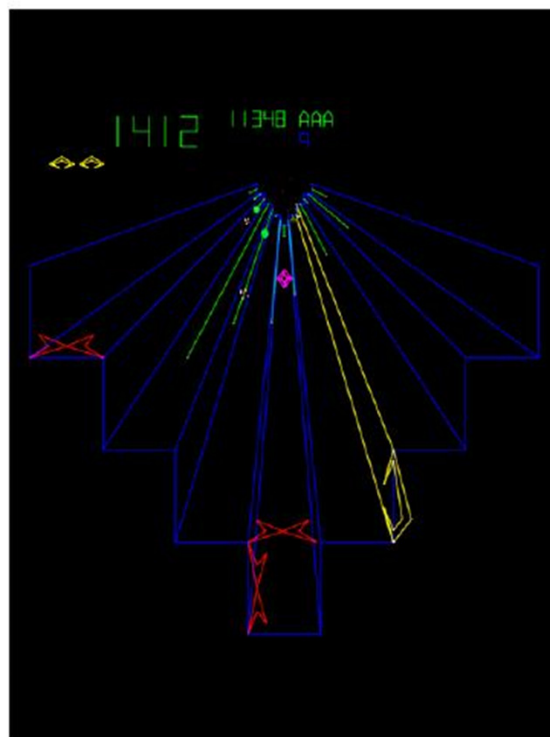
Draw (100,100)



Vektorski prikazi



Asteroidi, 1979



Tempest, 1981

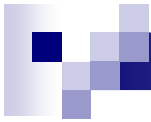


Ratovi zvijezda, 1983



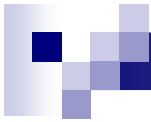
Vektorski prikazni sistem

- Vektorski prikazni sistemi razvijeni su sredinom 1960-ih godina i bili su u upotrebi do sredine 1980-ih.
- Vektorski prikazni sistem se sastoji od:
 - Prikaznog procesora (engl. *display processor*), priključen kao ulazno/izlazna periferna jedinica na centralni procesor CPU
 - Prikaznog buffera (engl. *display buffer memory*)
 - CRT-a
- Buffer pohranjuje *prikaznu listu* (ili prikazni program) dobijenu od računara.
- Prikazna lista sadrži naredbe za crtanje tačaka, linija zadatih pomoću (x,y) ili (x,y,z) koordinata krajnjih tačaka, i karaktera. Na kraju prikazne liste je naredba JMP (skok) koja upućuje prikazni procesor na početak liste.



Vektorski prikazni sistem

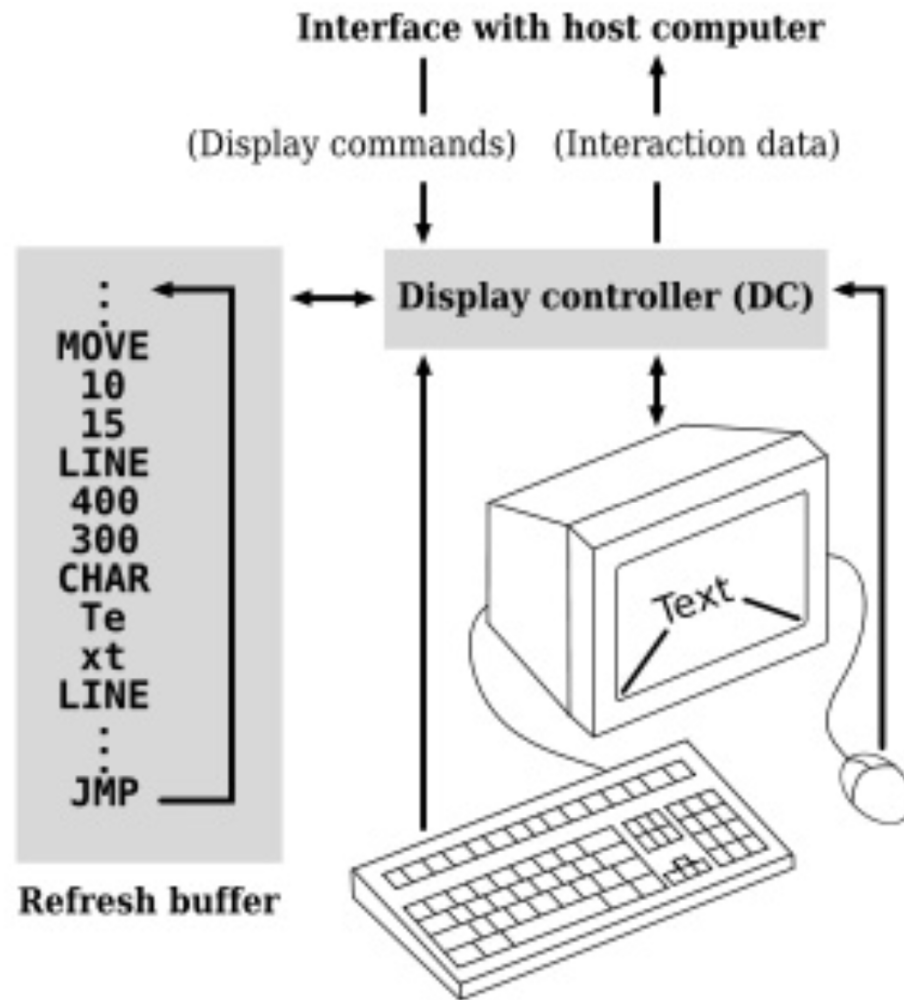
- Naredbe za crtanje tačaka, linija i karaktera interpretira prikazni procesor.
- Elektronska zraka u ekranu otklanja se od jedne krajnje tačke do druge, prema proizvoljnom redoslijedu naredbi iz prikazne liste.
- Zbog brzog raspada svjetlosnog signala na ekranu, prikazni procesor mora ciklično ponavljati naredbe iz prikazne liste frekvencijom od najmanje 30 puta u sekundi (30 Hz) da bi se izbjeglo titranje. Na taj se način stvara privid mirne slike jednolikog intenziteta na fosfornom ekranu koji zadržava osvjetljenost u desetinama ili stotinama mikrosekundi.
- Prikazni buffer se zbog toga još naziva i buffer za obnavljanje.
- 1960-ih godina memorija i procesori potrebni za obnavljanje grafike frekvencijom od 30 Hz su bili preskupi, a moglo se prikazati samo nekoliko hiljada linija bez titranja.

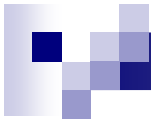


Vektorski prikazni sistem

- Krajem 1960-ih, *Direct-View Storage Tube* (DVST) je izbacila iz upotrebe buffer i sam proces obnavljanja.
- DVST pohranjuje sliku tako da je crta jednom relativno sporom elektronskom zrakom.
- Daleko je jeftiniji od sistema s obnavljanjem.
- Krajem 1960-ih je još i prikazni sistem spojen na jedan manji računar, čime je centralni računar oslobođen rada s grafikom.
- U to vrijeme sam prikazni procesor postaje sve sofisticiraniji, preuzimajući sve više posla od grafičkog softvera.
- 1968. godine je inoviran prikazni hardver s obnavljanjem za izvođenje geometrijskih transformacija.

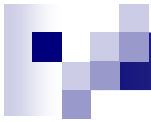
Arhitektura vektorskog prikaznog sistema





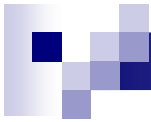
Rasterski prikazni sistem

- Ranih 1970-ih godina razvija se jeftina rasterska grafika bazirana na televizijskoj tehnologiji – najviše doprinijela razvoju računarske grafike.
 - Rasterski prikazni sistem pohranjuje primitive za prikazivanje
 - linija
 - karaktera
 - osjenčenih površina ili površina s uzorkom
- u buffer za obnavljanje (engl. *refresh buffer*) kao niz piksela.



Rasterski prikazni sistem

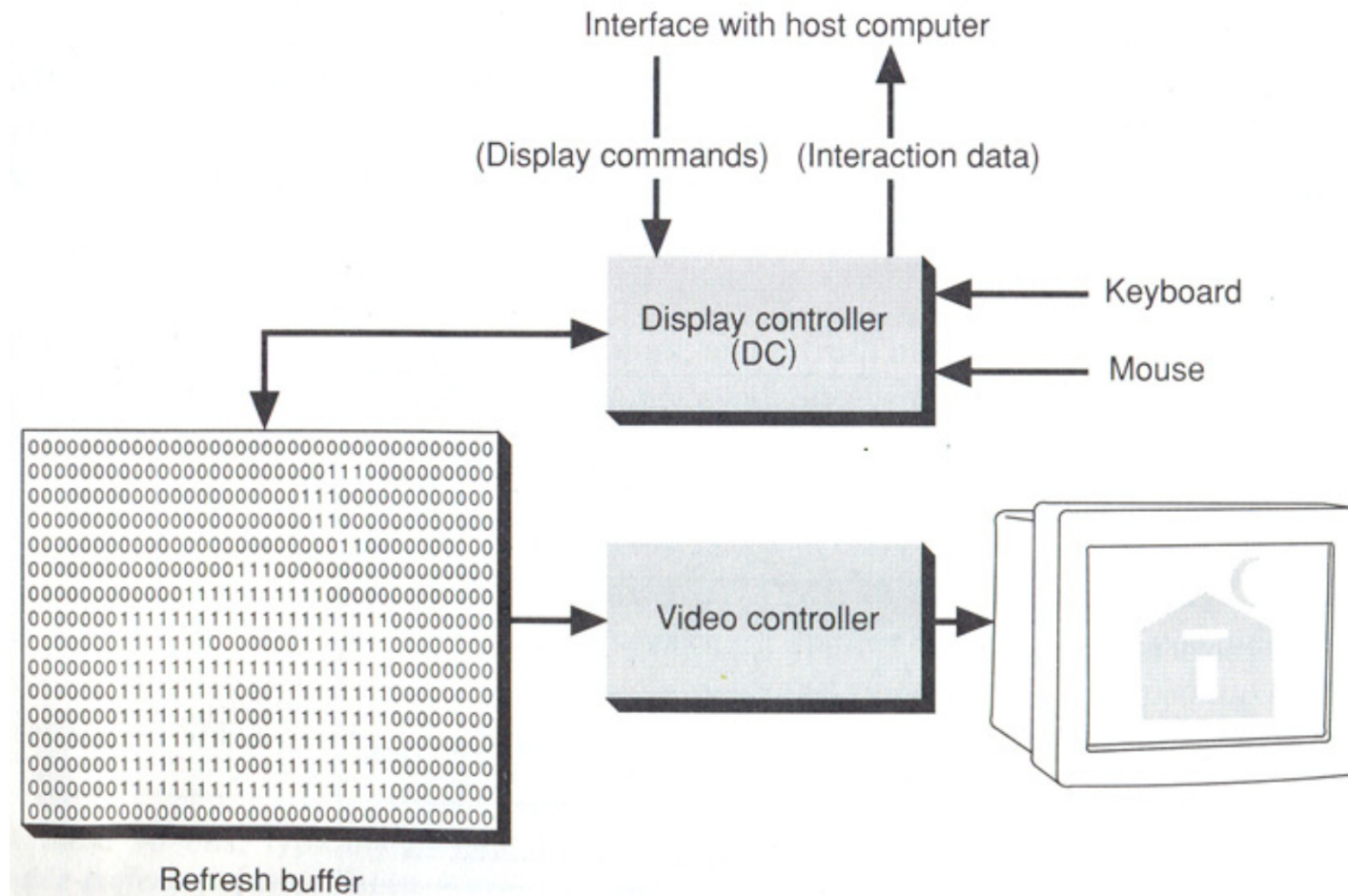
- Potpuna slika se formira iz rastera.
- **Raster je skup vodoravnih rasterskih linija pri čemu svaka od njih predstavlja red pojedinačnih piksela. Raster se pohranjuje kao matrica piksela koji predstavljaju cijelo područje ekrana.**
- Slika se iscrtava liniju po liniju, od vrha prema dnu, pa ponovo od vrha, itd.




Rasterski prikazni sistem

- Kod monohromatskog ekrana vrijednost svakog piksela određuje intenzitet zrake.
 - Pamti se 1 bit po pikselu.
- Kod ekrana u boji svaki piksel ima tri komponente koje određuju intenzitet boje: **crvena (R)**, **zeleni (G)** i **plavi (B)**.
 - Pamti se od 8 bitova (256 boja) do 32 (4 milijarde boja) bita po pikselu za kodiranje boja.
- Frekvencija osvježavanja je nekada bila 30 Hz, a danas je 60 Hz i više.
- Osvježava se cijela slika definirana *bitmapom* – jeftinija izvedba.
- Izraz *bitmapa* se koristi za monohromatske ekrane: 1 bit po pikselu.
- Za ekrane u boji koristi se izraz *piksmapa*.

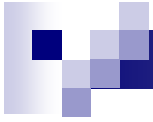
Arhitektura rasterskog prikaznog sistema





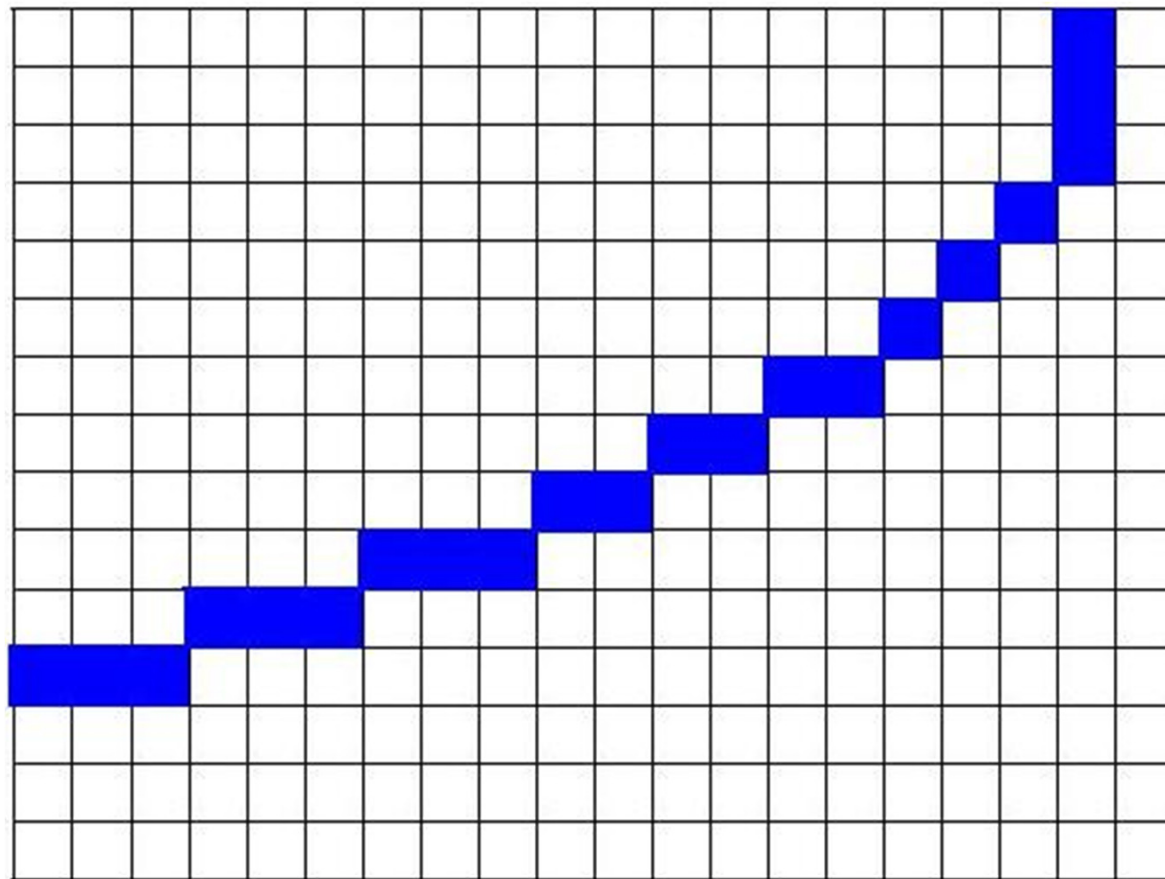
Usporedba vektorskog i rasterskog prikaznog sistema

- Prednosti rasterskog prikaznog sistema nad vektorskim:
 - Jeftina izvedba
 - Mogućnost prikaza površina ispunjenih bojom ili uzorkom
 - Obnavljanje je neovisno o kompleksnosti slike (o broju poligona, itd.)
- Nedostaci rasterskog prikaznog sistema u odnosu na vektorski prikazni sistem:
 - Primitivi (linije i poligoni) se moraju pretvoriti u diskretni oblik (engl. *scan-convert*) – skup piksela određene boje koji predstavljaju taj primitiv u bitmapi ili piksmapi
 - Nekontinualne i nazubljene linije – greške diskretizacije (*aliasing*)
 - Razvijaju se tehnike antialiasinga koje specificiraju intenzitet boje susjednih piksela na rubu primitiva



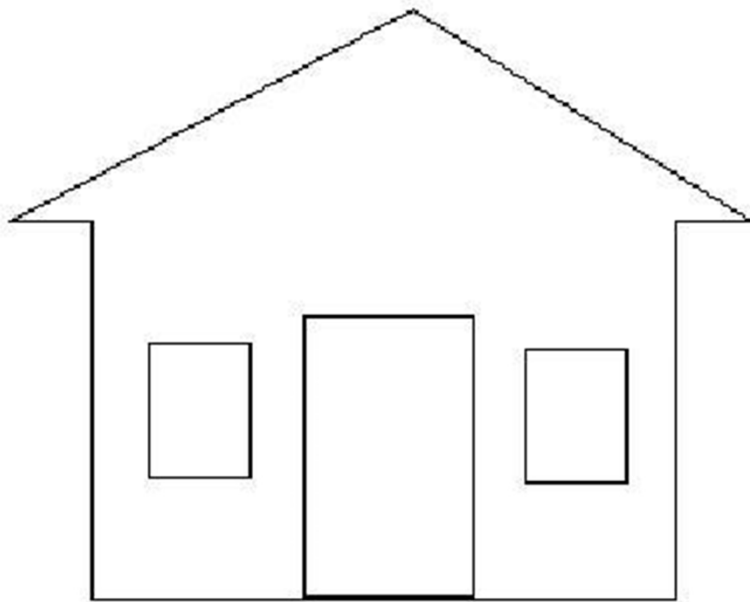
Problem aliasinga

1/2

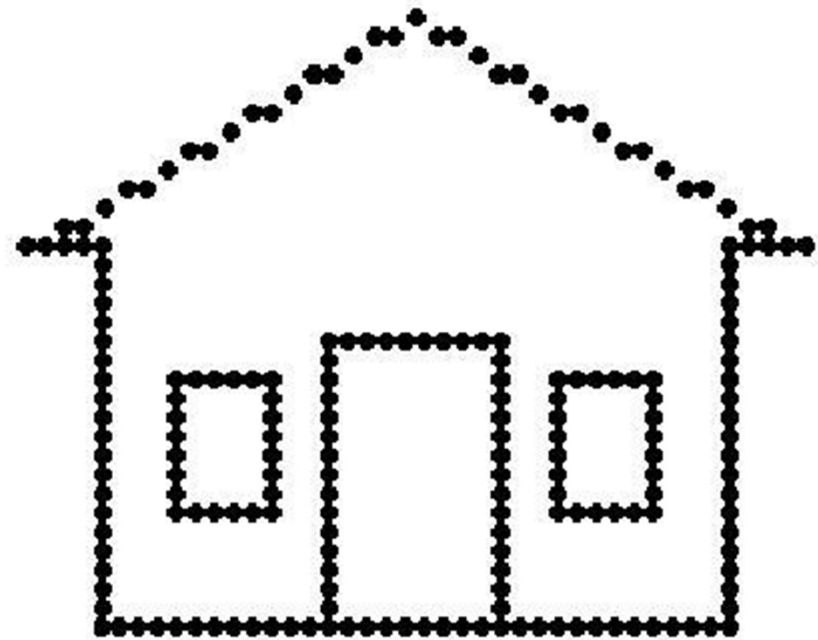


Problem aliasinga

2/2



Vektorska grafika

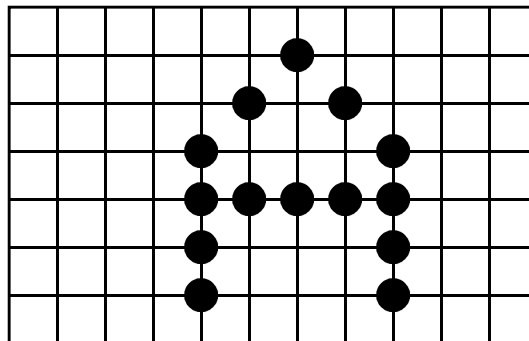


Rasterska grafika

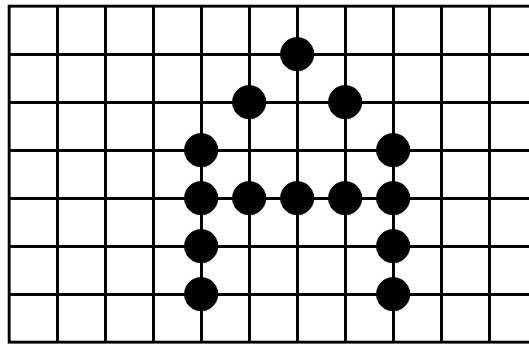
Rasterska prikazna grafika

Digitalni prikaz

- Baziran na (analognoj) raster-scan TV tehnologiji
- Ekran (i slika) se sastoji od diskretnih piksela, a svaki piksel ima jednu ili više fosfornih tačaka



Kako CRT crta sliku?

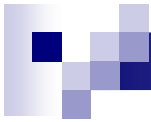


- Imamo samo jedan elektronski top, a mnogo piksela u slici mora biti istovremeno osvijetljeno...



Osvježavanje CRT-a

- **Osvježavanje** – elektronski top se mora "vraćati" da ponovo pogodi piksel prije nego što on nestane
- Prikladna brzina osvježavanja ovisi o svojstvima fosfornog premaza
Postojanost fosfora: vrijeme potrebno da emitirana svjetlost opadne na 1/10 prvobitnog intenziteta
- Tipična frekvencija osvježavanja: 60 – 80 puta u sekundi (Hz)
(Šta će se dogoditi ako je osvježavanje presporo ili prebrzo?)

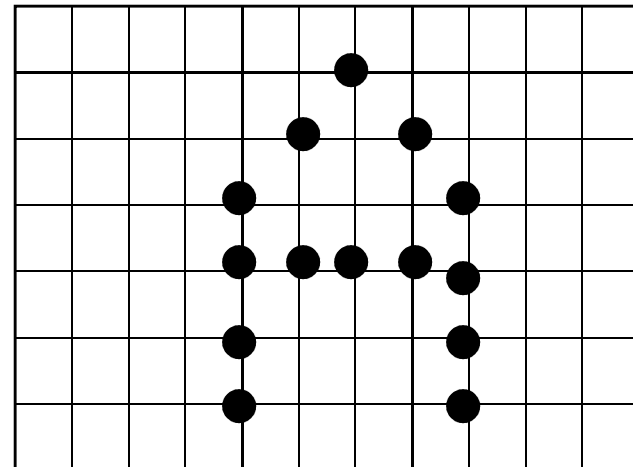
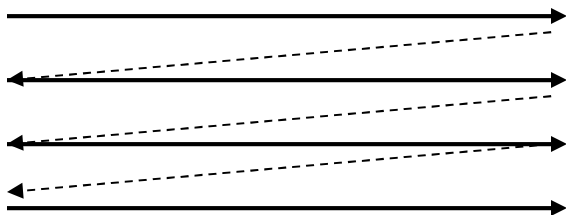


Framebuffer

- Framebuffer: memorija koja sprema vrijednosti intenziteta piksela
- Karakteristike framebuffera koje utječu na grafičku performansu su:
 - Veličina: rezolucija ekrana
 - Dubina: nivo boje
 - **1 bit/pikselu: crna i bijela boja**
 - **8 bitova/pikselu: 256 nivoa sive boje**
 - **24 bita/pikselu: 16 miliona boja**
 - Brzina: brzina osvježavanja

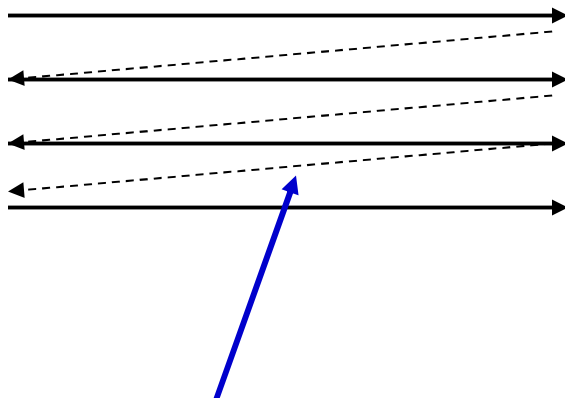
Redoslijed rasterskog scana

- Kako se to danas radi: elektronski top će skenirati preko piksela slijeva nadesno, odozgo prema dolje (scan liniju po scan liniju)

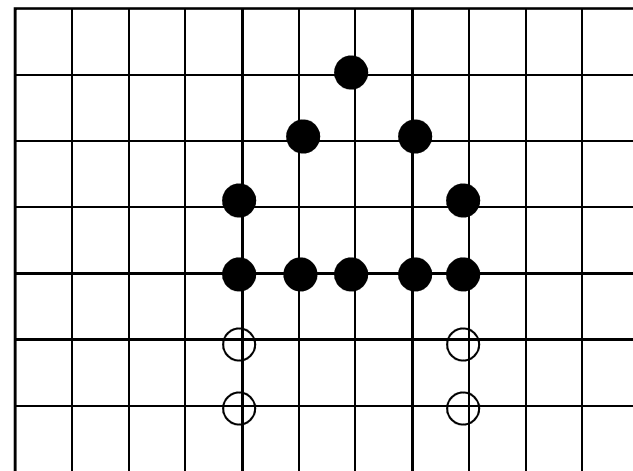


Redoslijed rasterskog scana

- Elektronski top će skenirati preko piksela slijeva nadesno, odozgo prema dolje (scan liniju po scan liniju)

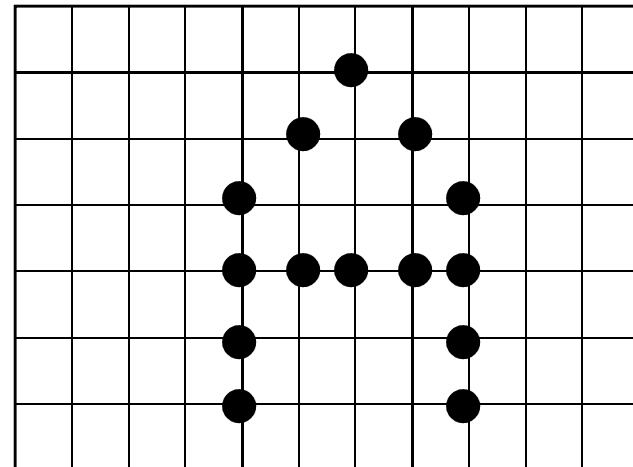
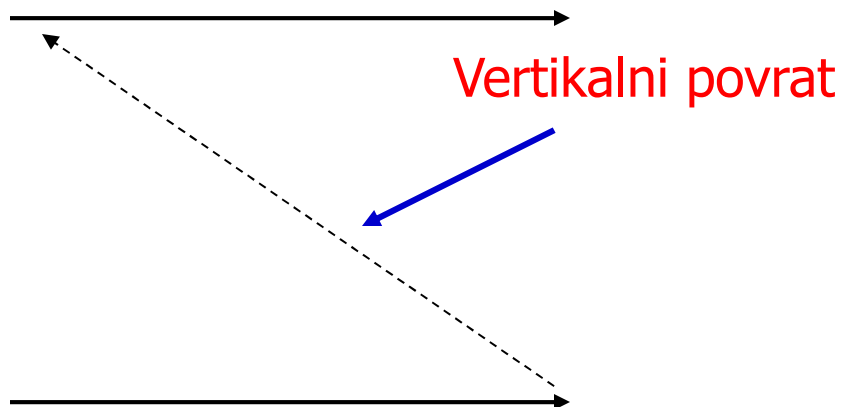


Horizontalni povrat



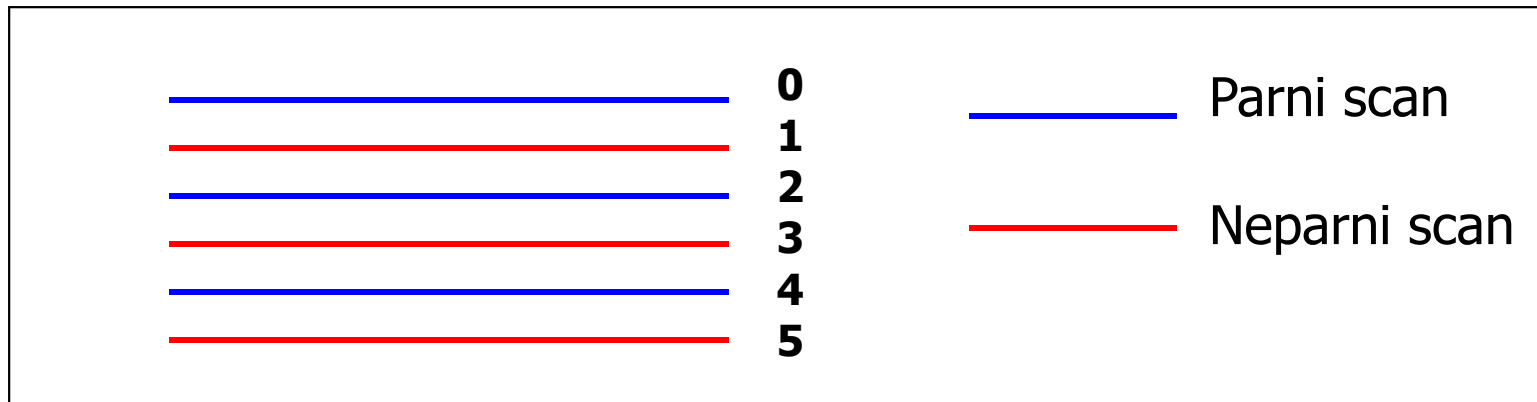
Redoslijed rasterskog scana

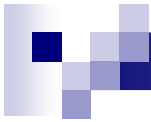
- Elektronski top će skenirati preko piksela slijeva nadesno, odozgo prema dolje (scan liniju po scan liniju)



Progresivni vs. prepleteni scan

- Progresivni scan (engl. *progressive scan*): Skenira se svaka scan linija
- Prepleteni scan (engl. *interlaced scan*): Skenira se samo svaka druga scan linija (parni scan → neparni scan → parni scan → neparni scan...) tako da frekvencija osvježavanja postaje dvostruko veća



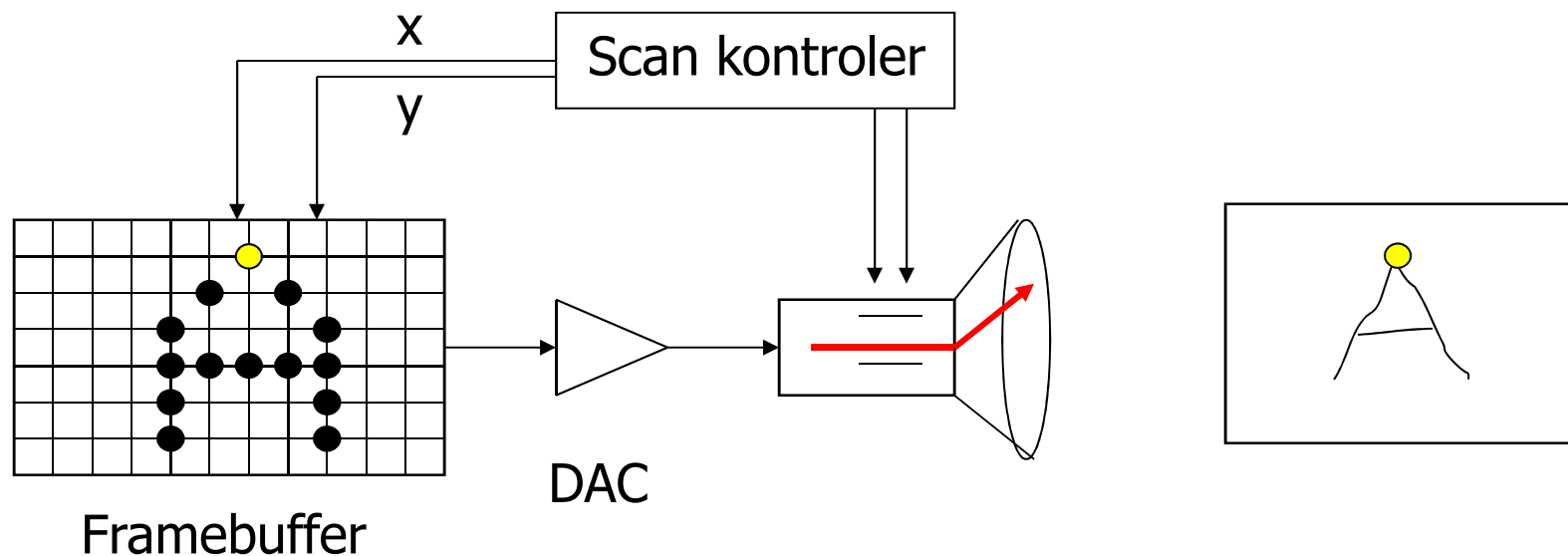


Standardi

- NTSC: Prepleten, 525 linija, 59.94 Hz, 4:3
- DTV: Digitalna verzija NTSC-a, 480i, 4:3
- HDTV: uobičajeno 720p, 60 Hz, 16:9
- Blu-ray: 1080p
- Ostali standardi?

Kontrola rasterskog scana

- Scan kontroler (video adapter) i framebuffer





Funkcije scan kontrolera i konvertora

- Svaku instrukciju grafičkog programa (pohranjenu u sistemsku memoriju) izvršava centralna procesna jedinica (CPU), pohranjujući odgovarajuću vrijednost za svaki piksel u framebuffer.
- Scan kontroler (nije pod kontrolom programa) uzrokuje da framebuffer šalje svaki piksel preko konvertora na odgovarajuću fizičku lokaciju na prikaznoj površini.
- Konvertor uzima vrijednost piksela, npr. 01001011 i pretvara je u odgovarajuću vrijednost boje koja proizvodi obojenu tačku na prikazu.



Boja je skupa...

- Što više boje želimo, trebat će nam i više bitova za svaki piksel
- Primjer: Ako imamo ekran rezolucije 1024 x 1280 sa 24 bita po pikselu, koliki je framebuffer?

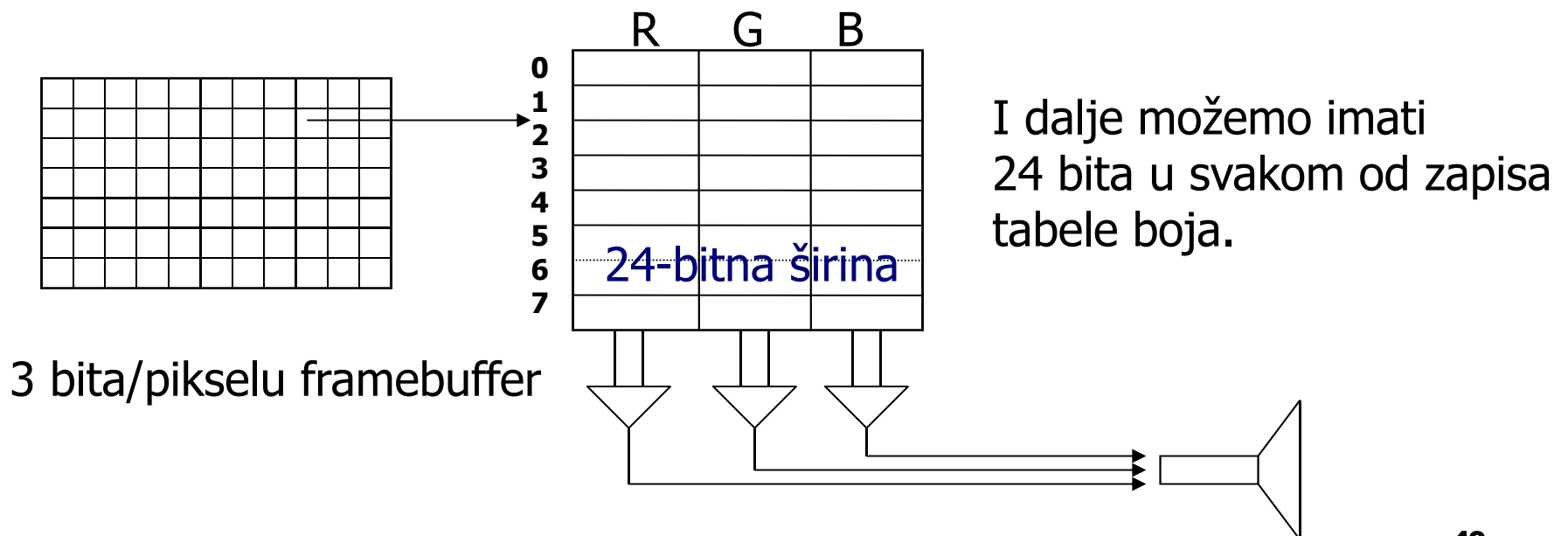
$$1024 \times 1280 \times 24 / 8 = 4 \text{ MB}$$

$$@30\text{fps} = 120 \text{ MB/sec}$$

Pretvorbena tabela boja

1/2

- Recimo da smo "siromašni"... Imamo samo 3 bita po pikselu
- Međutim, insistiramo na slikama visokog kvaliteta...
- Koristit ćemo pretvorbenu tabelu boja (engl. *Look Up Table – LUT*)



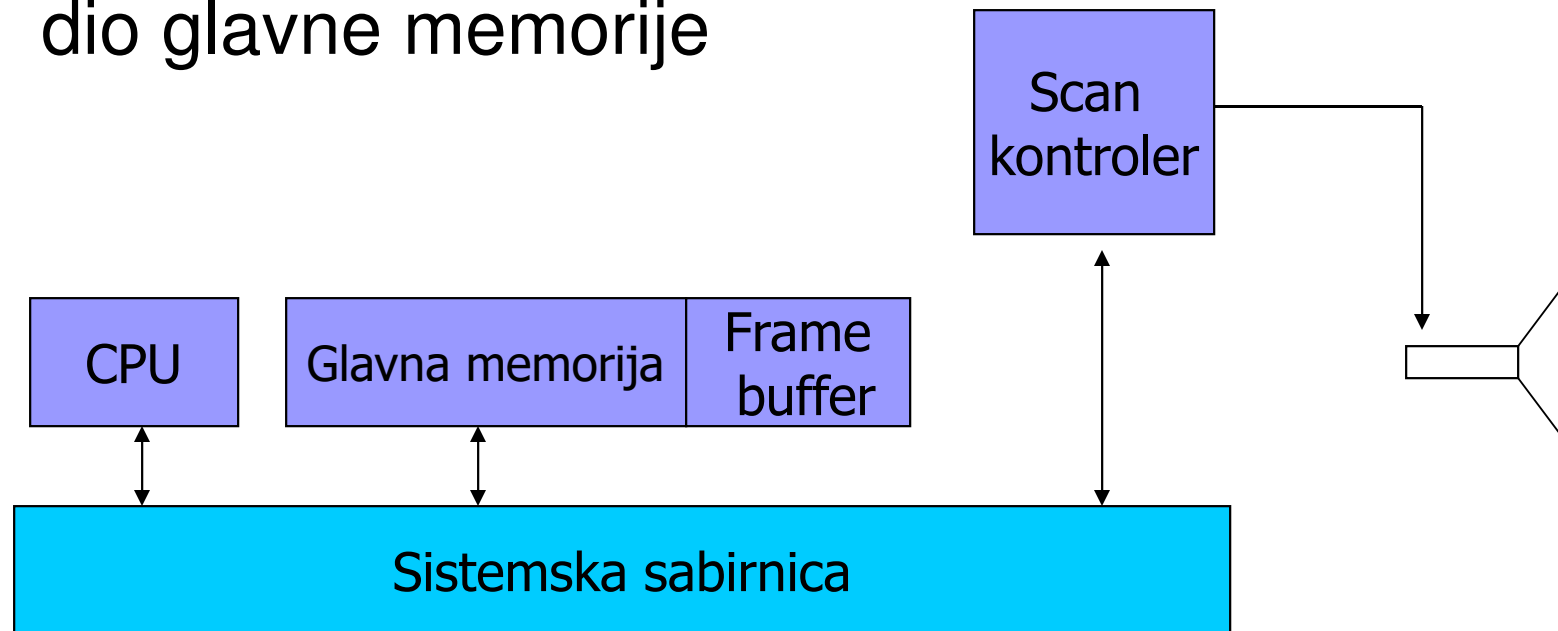


Pretvorbena tabela boja 2/2

- Pretvorbena tabela ima onoliko elemenata koliko ima različitih vrijednosti piksela.
- Vrijednost piksela ne koristi se direktno za upravljanje bojom piksela, nego predstavlja pokazivač u pretvorbenu tabelu.
- Pokazana vrijednost iz pretvorbene tabele upravlja zrakama koje određuju boju piksela na ekranu.
- Razlog korištenja pretvorbenih tabela je ušteda memorijskog prostora.

Jednostavan grafički sistem

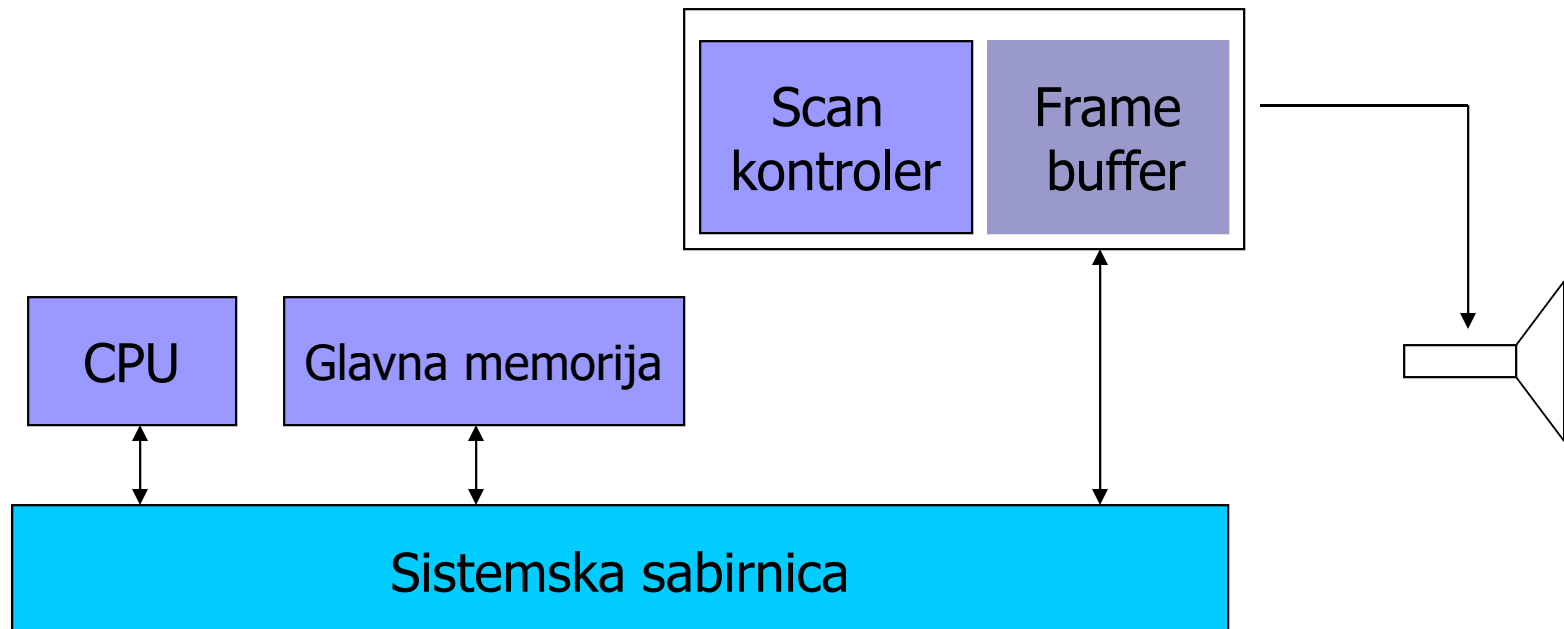
- Framebuffer može biti dio glavne memorije



Problem?

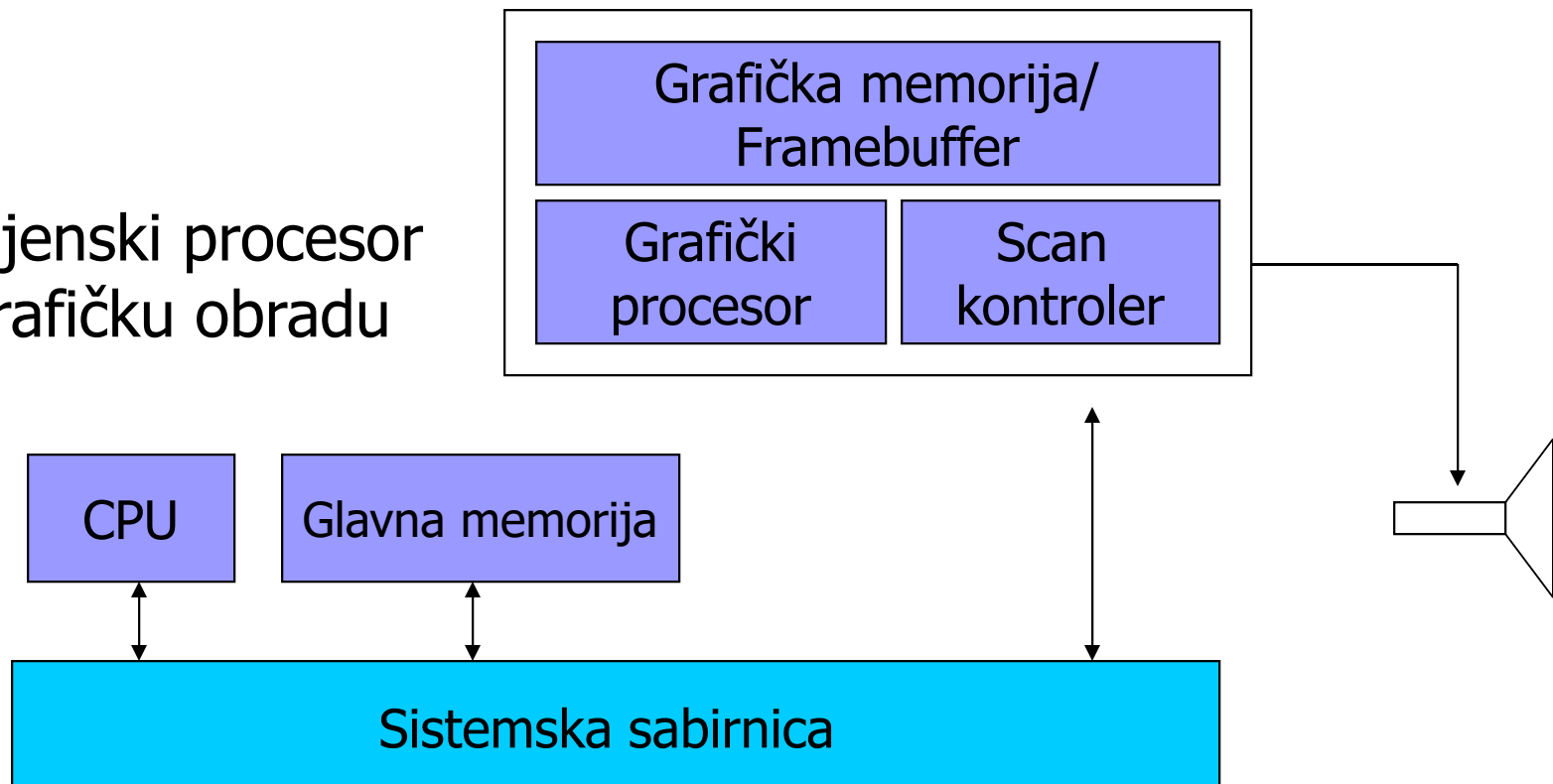
Namjenska memorija

- Video memorija: *on-board* framebuffer: mnogo brži za pristup



Grafički akcelerator

Namjenski procesor
za grafičku obradu



Grafički akcelerator



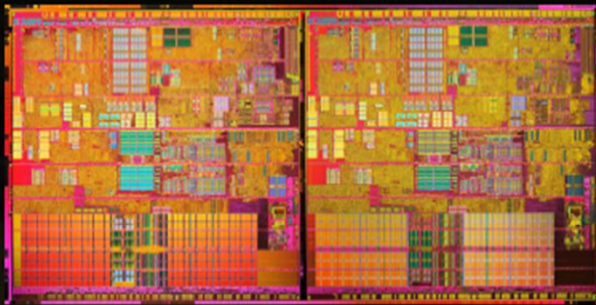
do you rely on your
graphics board
for productivity?



click here to find the
Oxygen and Permedia
accelerator that's right for you

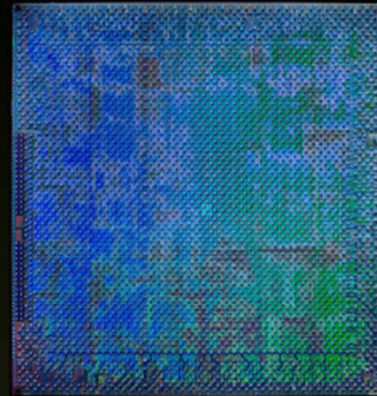


CPU-ovi vs. GPU-ovi



Pentium Extreme Edition 840

- 3.2 GHz Dual Core
- 230M Transistors
- 90nm process
- 206 mm²
- 2 x 1MB Cache
- 25.6 GFlops

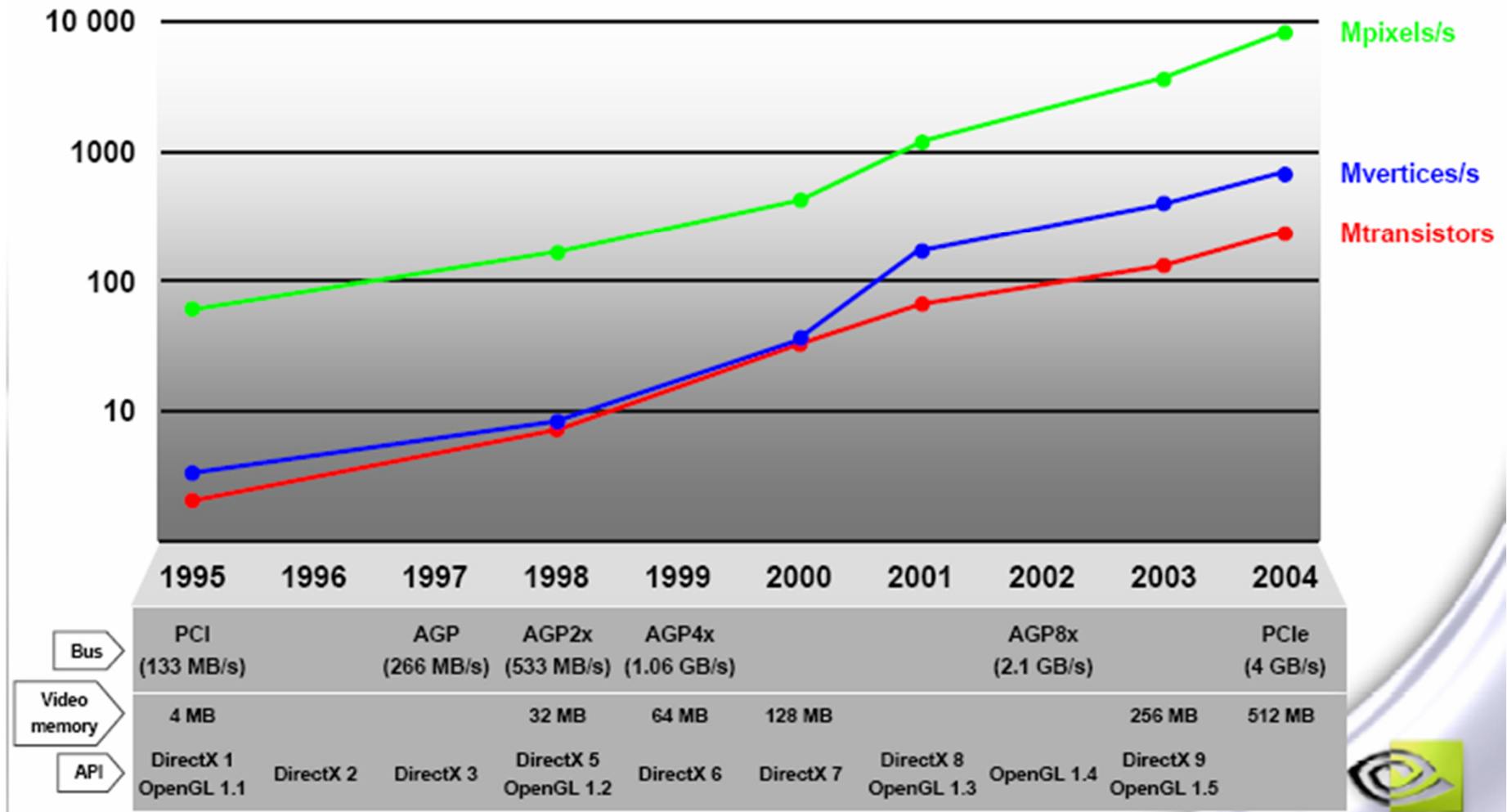


GeForce 7800 GTX

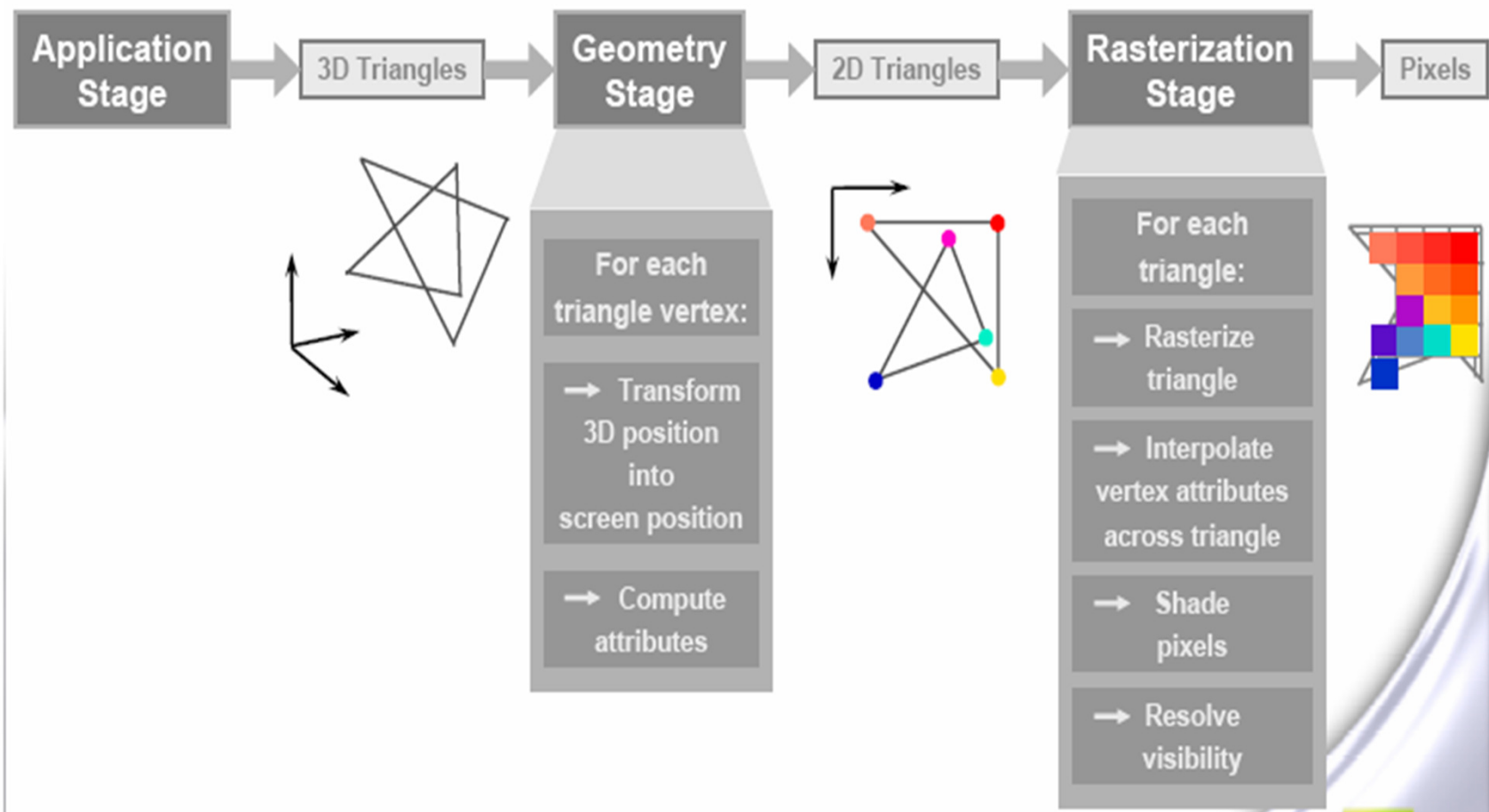
- 430 MHz
- 302M Transistors
- 110nm process
- 326 mm²
- 313 GFlops (shader)
- 1.3 TFlops (total)

Copyright © NVIDIA Corporation 2004

Evolucija performanse



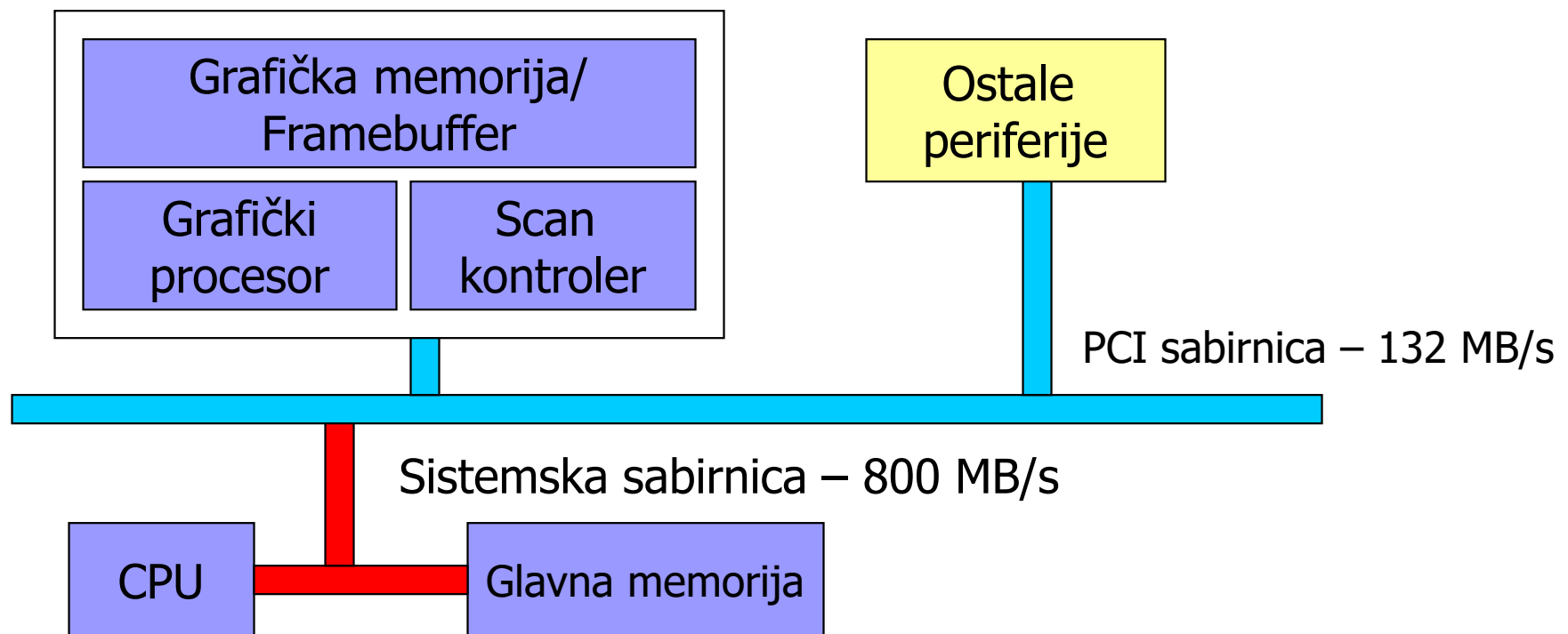
Grafički cjevovod

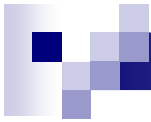


Interfejs grafičke sabirnice

1/2

■ PCI bazirana tehnologija





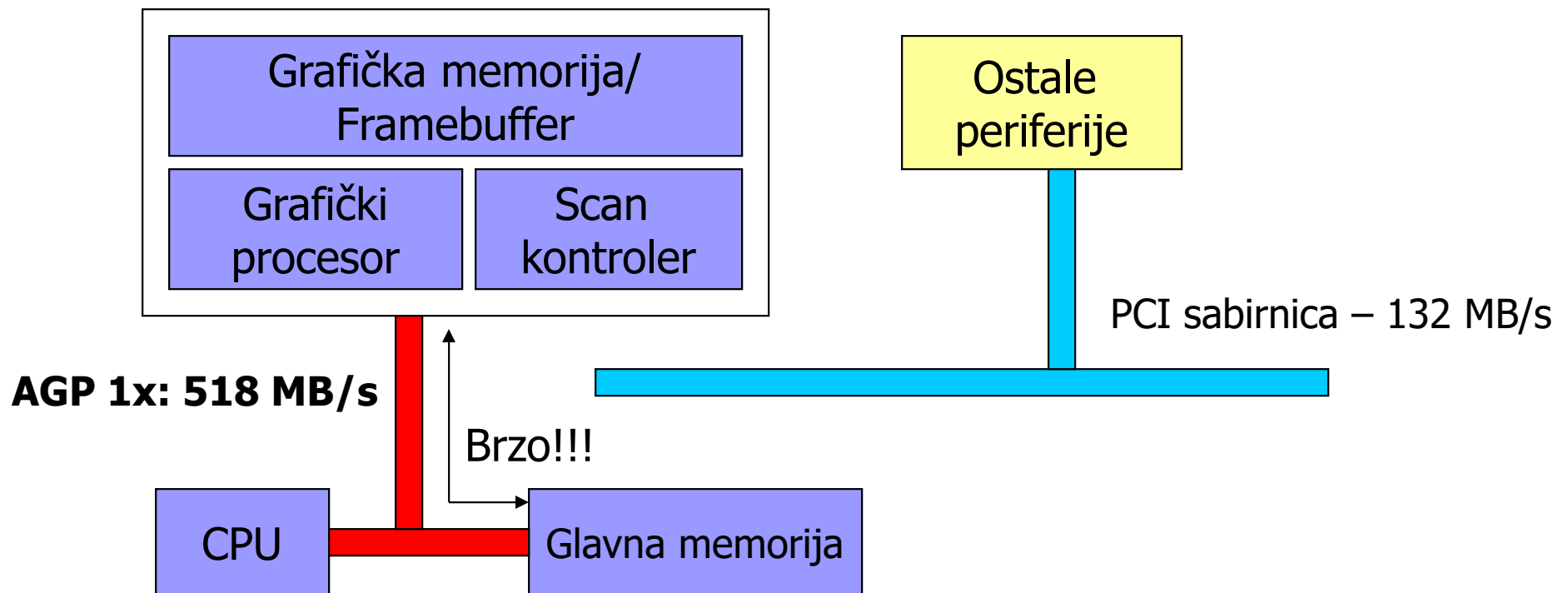
Interfejs grafičke sabirnice

2/2

- PCI sabirnica postaje usko grlo!
 - Mnogi uređaji koriste PCI sabirnicu
 - Postoji mnogo toga što treba biti preneseno iz glavne memorije u grafičku memoriju (geometrija, teksture, itd.)
 - Primjer: 2M trouglova, 90 bajta svaki trougao
→ 180 MB > 132 MB (propusnost PCI-a)

Akcelerirani grafički port

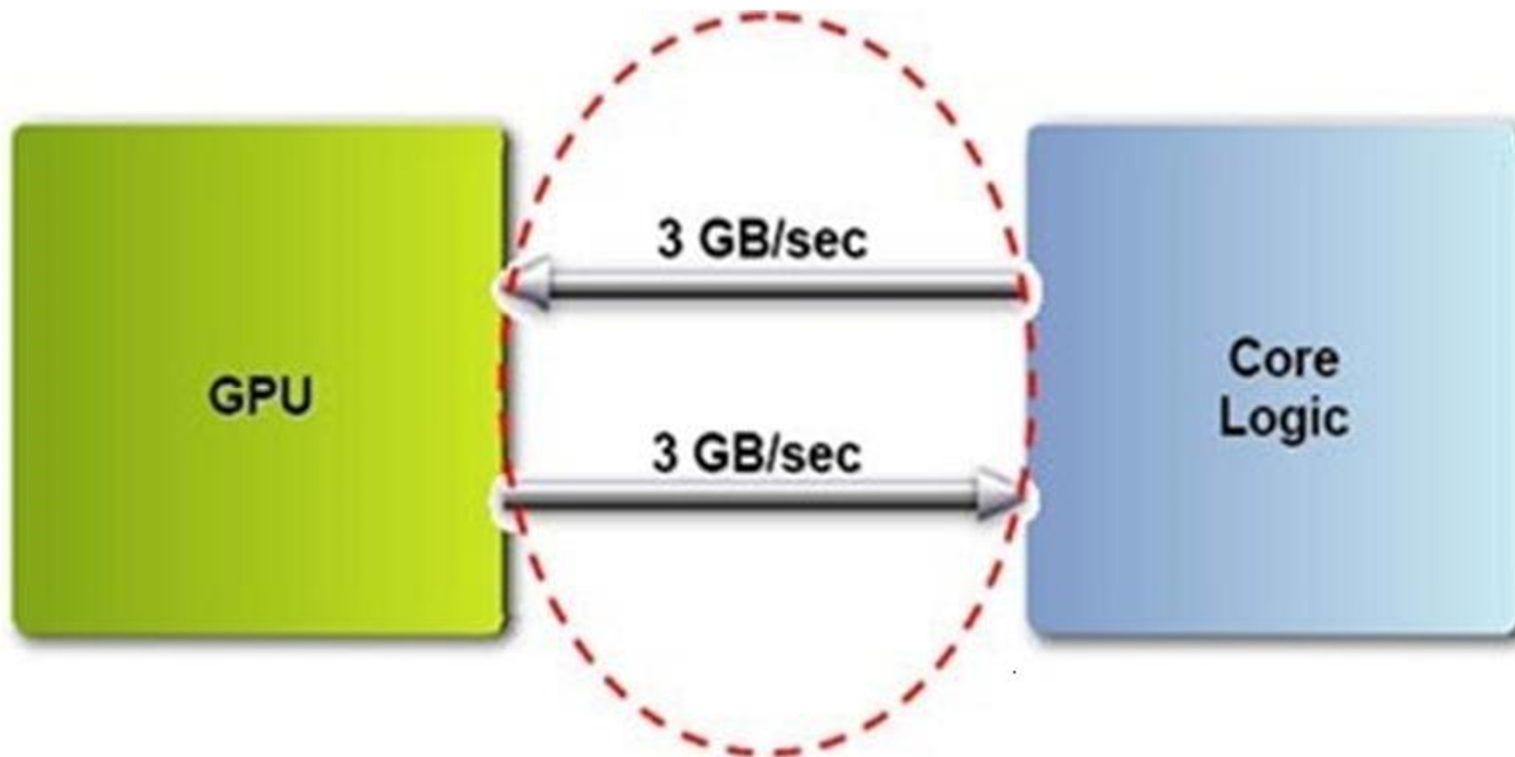
- Akcelerirani grafički port (engl. *Accelerated Graphics Port – AGP*) je namjenska sabirnica koja je omogućavala direktan pristup glavnoj memoriji





AGP

- AGP 1x bio je četiri puta brži u poređenju s PCI-om! Najbrža verzija, AGP 8x, imala je maksimalnu brzinu prijenosa podataka od 2 GB/s.
- Nema više zagušenja lokalne sabirnice!
- Može biti procesirano više geometrije!
- Direktno izvršavanje mnogih grafičkih operacija iz glavne memorije!
- Intel je 2004. godine odlučio ukinuti AGP port kako bi ga zamijenio PCI Express standardom.



PCI Express

PCI Express je najnoviji standard komunikacije između komponenti, predstavljen 2002. godine od strane Intel-a. Karakterizira ga veća brzina i propusnost od prijašnjih standarda (ISA, PCI, AGP). PCI Express je paralelna sabirnica. Prva verzija ovog standarda, PCI Express 1.0a, imala je propusnost od 2,5 GB/s u oba smjera. Trenutna verzija ovog standarda je PCIe 4.0, s brzinom prijenosa od 16 giga transfera u sekundi (GT/s).