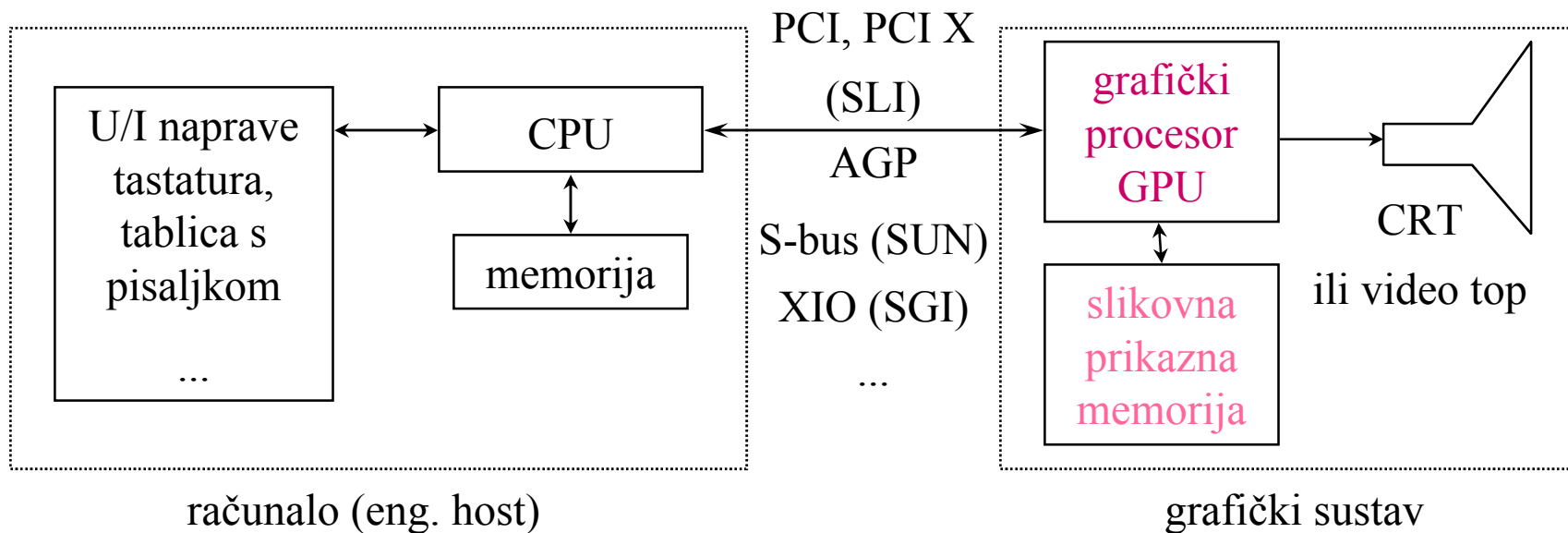


2 Računalna grafička oprema

- sklopovska grafička oprema
 - grafički procesor GPU
 - rasterska prikazna procesna jedinica
 - vektorska prikazna procesna jedinica
 - ulazne grafičke naprave
 - izlazne grafičke naprave
- programska grafička oprema
 - knjižnica grafičkih rutina
 - grafička jezgra načinjena u okviru standarda (API), jezici za sjenčanje
 - gotovi programski paketi
 - za crtanje - CAD, animacije
 - za prikaz podataka

2.1 SKLOPOVSKA GRAFIČKA OPREMA

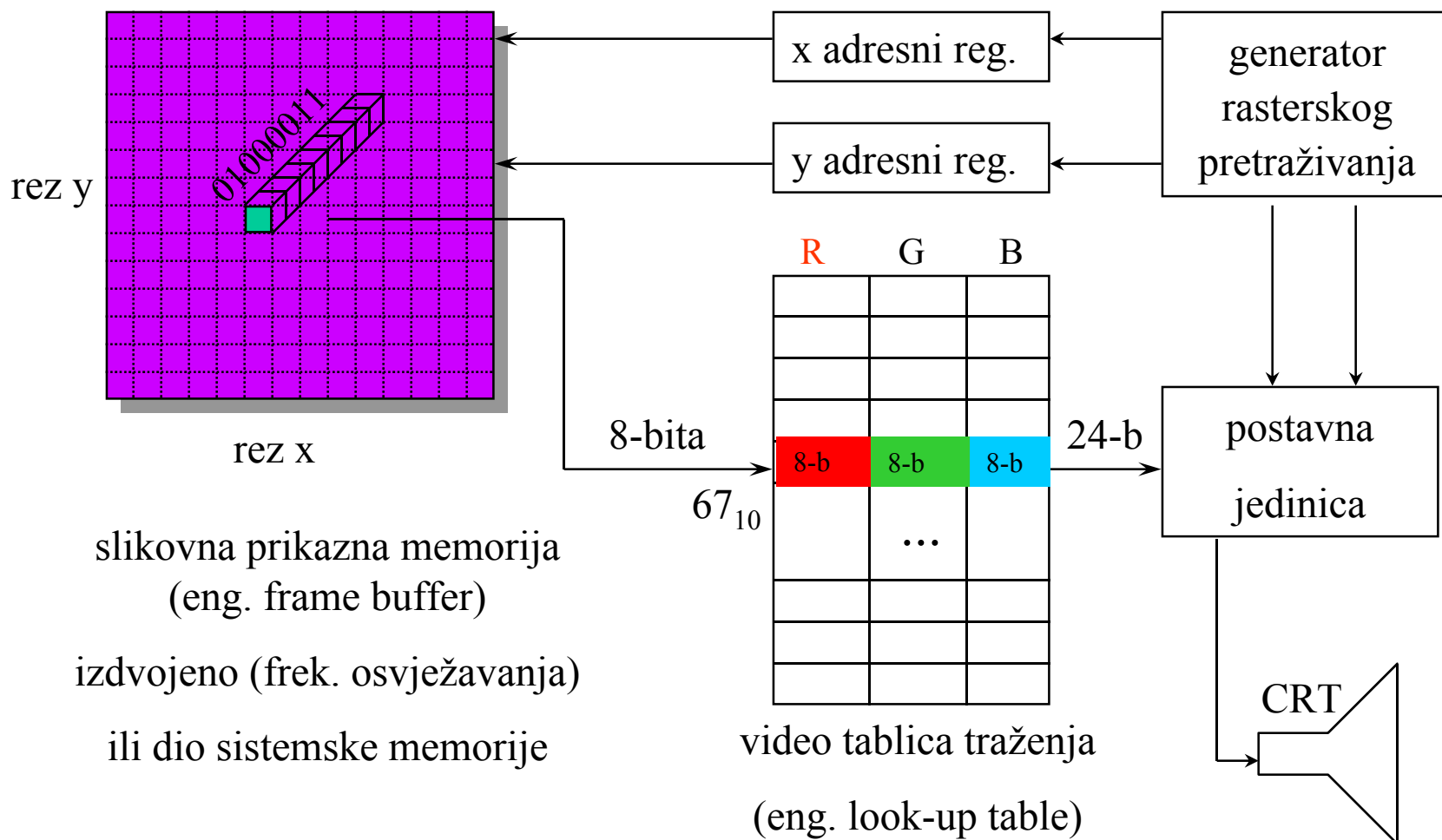
Povezanost grafičkog procesora s ostalim jedinicama sustava



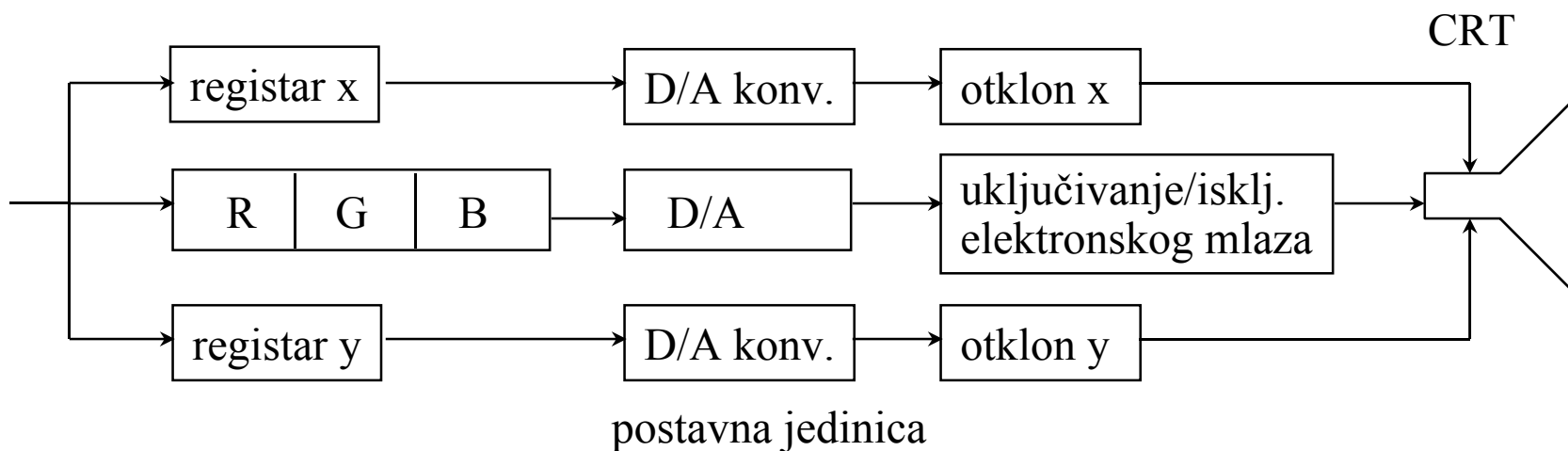
2.1.1 Grafički procesor GPU

Funkcija rasterske prikazne procesne jedinice

1, 4, 8, 24, 32, .. 256 bita



LUT applet http://www.iam.unibe.ch/~fcglib/special_www/cg_lecture/lectContent/lut/applets/applet/lut_applet_intro.php



1-bit
2 boje

4-bit (LUT)
16 boja

8-bit (LUT)
256 boja

24-bit
16 777 216 boja

<http://www.cs.technion.ac.il/~cs234325/Applets/applets/dither/html/index.html>

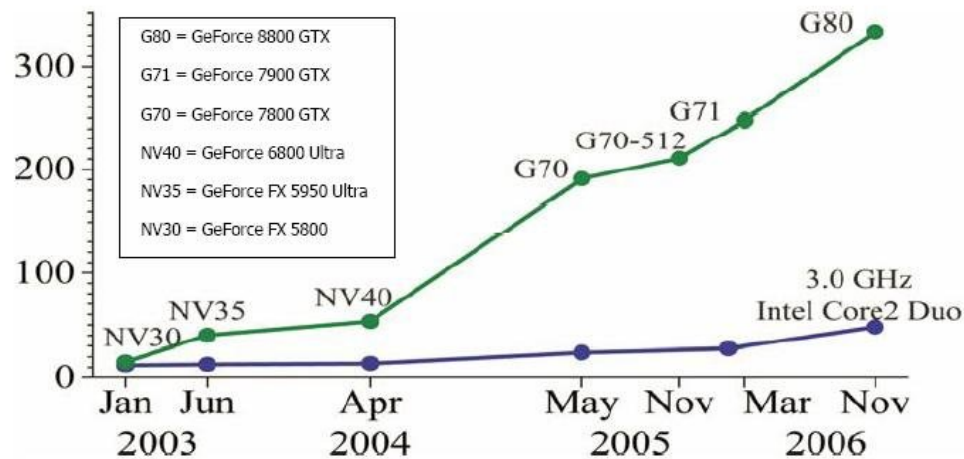
Povijesni razvoj GPU-a

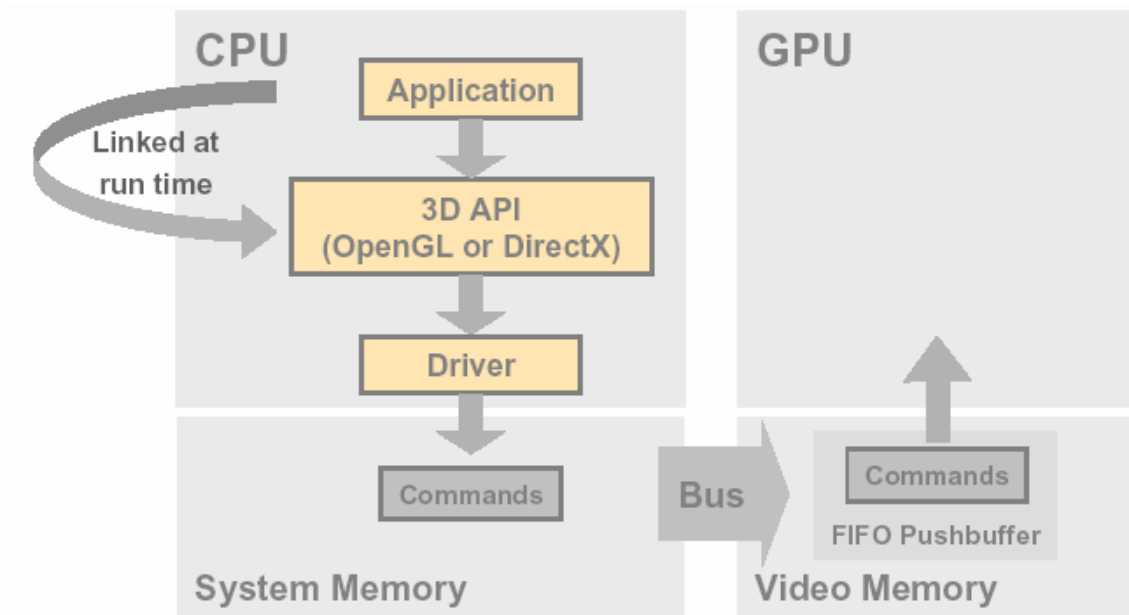
- profesionalno grafičko sklopovlje ~ razvoj zadnjih 30 godina
 - osobna računala
 - '95 tvrtka S3 kartica ViRGE, no naprednije mogućnosti spore
 - '96 tvrtka 3DFX kartica Voodoo, 3D ubrzivačka kartica (nema 2D)
- do '99 sklopovski implementirane funkcije – postiže se velika brzina, no programirljivo sklopovlje (CPU) je fleksibilnije (ovisno o problemu u nekim slučajevima može biti brže)
- '99 važne grafičke funkcije sklopovski su podržane – GPU
 - '01 kartica GeForce3 podržava male **programe** u geometrijskoj fazi
vrlo mali, jednostavne aritmetičke operacije (engl. vertex shader)
 - '02 programi za sjenčanje slikovnih elemenata, **floating point**
dodaje se pristup teksturama (engl. pixel shader, fragment shader)
još uvijek nema prave kontrole toka, postoje uvjetne naredbe ADDNZ
ali ne i naredbe skoka JMP
 - '04 kartica GeForce6800 **kontrola toka** – naredbe skoka
povećavanje broja cjevovoda

Povijesni razvoj GPU-a - primjer

Generation	Year	Product Name	Process	Transistors	Antialiasing Fill Rate	Polygon Rate	Note
First	Late 1998	RIVA TNT	0.25 μ	7 M	50 M	6 M	1
First	Early 1999	RIVA TNT2	0.22 μ	9 M	75 M	9 M	2
Second	Late 1999	GeForce 256	0.22 μ	23 M	120 M	15 M	3
Second	Early 2000	GeForce2	0.18 μ	25 M	200 M	25 M	4
Third	Early 2001	GeForce3	0.15 μ	57 M	800 M	30 M	5
Third	Early 2002	GeForce4 Ti	0.15 μ	63 M	1200 M	60 M	6
Fourth	Early 2003	GeForce FX	0.13 μ	125 M	2000 M	200 M	7

GFLOPS

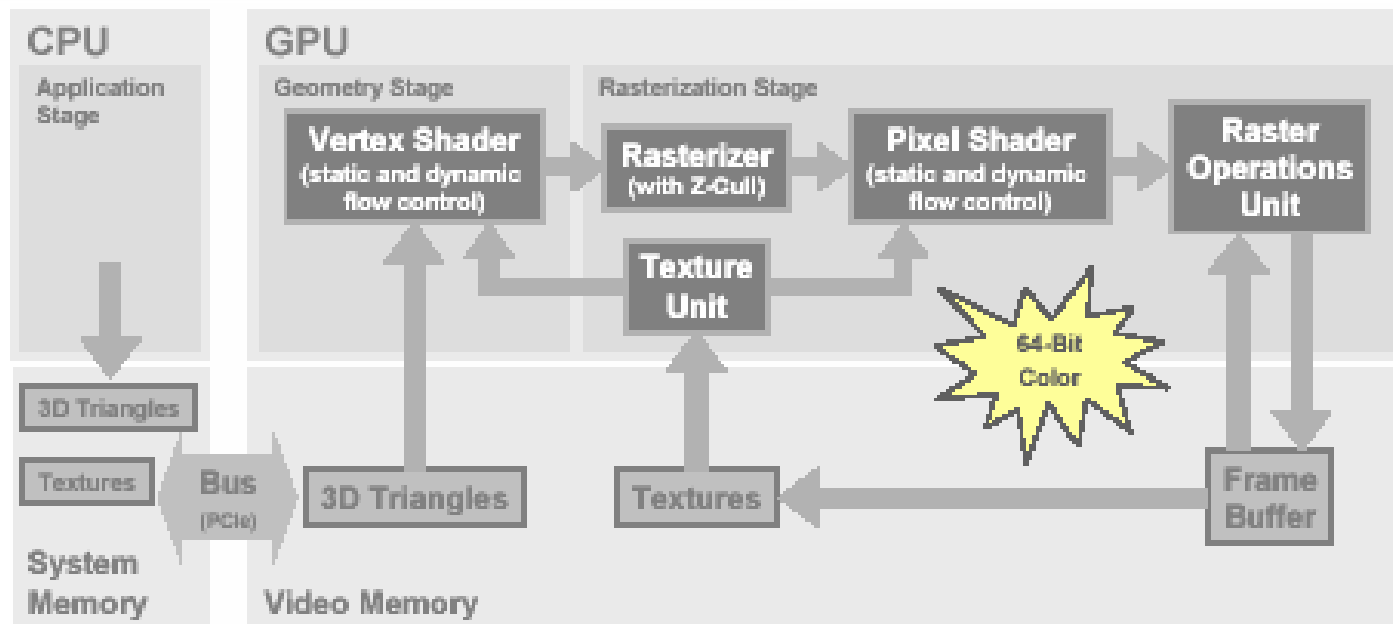




Primjer:

- NVIDIA's – GeForce, nForce
- Quadro
- AMD(ATI) - Radeon
- FireGL

3Dlabs
Matrox



Slikovna prikazna memorija (eng. frame buffer)

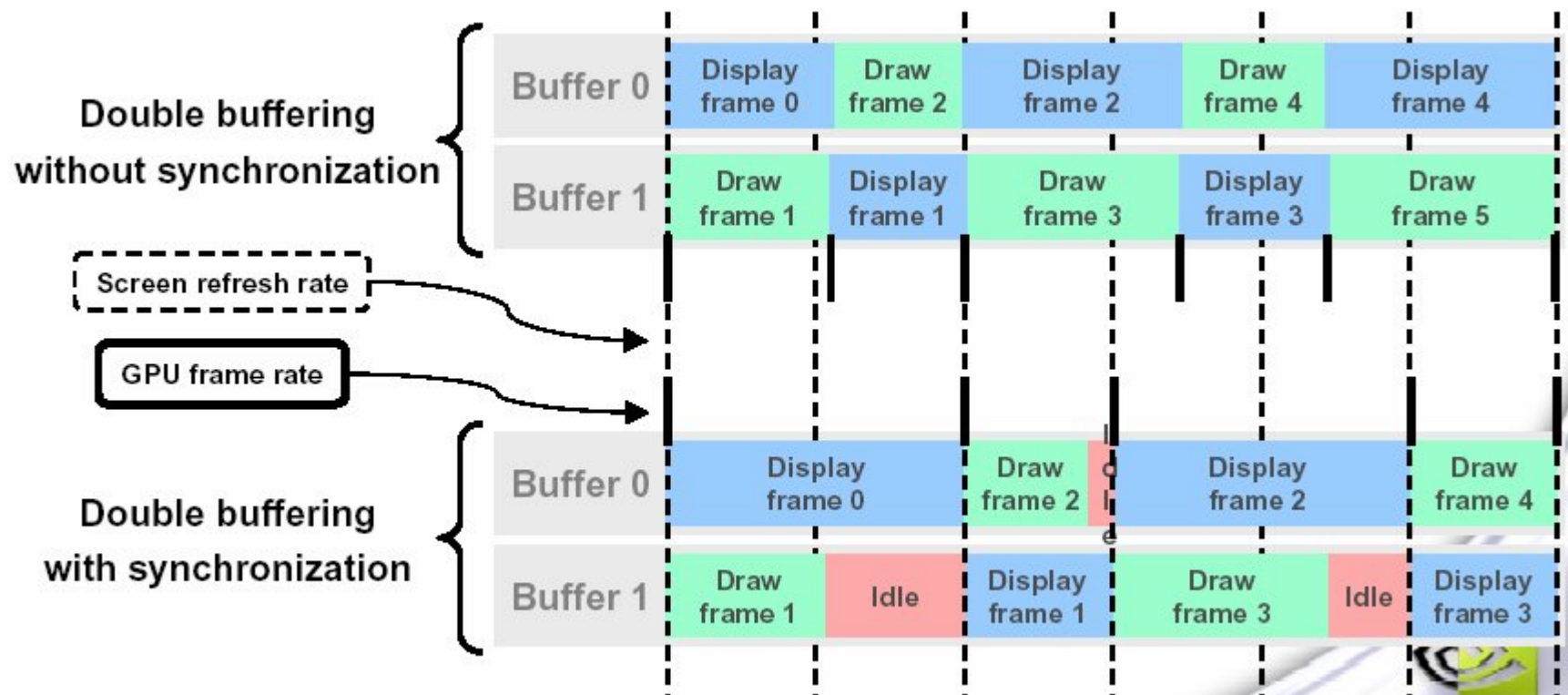
– memorija u koju se pohranjuje slika,
iz te memorije se obavlja osvježavanje na zaslonu

- pohranjivanje slike GL_COLOR_BUFFER
- udaljenost od očišta GL_DEPTH_BUFFER,
- dvostruki spremnik GL_DOUBLE_BUFFER, GL_STEREO
- http://olli.informatik.uni-oldenburg.de/Grafiti3/grafitiNav/flow8/page8.html#Ref_ID179
- spremnik maske GL_STENCIL_BUFFER
- kompozitne slike iz niza slika GL_ACCUM_BUFFER
 GL_AUX_BUFFERS

- spremnik teksture GL_TEXTURE_1D
 - GL_TEXTURE_2D
 - GL_TEXTURE_3D
 - (6 tekstura na kocki) GL_TEXTURE_CUBE_MAP

- posebna funkcija i spremnik za brisanje drugih spremnika – brzo
- određivanje broja bita u spremniku
- logičke operacije, operacije usporedbe, akumulacije/stapanja, antialias

Sinkronizacija rada dvostrukog spremnika (engl. Double buffer)



<http://www.developer.com/repository/softwaredev/content/article/2000/06/20/SDtravisdblbuf/test1a.html>

2.1.2 Izlazne grafičke naprave

- podjela izlaznih grafičkih naprava

jedinice za prikaz objekata (CRT, LCD, s plazmom, pisači, crtala)

- vektorske
- rasterske <http://www.cs.unc.edu/~mcmillan/comp136/Lecture1/disptech.html>
- emitirajuće (CRT, s plazmom, OLED organske diode)
- ne emitirajuće (LCD - tekući kristali)
- osvježavajuće
- s pamćenjem
- jednobojne
- sivi klin
- višebojne

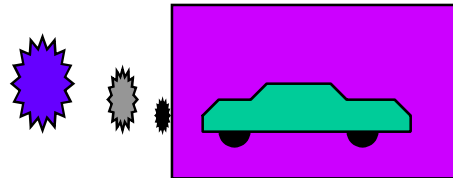
jedinice za izradu 3D objekata

- vektorski pristup (tokarilice, glodalice)
- sloj po sloj

Usporedba vektorske i rasterske prikazne procesne jedinice

- Vektorska

- nekadašnja izvedba
(ograničenost količine memorije)



prednosti

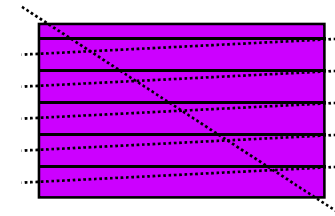
- točnost prikaza (ploteri)
- jednostavna promjena mjerila

nedostaci

- dugačka prikazna datoteka
- popunjavanje poligona
=> problem osvježavanja

- Rasterska

- danas uobičajeno



prednosti

- veličina prikazne datoteke ne utječe na frekv. osvježavanja

nedostaci

- potreba pretvorbe u diskretnu reprezentaciju
=> pogreška diskretizacije
(eng. alias-sampling error
nazubljene linije, moarè)

Jedinice za prikaz (različite karakteristike)

- slika se pohranjuje u slikovnoj prikaznoj memoriji
- iz memorije podaci se prenose preko DAC do zaslona puno puta u sekundi
- važna je *brzina* osvježavanja zbog eksponencijalnog slabljenja intenziteta svjetla koje emitira fosfor, više kvantnih razina:
 - florescencija dio μs (snop uključen)
 - fosforescencija 10-60 μs (snop isključen)

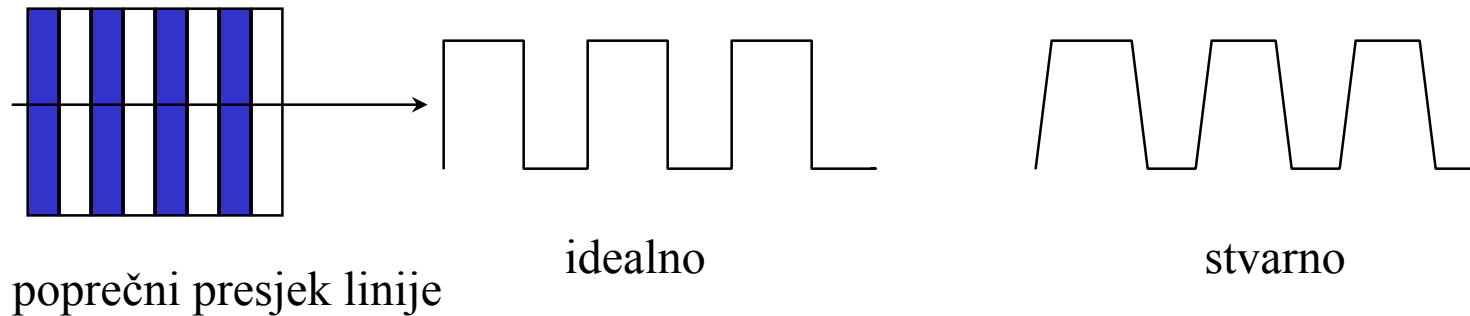
Visoka *perzistencija* znači da svjetlu treba dugo da oslabi (manje od 10% maksimalne vrijednosti), te se tada može sporije osvježavati

<= kontradiktorni zahtjev => http://www.colorado.edu/physics/2000/tv/black_and_white.html

brzina animacije traži brži fosfor

- *dijagonala*
 - nazivna dijagonala 17''
 - vidljiva dijagonala 15,6-16,2''

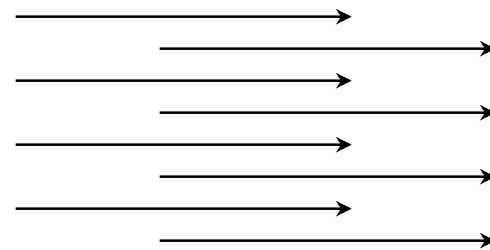
- *frekvencije osvježavanja*
 - vertikalna frekvencija (broj slika u sekundi) 60-160 Hz (85 Hz propisano VESA standardom)
 - horizontalna frekvencija (broj linija u sekundi) 30-100 kHz
 - frekvencija osvježavanja slikovnih elemenata (brzina paljenja i gašenja elektronskog snopa) 50-160 MHz - širina pojasa (engl. pixel rate) http://www.colorado.edu/physics/2000/tv/moving_electrons.html
- *geometrijska svojstva*
 - kada prikazujemo kružnicu želimo da nema oblik elipse
- *razlučivost, zrnatost, rezolucija*
 - broj crnih/bijelih linija koje se mogu prikazati i odvojene su (obično se izražava po jedinici udaljenosti dpi)



- *razmak*
 - između točaka iste boje (eng. dot pitch) dijagonalno razmak između točaka 0,25-0,28 mm, razmak rupica na sitastoj maski
 - između pruga (eng. stripe pitch) horizontala udaljenost 0,21-0,28 mm, razmak na aperturnoj rešetki
- *veličina* jedne točke koja može biti načinjena (eng. dot, spot size)
- *adresibilnost* broj individualnih točaka (po inču) koji može biti načinjen - obrnuto proporcionalno udaljenosti
 - poželjno je da veličina točke bude veća od udaljenosti središta



- iscertavanje s *preplitanjem*
 - (engl. interlaced /non interlaced)
 - ako sporije iscertavamo možemo iscertati veću sliku



paran prolaz

neparan prolaz

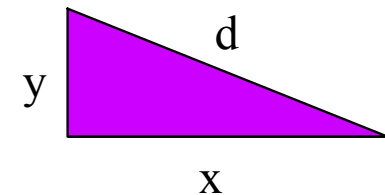
- *toplina boje* - spektar zračenja (eng. color temperature)
 - kada se crno tijelo zagrije na temperaturu 9300K ima identično zračenje monitoru
- *degauss*
 - uklanjanje statičkog naboja

- Različite karakteristike fosfora, DAC, elektronskog topa, sitaste maske, brzine i organizacije memorije utječu na konačne mogućnosti.

NPR:

vertikalna frekvencija - 76 Hz, NI
 razlučivost - 1152x900
 razmak pruga - 0,26 mm = 0,0103''

dijagonala $d = 20''$
 tipičan omjer slike $y/x = 0,75$



$$\Rightarrow 20^2 = x^2 + 0,75^2 x^2 \Rightarrow x = 16'' \Rightarrow 1550 \text{ slikovnih el.}$$

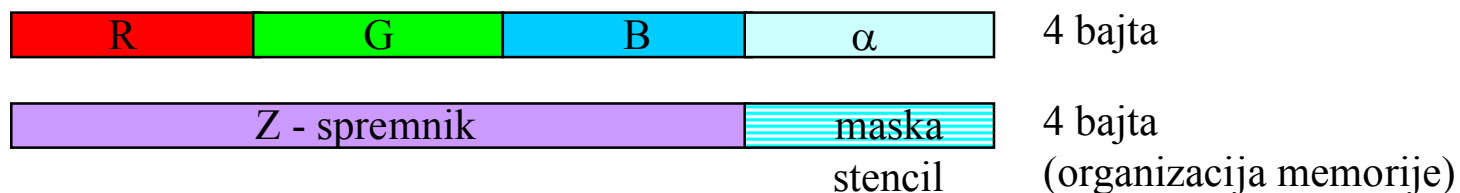
$$\Rightarrow \text{horizontalna frekvencija } 900 \times 76\text{Hz} + 10\% \quad \sim 76 \text{ kHz}$$

$$\Rightarrow \text{paljenje/gašenje elektronskog snopa} \\ 1152 \times 900 \times 76 + 30\% \quad \sim 100 \text{ MHz}$$

$$\Rightarrow \text{postavlja zahtjeve na brzinu D/A pretvorbe } 3 \times 8\text{b} \\ \text{i vrijeme pristupa memoriji} \quad \sim 10 \text{ ns}$$

Pojasna propusnost prema memoriji (engl. memory bandwidth)

NPR:



2 – pristupa (piši/čitaj) = 16 bajta

$$1280 \times 1024 \times 16 \text{ bajta} \times 60 \text{ fps} = 1,26 \text{ GB/sec.}$$

dubinska složenost (engl. depth complexity, engl. overdraw)

$$1280 \times 1024 \times 16 \text{ bajta} \times 60 \text{ fps} \times 3 = 3,78 \text{ GB/sec.}$$

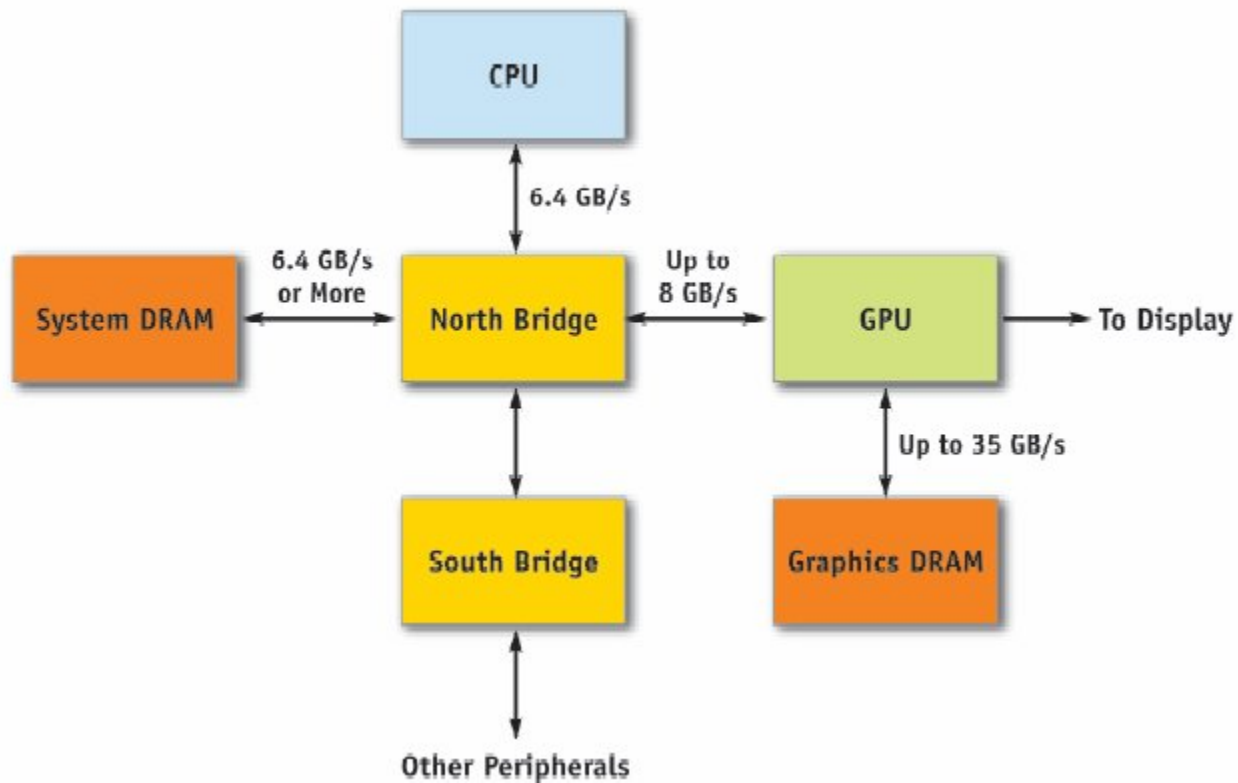
prikaz teksture – trilinearna interpolacija (8 vrhova \times 4 bajta)

$$1280 \times 1024 \times (16 + 32) \text{ bajta} \times 60 \text{ fps} \times 3 = 11,32 \text{ GB/sec.}$$

antialias \times 4 (engl. FSAA Full Screen Antialiasing)

$$1280 \times 1024 \times (16 + 32) \text{ bajta} \times 60 \text{ fps} \times 3 \times 4 = 45,3 \text{ GB/sec.}$$

Primjer: Pojasna propusnost prema memoriji (engl. memory bandwidth)



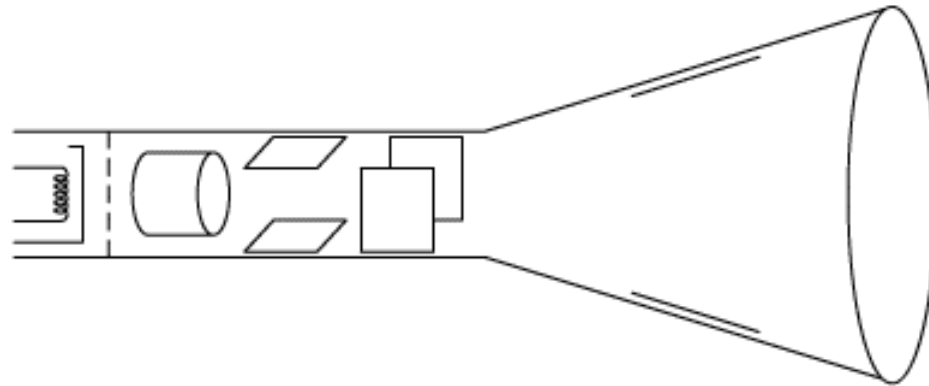
- rapoložive *memorije* (256 KB 1971 = 2 mil \$)
 - SDRAM, (interno paralelna organiz.) ~ 60 ns sljedeći ~10ns
 - SGRAM (synchronous graphics RAM, ima dodatne grafičke mogućnosti, može biti i dvoprístupni)
 - DRAM (engl. dynamic)
 - VRAM (engl. dual port),
 - EDO RAM
 - RAMBUS
 - WRAM (engl. window)

DDR (engl. Double-Data-Rate) za neke od navedenih memorija postoji mogućnost (GDDR SDRAM ~ 1 ns)

- ostvarivanje potrebnog vremena pristupa (brzine)
 - FPM (eng. fast page mod) prisutna je adresa retka, potrebno je mijenjati samo adrese stupaca
 - paralelne organizacije, dohvaćanje u brze posmačne registre

JEDINICE ZA PRIKAZ

- CRT (princip rada)
 - u elektronskom topu *žarna nit* grije *katodu* koja emitira snop elektrona
 - *kontrolna mrežica* određuje količinu elektrona koja će proći dalje i na taj način određuje svjetlinu
 - sustav za *fokusiranje* elektronskog snopa dinamički fokusira snop ovisno o položaju na zaslonu (defokusiran-mutna slika) teži se ravnom zaslonu (horizontalno, vertikalno)
 - horizontalni i vertikalni *otklonski sustav* otklanjaju snop
 - visoko pozitivna *metalizacija* (anoda) 15.000-20.000V ubrzava elektrone
 - sitasta *maska* ili aperturna rešetka



- *fosfor* naparen na staklo - prelazak u više kvantno energetske stanje a prilikom povratka elektrona emitira se energija u obliku *svjetla* određene valne duljine r, g, b
obično postoje razlike u fosforu tako da ista slika izgleda različito na različitim monitorima
- miješanje valnih duljina => *oko* čovjeka
- utjecaj ambijentnog svjetla na svjetlinu i kontrast
http://www.sandlotscience.com/Contrast/Checker_Board_2.htm
- kalibriranje boja
- na elektronski snop (elektro) magnetska polja imaju utjecaj

CRT - FST (Flat Square Tube) s ravnom cijevi

sitasta maska (eng. shadow mask)

- delta raspored fosfornih cijevi (topova)

- u nizu (eng. in line)

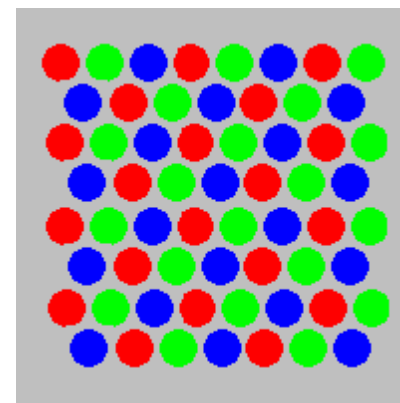
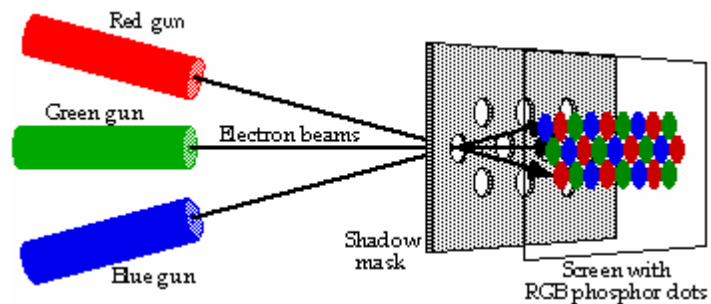
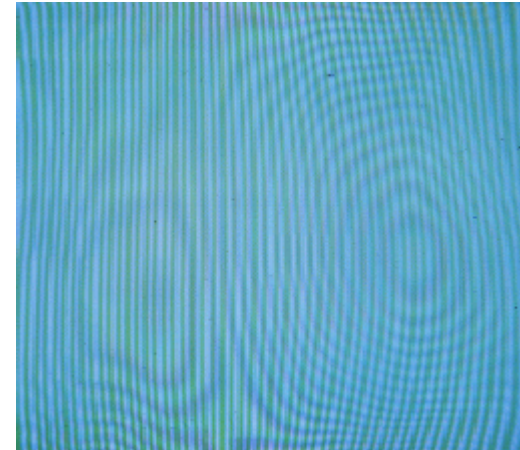
- sitasta maska se radi od legure invar, problem grijanja i naprezanja

- problem je vrlo preciznog fokusiranja snopa na pripadni fosfor

(neujednačena slika po površini zaslona, crveno-zeleni tragovi, moare)

- veliki dio površine je zaklonjen maskom (~20% elektrona pogodi fosfor) pa je smanjena je svjetlina

http://www.colorado.edu/physics/2000/tv/merging_color.html



- CRT - trinitron cijev

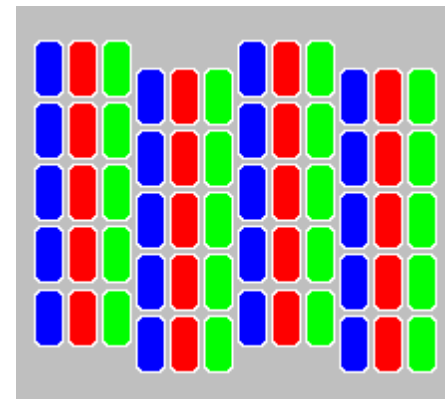
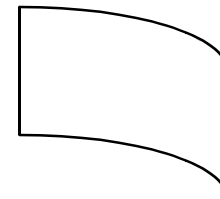
sa aperturnom rešetkom (eng. aperture grill)

- niz vertikalnih traka (žica)
- zauzimaju manju površinu pa je slika svjetlija, kontrasnija, vjernije boje
- prilikom rada rešetka se ugrije, pa se javlja problem deformacija i vibracija - dodaju se dvije žice od volframa za učvršćivanje (obično su teži zbog problema učvršćivanja, osjetljiviji na transport)
- horizontalna zakrivljenost
- 30-50% skuplji

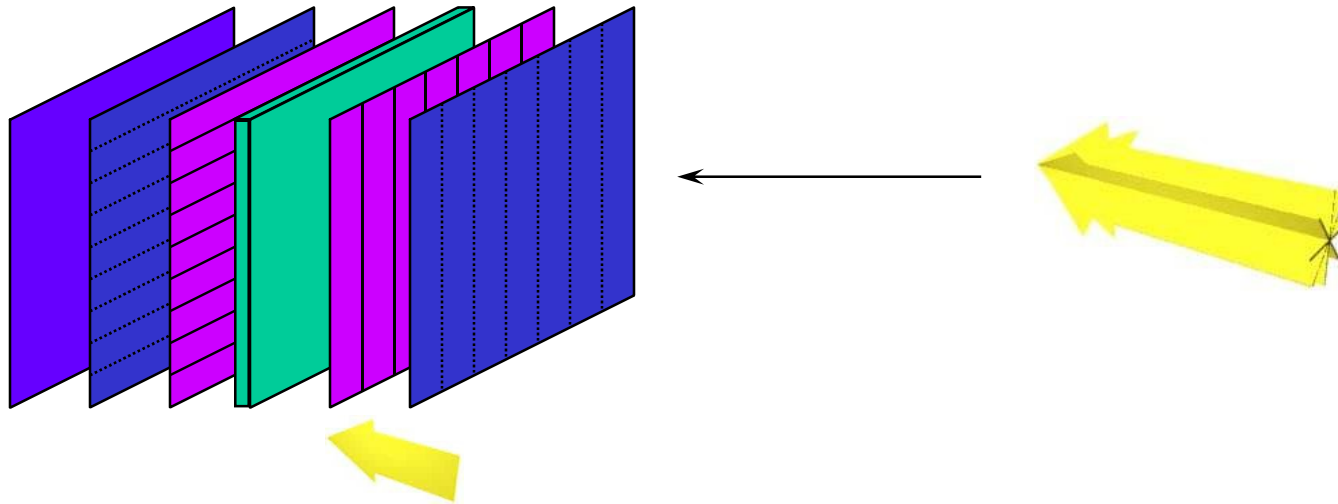
Sony - 64 - koristio cijev chromatron za prvi TV u boji, ima niz vertikalnih žica

- 67 - načinjena cijev s tri elektronska topa i jednim sustavom za fokusiranje

- CRT - kombinacija prethodnih
- NEC, KFC



- LCD prikazna jedinica s tekućim kristalima
- <http://www.colorado.edu/physics/2000/polarization/polarizationI.html>
- <http://www.colorado.edu/physics/2000/laptops/index.html>



- šest slojeva :
- | | |
|---------------------------|---|
| reflektirajući sloj | ■ |
| horizontalna polarizacija | ■ |
| horizontalne žičice | ■ |
| sloj tekućih kristala | ■ |
| vertikalne žičice | ■ |
| vertikalna polarizacija | ■ |

princip rada

- materijal tekućih kristala je načinjen od dugačkih molekula
 - kada je kristal u *električnom polju* nema polarizirajuća svojstva na svjetlo koje dolazi, pa svjetlo ostaje vertikalno polarizirano i *ne prolazi* kroz horizontalnu polarizaciju
 - kada je kristal *nije* u električnom polju *zakreće* ravninu polarizacije za 90° iz vertikalne u horizontalnu
- <http://www.colorado.edu/physics/2000/laptops/index.html#demo>
- http://www.colorado.edu/physics/2000/polarization/molecular_view.html
- TFT - (eng. thin film transistor) na svakom (x, y) ima tranzistor, služe kao aktivna memorija dok se stanje ne promijeni

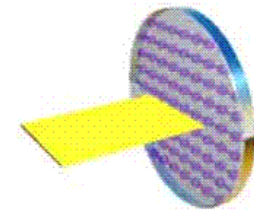
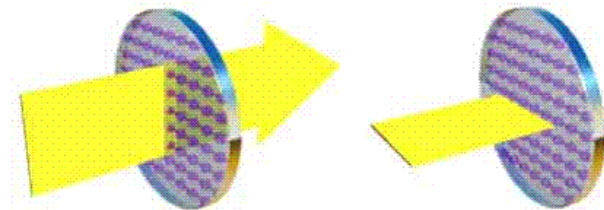
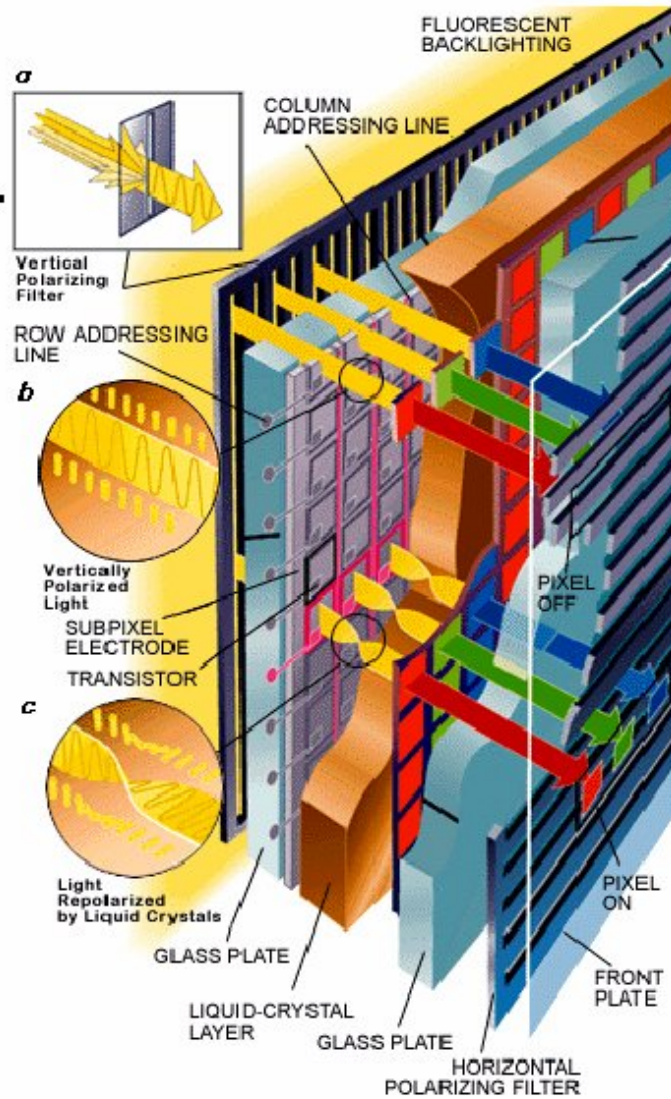
prednosti - lagani, mala potrošnja, mali po z-osi,

nedostaci - nisu izvor svjetlosti no može se koristiti stražnje osvjetljenje za projekcije, spora promjena slike, kut gledanja je ograničen

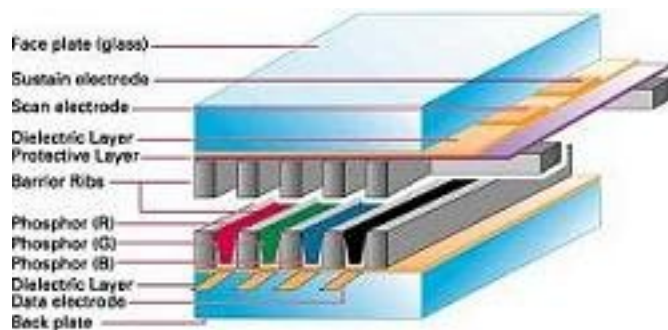
upotreba

- prijenosna računala
- projektori http://www.colorado.edu/physics/2000/laptops/laptop_screen.html
- HMD

LCDs



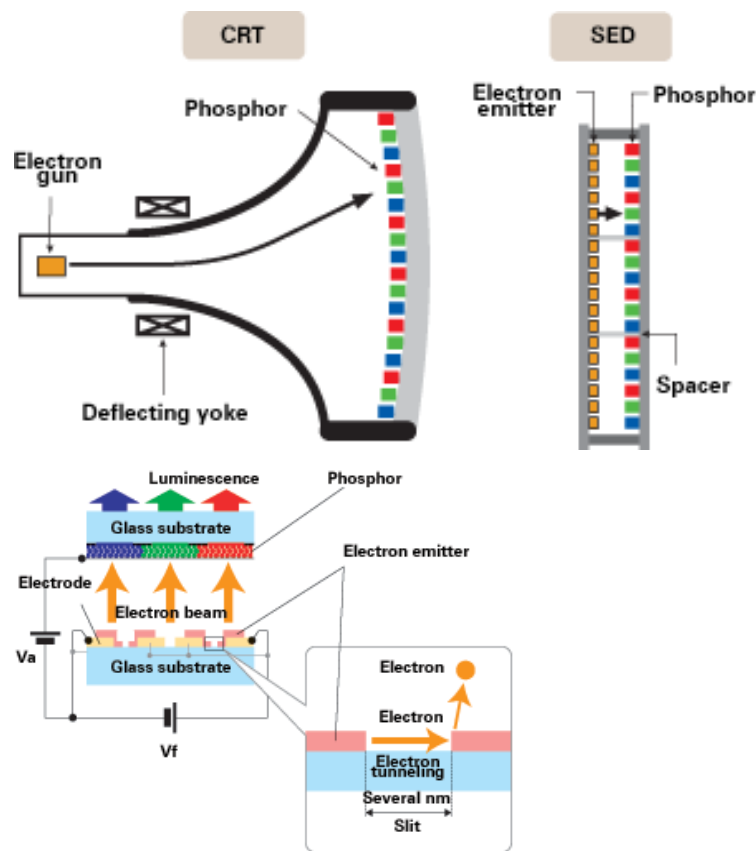
- Prikazna jedinica s plazmom
 - kod CRT prikaznih jedinica velika je dubina po z - osi i tehnološki je ograničena veličina
 - LCD prikazne jedinice nisu izvor svjetlosti
 - na mjestu ukrštanja elektroda je adresirano mjesto zatim dolazi do ionizacije xenon/neon (xenon/neon XeNe) plina, to izaziva ultravioletno zračenje koje aktivira fosfor - svjetlo (nije pasivni uređaj)
 - jedinice s plazmom mogu imati veličinu ~ 40'' , 61'' (-100'')
 - nedostaci – veliki slikovni elementi (1 mm, CRT 0,2 mm),
vakuuum u malim fluorescentnim cijevima – deblje staklo
velika potrošnja (40'' ~ 300W) uz slabu svjetlinu (~ 1/3 CRT),



Nove tehnologije:

- OLED (engl. Organic Light-Emitting Diode Arrays)
- DMD / DLP Digital Micromirror Devices /Digital Light Processing
- SED (engl. Surface-conduction Electronemitter Display)

3D PRIKAZ



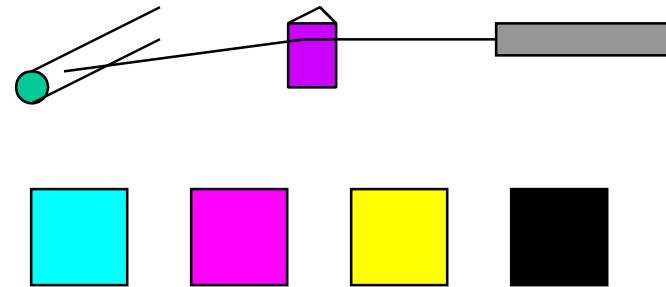
OLED Display Screen (from Universal Display Corp)



Jedinice za izradu 3D objekata

po uzoru na pisače (printeri)

- matrični
- laserski
- ink-jet
- termo
 - CMYK (više prolaza)



- izrada objekata sloj po sloj
 - 3D pisači (ZPrinter)
 - uređaji za stereolitografiju(važno za brzu izradu prototipa)



- po uzoru na crtala (ploteri)
 - s pisaljkom (PEN)
 - optimiranje praznog hoda, akceleracija
 - prikaz karata
 - elektrostatski
 - negativno nabijeni papir, pozitivno nabijena tinta
 - brži, manje kontrastni od crtala s pisaljkom

- TOKARILICE, GLODALICE
 - izrada trodimenzijskih objekata

2.2.3 Ulazne grafičke naprave

- tablica (engl. tablet) s pisaljkom, na dodir osjetljiva ploča
 - kapacitivna sprega, elektromagnetska, zvučna, naponski gradijent
- miš
 - mehanički, mehaničko optički, optički
- 3D zvučno pero, svjetlosno pero
- sustavi za 3D uzorkovanje
 - ultrazvučno
 - CT, PET (računalna tomografija)
 - MR (magnetska rezonancija)
 - laserskim snopom - mogućnost uzorkovanja boje i temperature

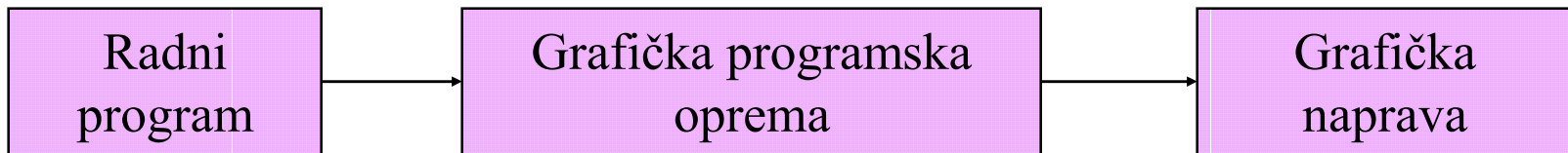
<http://www.cyberware.com/>

Primjeri objekata:

http://www.cc.gatech.edu/projects/large_models/



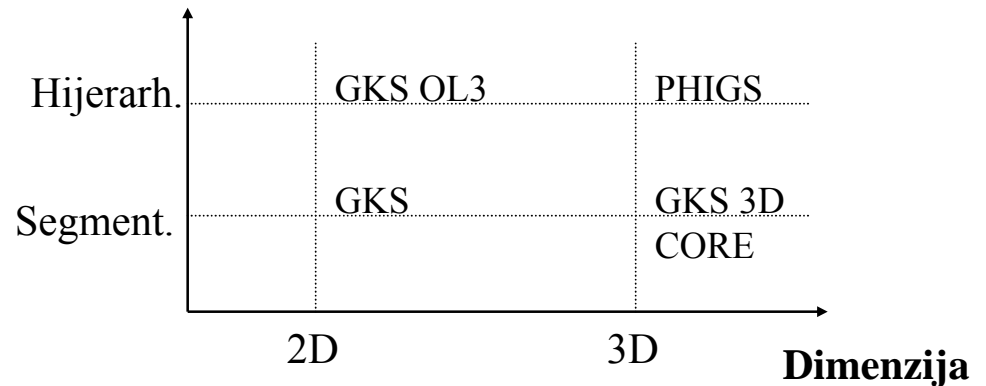
2.2 PROGRAMSKA GRAFIČKA OPREMA



- Knjižnica grafičkih rutina (grafičke rutine koje se pozivaju iz nekog višeg programskog jezika s atributima C, C++). Teži se da ova knjižnica bude načinjena prema specifikaciji API-a, tj. prema nekom standardu.
 - “+” neovisnost radnog programa o sklopovskoj opremi
 - “-” obično se ne može ostvariti potpuna iskorištenost sklopovske opreme
- Standardima je propisano
 - API - prema kojima se načine grafičke biblioteke
 - OpenGL-Mesa, DirectX Direct3D, Phigs-PEX
 - zapisi
 - slika TIF, GIF, BMP, JPEG, HPGL, PS (rasterski, vektorski)
 - niza slika GIF, video AVI, MOV, WMV, MPG, MP4, SWF, RM
 - scene, objekti DXF, MAX, 3DS, WRL-vrml, PLY, OBJ

- Grafičke jezgre načinjene u okviru standarda
 - 3D CORE (Core Graphics System)
 - 1979. ACM SIGGRAPH (Association for Computing Machinery Special Interest Group on Graphics)
 - GKS (Graphics Kernel System)
 - ISO 88, 94, 97, 98, 99 (International Standards Organization)
 - ANSI 85 (American National Standards Institute)
 - PHIGS (Programmer's Hierarchical Interactive Graphics System), PHIGS+ za pseudorealističan prikaz
 - ISO 90, 97
 - ANSI 88
 - VRML (Virtual Reality Modelling Language)
 - ISO 97, 98, 99

Strukt. slike



- Osim službenih standarda postoje “de facto” ili industrijski standardi
 - 93’ GL, OpenGL SGI
 - 95’ Direct 3D Microsoft
 - X Window System’s Xlib MIT PEX
 - RenderMan Pixar
 - PostScript Adobe
 - OpenFlight

Komercijalno su ovi standardi značajniji od službenih standarda jer se jednostavnije mogu mijenjati.

OpenGL - SIGGRAPH

- 2001. OpenML – integracija i sinkronizacija 3D grafike s video i audio zapisima (Media - rich programming, Khronos group)
- 2003. OpenES – podrška za ugrađene sustave (embedded 3D graphics)
- 2004. OpenGL 2.0

Jezici i tehnologije za paralelno programiranje

Brook – programski jezik – programiranje tokova (stream program)

- <http://graphics.stanford.edu/projects/brookgpu/index.html>

CUDA paralelno obavljanje operacija na različitim podacima

- <http://developer.nvidia.com/object/cuda.html>

Jezici za sjenčanje (engl. shading languages)

- programiranje grafičkog sklopovlja korištenjem jezika više razine (kako ne bi morali programirati u assembleru za karticu)

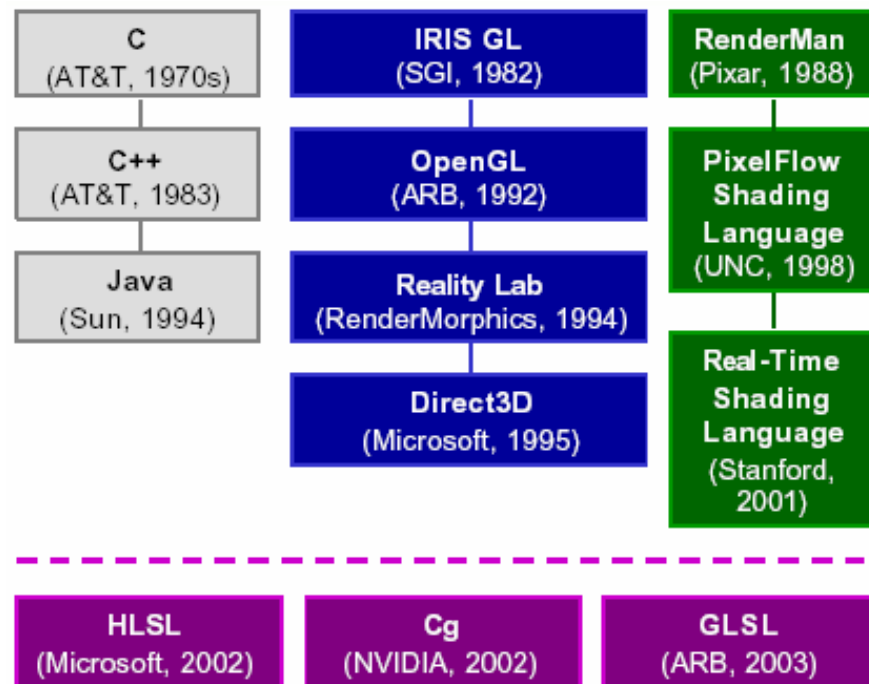
HLSL (engl. High-Level Shading Languages) – Direct3D, Microsoft, '02.

CG (engl. C for graphics) – OpenGL, Direct3D, NVidia, '02.

GLSL (engl. The OpenGL Shading Language) – open standard, ARB, '03.

- **Alati** za izradu programa u SL FX-composer (NVidia – HLSL)

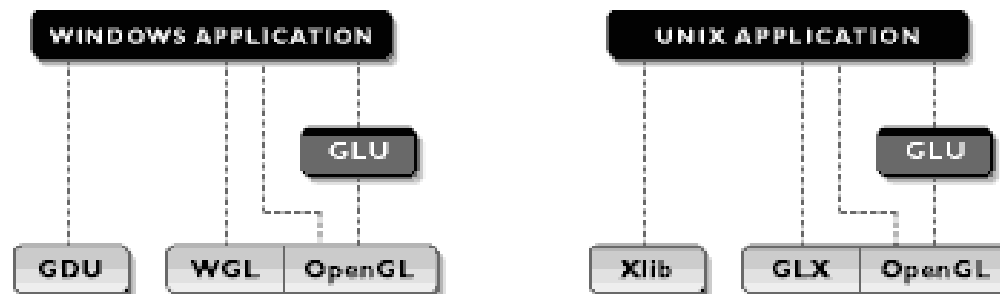
http://developer.nvidia.com/object/fx_composer_home.html



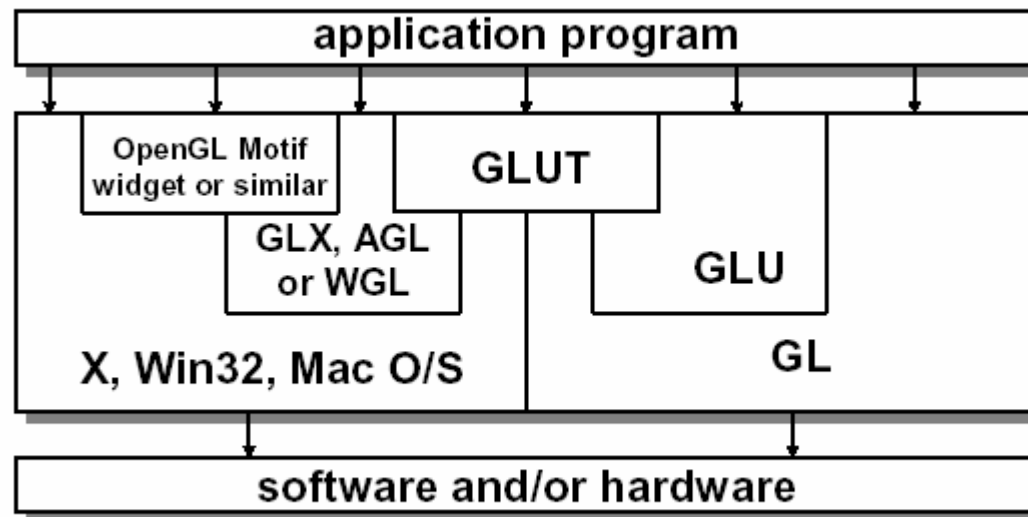
- OpenGL (engl. Open Graphics Library) <http://www.opengl.org/>
 - IrisGL - SGI temelj za OpenGL
 - 1992. industrijski standard
 - programsko sučelje prema grafičkom sklopovlju, neovisan o platformi
 - engl. state machine - koji kontrolira skup specifičnih operacija crtanja 2D/3D (definira kontekst za prikaz)
 - GLU Utility Library (pomaže u modeliranju i nekim operacijama s prozorima) OpenGL se temelji na FrameBuffer-u no u svom konceptu ne podržava grafičke ulazno izlazne naprave kao što su miš ili tastatura
 - GLX X-server extension API - definira mrežni protokol za OpenGL naredbe za prikazivanje (enkapsulirane u X protokol)

[shapes.exe](#)

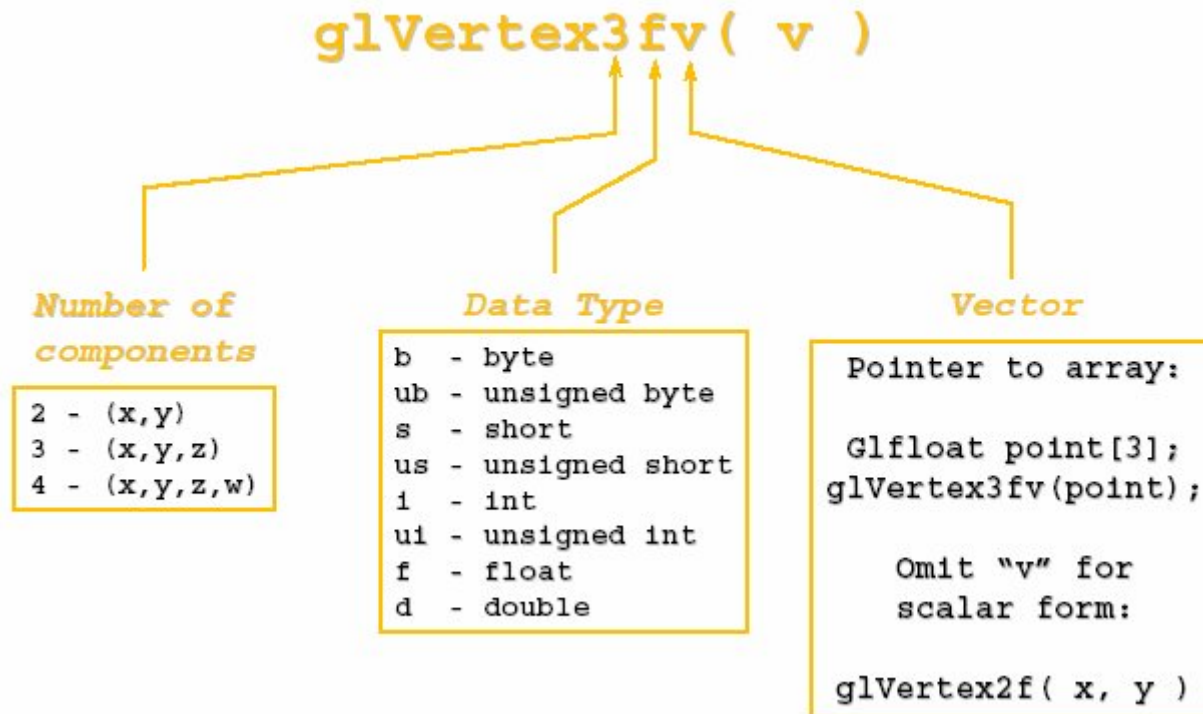
[state.pdf](#)



- GLUT (OpenGL Utility Toolkit)
 - neslužbeni dio OpenGL
- GLEW (OpenGL Extension Wrangler Library)
 - <http://glew.sourceforge.net/>
 - olakšava korištenje OpenGL ekstenzija
- OpenGL Performer – olakšava pisanje složenijih aplikacija



- primjer naredbe u OpenGL-u



Usporedba jezika za sjenčanje
(engl. Shading Languages):

- HLSL Direct3D
- GLSL OpenGL

Assembly

```

...
DP3 R0, c [11].xyzx, c [11].xyzx;
RSQ R0, R0.x;
MUL R0, R0.x, c [11].xyzx;
MOV R1, c [3];
MUL R1, R1.x, c [0].xyzx;
DP3 R2, R1.xyzx, R1.xyzx;
RSQ R2, R2.x;
MUL R1, R2.x, R1.xyzx;
ADD R2, R0.xyzx, R1.xyzx;
DP3 R3, R2.xyzx, R2.xyzx;
RSQ R3, R3.x;
MUL R2, R3.x, R2.xyzx;
DP3 R2, R1.xyzx, R2.xyzx;
MAX R2, c [3].z, R2.x;
MOV R2.z, c [3].y;
MOV R2.w, c [3].y;
LIT R2, R2;
...

```

High-Level Language

```

...
float3 cSpecular = pow(max(0, dot(Nf, H)),
    phongExp).xxx;
float3 cPlastic = Cd * (cAmbient + cDiffuse) +
    Ca * cSpecular;
...

```

