

Računarska grafika

Principi prikazivača



Vektorski prikazivači (1)

- Vektorski prikazivači (*vector, stroke, line drawing, caligraphic displays*):
 - prikazivački uređaji razvijeni sredinom 60-ih i u širokoj upotrebi do kraja 80-ih
 - termin vektor je korišćen kao sinonim za liniju; *stroke* je kratka linija
 - karakteri su konstruisani kao sekvence takvih linija



Preuzeto sa: <http://excelsior.biosci.ohio-state.edu/~carlson/history/tree/images/sage.jpg>

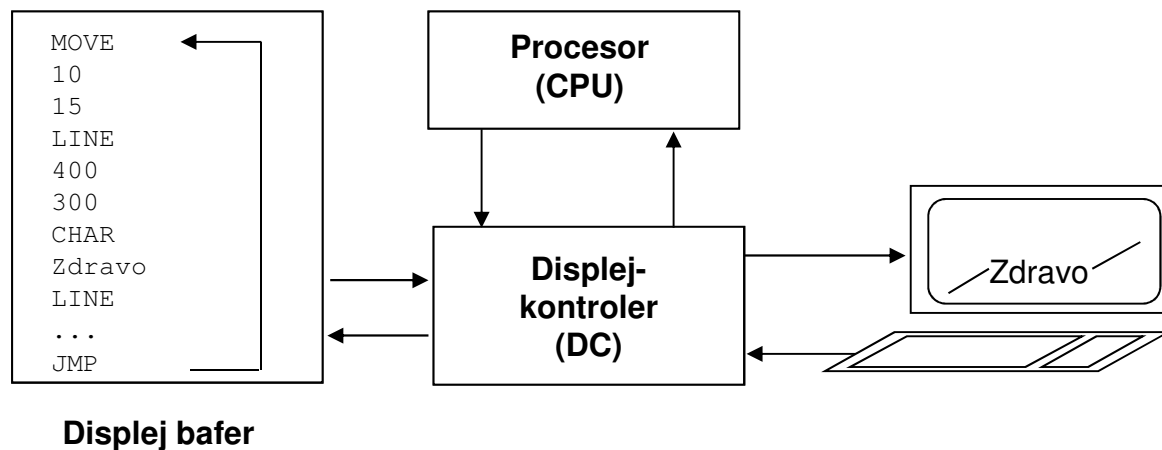


Preuzeto sa: <http://www.cca.org/vector/>



- Tipičan vektorski sistem se sastoji od:
 - displej-kontrolera (DC) povezanog kao U/I jedinica na centralnu procesnu jedinicu (CPU)
 - displej-bafer memorije
 - katodne cevi (CRT)

Vektorski prikazivači (2)



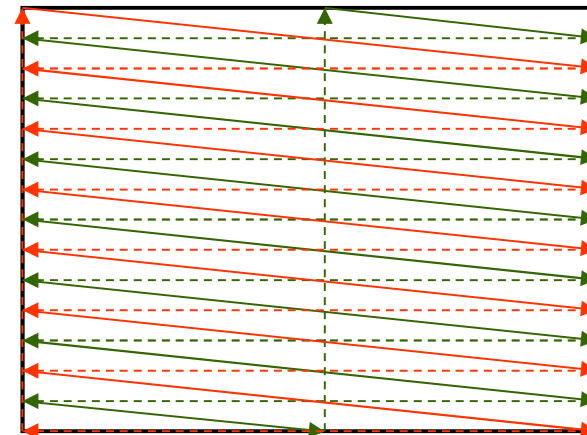
- Bafer sadrži displej-program koji je generisao računar
- Displej-program sadrži komande za:
 - pomeranje "pera" u tačku (MOVE x,y)
 - crtanje linija od tekuće tačke do zadate tačke (LINE x,y)
 - crtanje karaktera (CHAR string)
- Komande za crtanje interpretira displej-kontroler
- Kontroler šalje digitalne koordinate tačka generatoru vektora

Vektorski prikazivači (3)

- Generator vektora konvertuje koordinate tačaka u analogne napone kola za otklon mlaza
- Kolo za otklon pomera elektronski mlaz koji piše po fosfornoj oblozi CRT
- Suština je da zrak prati tačku po tačku specificiranim redosledom displej-programa
- Tehnika prikaza na vektorskim uređajima se naziva
 - slučajnim skeniranjem (*random-scan*)
- Pošto svetlosni izlaz fosfora opada u desetinama ili najviše stotinama μs , DC mora ciklično da izvršava program da osveži fosfor barem sa 30Hz
- Bafer koji sadrži program - bafer za osvežavanje (*refresh buffer*)
- Instrukcija JMP na kraju programa formira petlju za ciklično osvežavanje
- Šezdesetih, bafer memorija i dovoljno brzi kontroleri da osvežavaju na (barem) 30Hz bili su skupi
 - samo nekoliko hiljada linija se moglo prikazati bez vidnog treperenja

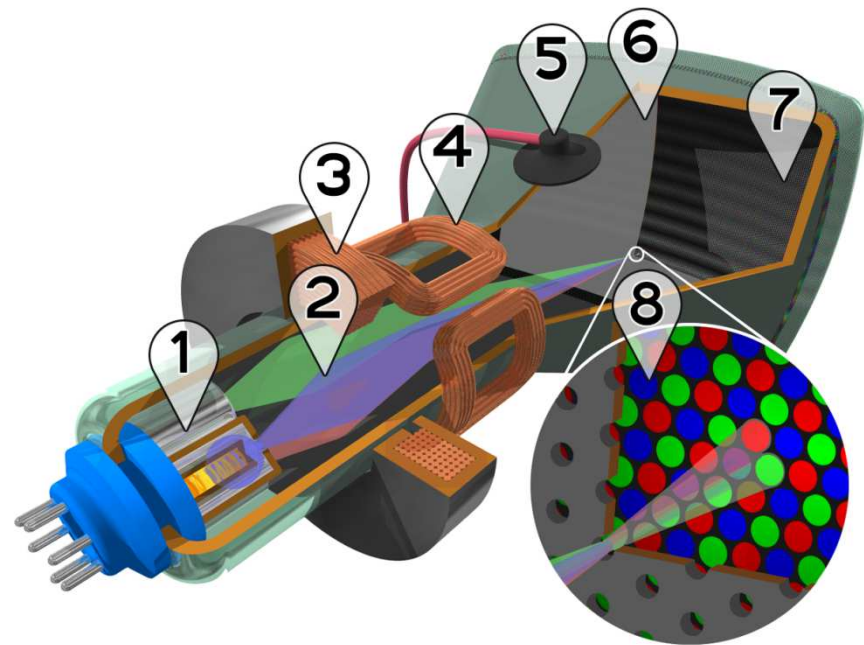
Rasterski prikazivači (1)

- U ranim sedamdesetim godinama počinje razvoj rasterske grafike
- Smatra se da je rasterska grafika doprinela razvoju oblasti više nego bilo koja druga tehnologija
- Rasterska grafika je zasnovana na tehnologiji televizije (*raster-scan*)
- Pre televizije – film
- Perzistencija ljudskog vida:
 - najviše 24 različite slike u sekundi
- Princip filma (pokretne slike):
 - osvetljena slika, zamračenje,...
- Iz tehničkih razloga u TV:
 - 25-30 slika/s
- Za vreme $1/30s$ osećaj osvetljaja jenjava – treperenje
- Ideja – dva puta osvetliti ekran
 - jedna slika iz 2 poluslike (*interlacing*)



Rasterski prikazivači (2)

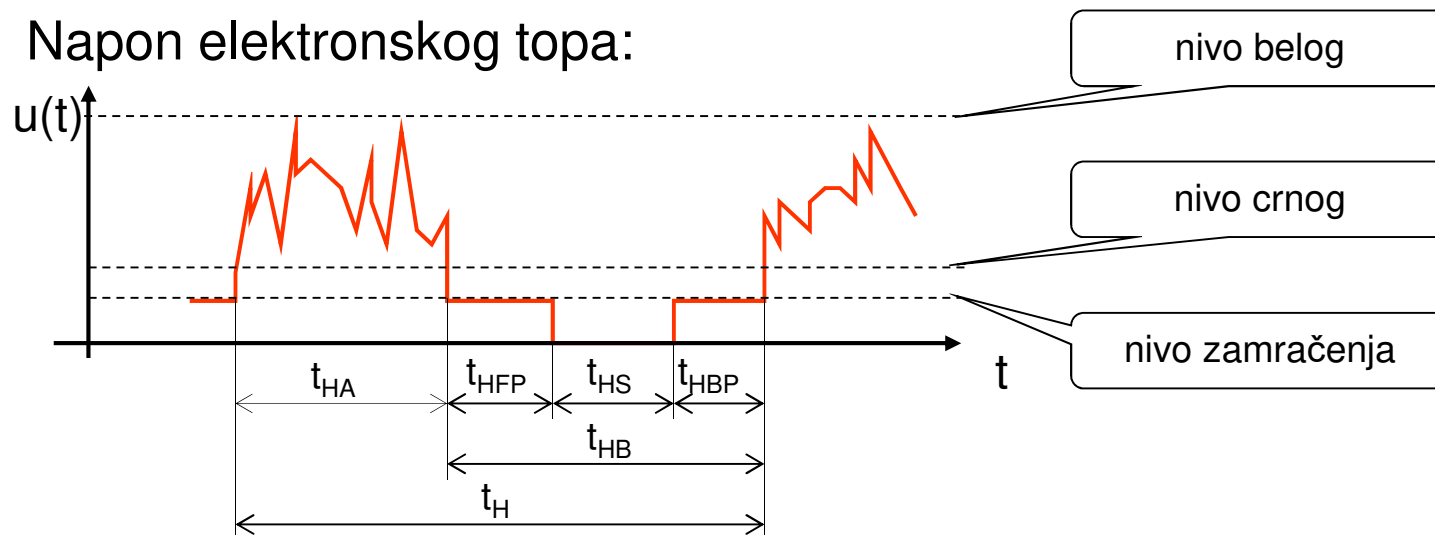
- Katodna cev (CRT)
 - 1. elektronski topovi
 - 2. elektronski mlazevi
 - 3. kalemovi za fokusiranje
 - 4. kalemovi za odklon
 - 5. spoj anode
 - 6. maska
 - 7. fosfor na staklu cevi
 - 8. trijade RGB fosfora



Preuzeto sa: http://en.wikipedia.org/wiki/Image:CRT_color_enhanced.png (Created by Søren Peo Pedersen)

Rasterski prikazivači (3)

- Napon elektronskog topa:



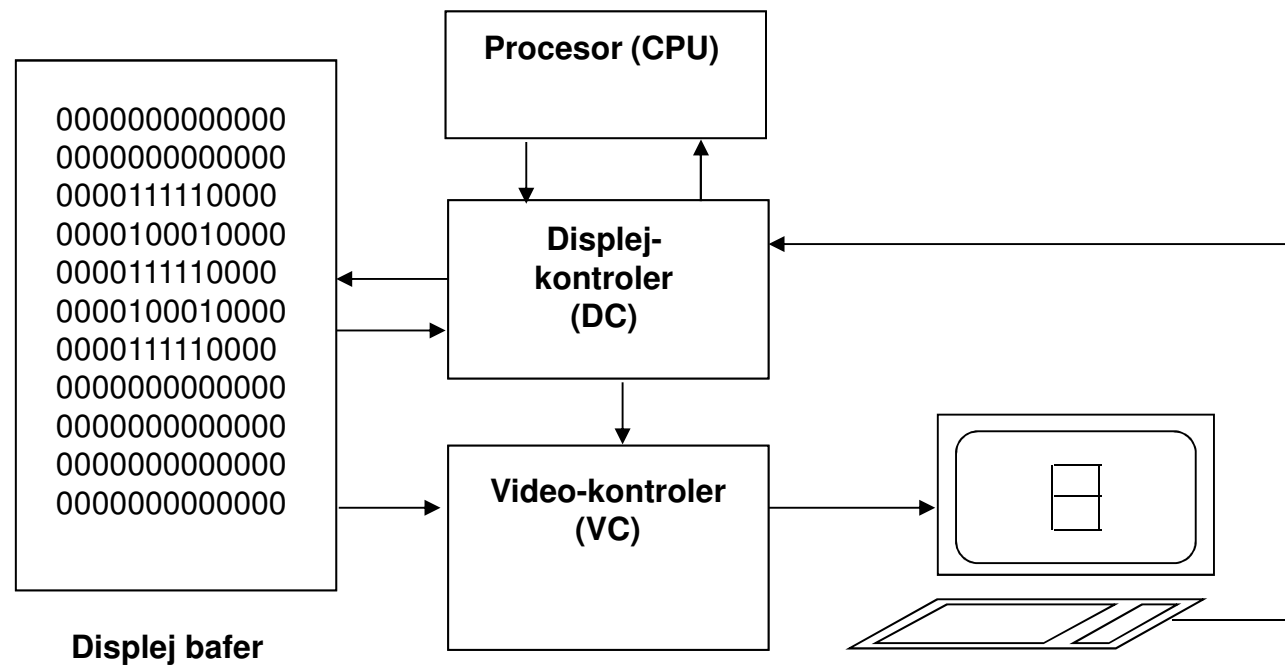
- Horizontalna perioda mlaza: $t_H = t_{HA} + t_{HB} = t_{HA} + (t_{HFP} + t_{HS} + t_{HBP})$
- Horizontalna frekvencija (učestanost linije): $f_H = 1/t_H$
- Po analogiji, perioda slike: $t_V = t_{VA} + t_{VB} = t_{VA} + (t_{VFP} + t_{VS} + t_{VBP})$
- Vertikalna frekvencija (učestanost slike): $f_V = 1/t_V$

Rasterski prikazivači (4)

- Rasterski prikazivači (*raster display*)
 - smeštaju primitive za prikaz u bafer za osvežavanje (video-memoriju)
 - primitive su linije (prave i lukovi), karakteri i popunjene površine
 - primitive su razložene na piksele, kao komponente od kojih su obrazovane
- Displej-kontroler prima i interpretira sekvence komandi
 - komande su slične onima kod vektorskih displeja
 - definišu primitive u vektorskom obliku
 - kontroler vrši rasterizaciju – konverziju iz vektorskog u rasterski oblik
- U jednostavnijim sistemima, kao što su bili kod ranih personalnih računara:
 - kontroler displeja postoji samo kao softverska komponenta grafičkog paketa
 - bafer za osvežavanje je samo deo CPU memorije
 - iz bafera može da čita podsistem za prikaz slike
 - često se naziva video-kontrolerom
 - video-kontroler proizvodi stvarnu sliku na ekranu

Rasterski prikazivači (5)

- Binarno-monohromatska slika 8 u displej-baferu



Displej bafer

Rasterski prikazivači (6)

- Kompletna slika na rasterskom prikazivaču se formira iz rastera
- Raster predstavlja matricu:
 - niz horizontalnih rasterskih linija
 - svaka linija je red individualnih piksela
- Raster se čuva kao matrica piksela koja reprezentuje celu površinu ekrana
- Cela slika se skenira sekvencijalno od strane video-kontrolera:
 - linija po linija od vrha prema dnu i zatim ponovo od vrha
 - za svaki piksel, intenzitet mlaza se postavlja tako da reflektuje intenzitet piksela
 - u sistemima sa bojom kontrolišu se tri mlaza
 - po jedan za crvenu, zelenu i plavu boju
prema odgovarajućim komponentama vrednosti svakog piksela

Rasterski prikazivači (7)

- Frekvencija osvežavanja slike:
 - u ranim danima rasterske grafike – TV učestanost od 25-30Hz, sa protkivanjem
 - danas - od 60Hz naviše (120Hz za stereoviziju), da se izbegne treperenje slike
- Sadržaj bafera za osvežavanje slike:
 - u vektorskim sistemima: program (kodovi operacija, koordinate krajnjih tačaka)
 - u rasterskim sistemima: pikseli slike
- Termini:
 - bafer slike (bafer za osvežavanje) – memorija u kojoj se čuva slika
 - “bitmapa” i “piksmapa” – koriste se za označavanje oba pojma:
 - bafer slike (memorija) i
 - niz vrednosti piksela koje se mapiraju 1:1 u piksele na ekranu (sadržaj memorije)
 - termin “bitmapa” – uglavnom se koristi za binarno-monohromatsku sliku
 - termin “piksmapa” (*pixmap*, skraćena za *pixel map*) - za sisteme sa više bita po pikselu

Rasterski prikazivači (8)

- Memorija bafera slike:
 - jeftina poluprovodnička RAM za bitmape se pojavila u ranim 70-im
 - proboj koji je učinio da rasterska grafika postane dominantna tehnologija
 - najpre – jedan bit po pikselu, dvonivoska (binarno-monohromatska) slika
 - bitmapa za ekran sa rezolucijom 1024 x 1024 piksela je samo 128KByte
 - kasnije – više bita po pikselu, slike u skali sivog
 - 8 bita po pikselu, 256 nijansi sive, za 1024 x 1024 piksela – 1MByte
 - danas – barem 8 bita po osnovnoj (R,G,B) boji piksela, slika u boji
- Dvonivoske (monohromatske) katodne cevi
 - crno-bele (ili crno-zelene) slike
 - neki plazma paneli su imali crno-narandžaste slike

Rasterski prikazivači (9)

- Rani sistemi u boji:
 - 8 bita po pikselu, dopuštaju 256 boja (u isto vreme na ekranu)
- Kasniji sistemi:
 - 24 bita po pikselu, dopuštaju 16 miliona boja
 - 24 bita i rezolucija 1280 x 1024 zahteva samo 3.75MB RAM-a
 - 32 bita po pikselu
 - 24 bita su namenjena za reprezentaciju boje
 - 8 u kontrolne svrhe (alfa kanal)
- Savremeni sistemi:
 - 96 i više bita po pikselu na rezoluciji 1280 x 1024 (ili većoj):
 - 2x32 bita se koristi za dvostruko baferisanje – jedna slika se prikazuje, druga crta
 - 4x32 bita se koristi za četverostruko baferisanje – kod stereoskopije
 - 32 bita se koristi za Z-bafer
 - postoje i drugi baferi (*stencil*-bafer)

Prednosti rasterske grafike

- Glavne prednosti rasterske grafike nad vektorskom:
 - niža cena, skenirajuća logika jednostavnija
 - regularno, repetitivno rastersko skeniranje je daleko brže i manje skupo za implementaciju od slučajnog skeniranja vektorskih sistema
 - generatori vektora moraju biti veoma precizni da obezbede linearnost i ponovljivost otklona mlaza
 - sposobnost prikazivanja popunjene površine bojom ili teksturom
 - bogat način prenosa informacije, važan za realistične slike 3D objekata
 - proces osvežavanja je nezavisan od kompleksnosti slike (broja primitiva, npr. poligona):
 - većina ne zapaža treperenje na rasterskim ekranima sa $f > 70\text{Hz}$
 - vektorski prikazivači trepere kada broj primitiva u baferu postane preveliki

Nedostaci rasterske grafike (1)

- Obaveza rasterizacije (*sken-konverzije*):
 - primitive kao što su linije i poligoni se zadaju pomoću njihovih temena i moraju se konvertovati u piksele koji predstavljaju primitive u baferu slike
 - rasterizacija se može obavljati:
 - softverski (gde je CPU odgovoran za svu grafiku)
 - specijalno-namenskim hardverom - čipom procesora rasterske slike (*raster image processor, RIP*) korišćenim kao koprocesor ili akcelerator
- Dinamika za realno-vreme je računski daleko zahtevnija na rasterskim sistemima:
 - transformisanje 1000 linija na vektorskom sistemu
 - transformisanje 2000 krajnjih tačaka
 - u rasterskom sistemu se transformišu krajnje tačke + svaka primitiva mora tada biti rasterizovana koristeći njene nove krajnje tačke
 - kada je CPU odgovoran i za transformaciju krajnjih tačaka i za rasterizaciju, samo mali broj primitiva može biti transformisan u realnom vremenu
 - HW za transformacije i rasterizaciju je potreban zbog dinamike u rasterskim sist.
 - kao rezultat napretka u VLSI, ovo je postalo ostvarivo čak u skromnijim sistemima

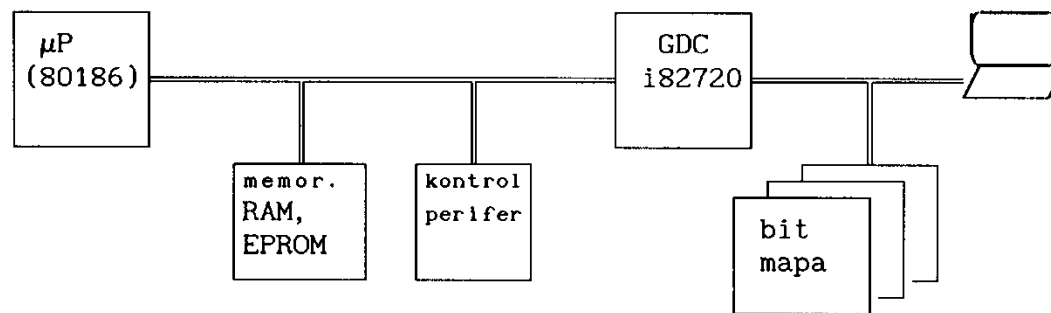
Nedostaci rasterske grafike (2)

- Aproksimativna priroda prikaza glatkih linija:
 - potiče od same prirode rastera
 - vektorski sistem može da crta kontinualnu, glatku liniju (i čak neke glatke krive)
 - rasterski sistem može samo da aproksimira glatke linije pikselima na rasterskoj mreži
 - ovo može prouzrokovati poznati problem "nazupčenosti"
 - u obradi signala ovakva manifestacija (greške uzorkovanja) se naziva *aliasing*
 - pojavljuje se kada se funkcija kontinualne promenljive sa naglim promenama intenziteta aproksimira diskretnim uzorcima
 - tehnike za *antialiasing* na sistemima sa skalom sivog ili u boji
 - gradacija u intenzitetu susednih piksela na ivicama primitiva umesto isključivog postavljanja piksela na maksimalni ili nulti intenzitet



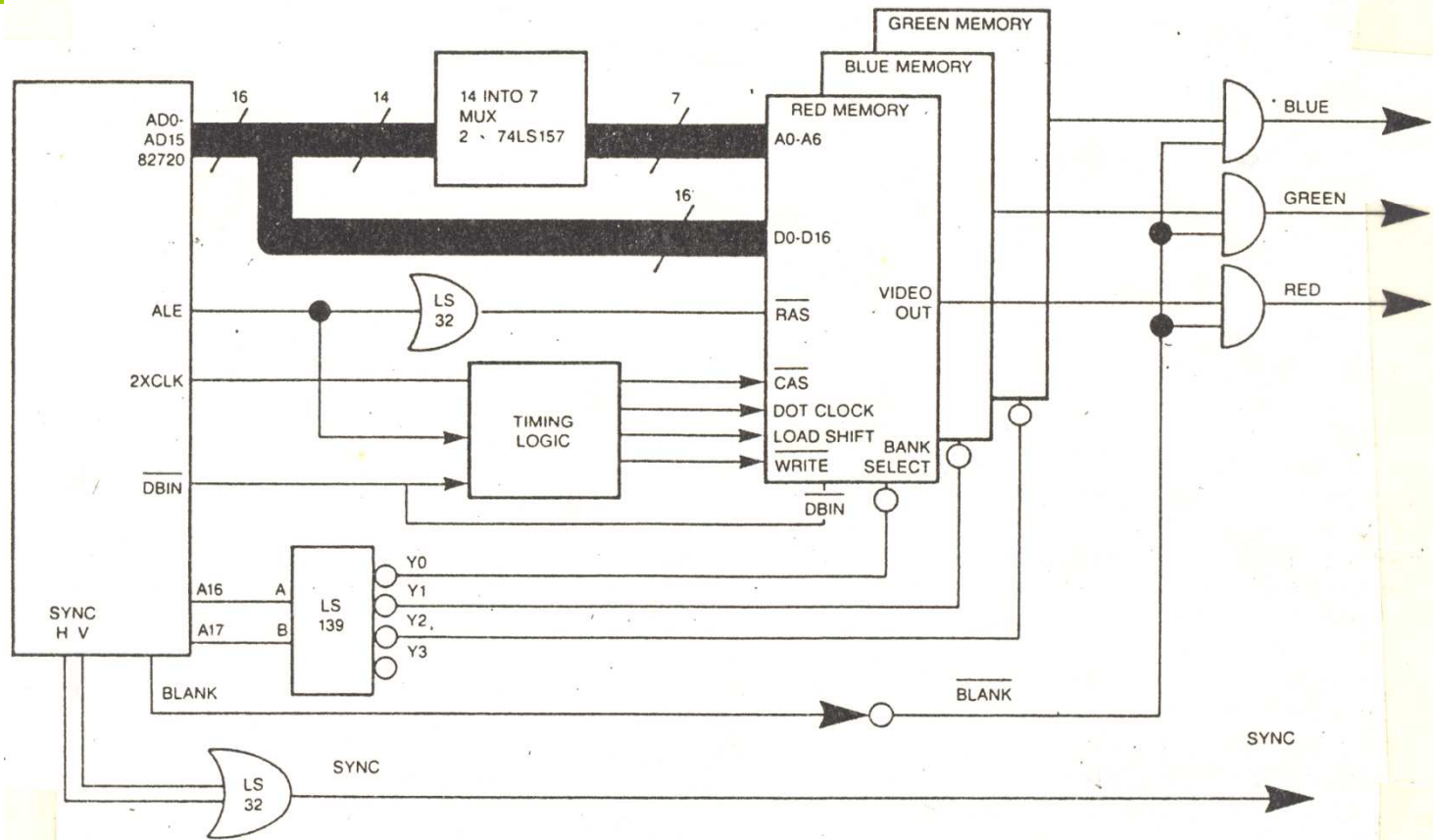
Princip grafičkog kontrolera

- Primer – grafički displej-kontroler i82720



- Projektovanje grafičkog kontrolera
 - rezolucija: 512x512
 - broj boja: 8
 - pixmapa: $\log_2 8 = 3 \text{ bit/pix}$
 - 3 memorijske “ravni” sa 1bit/pix, svaka za jednu osnovu boju RGB

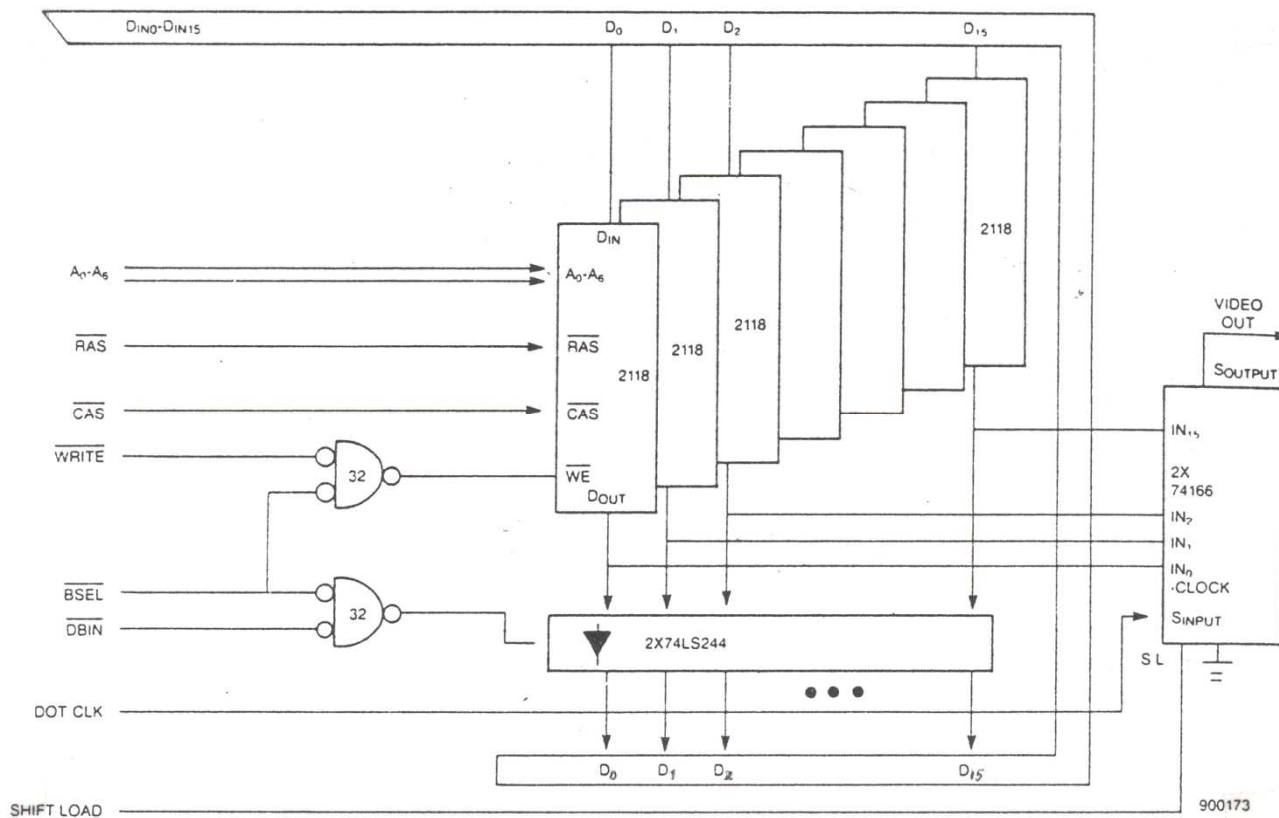
Organizacija video-memorije



Proračun video memorije

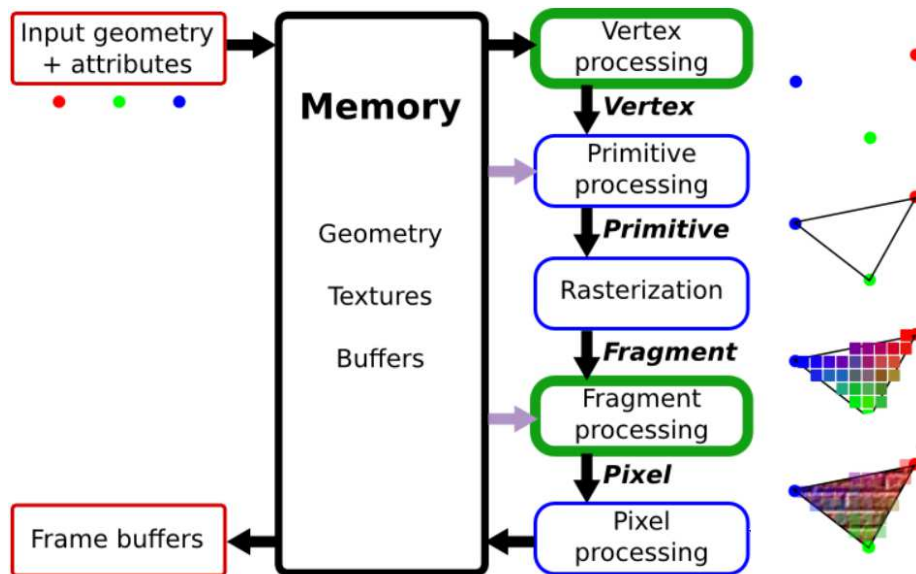
- Za rezoluciju $512 \times 512 = 256\text{Kpixel} \times 1 \text{ bit/pixel} = 256\text{Kbit}$
 - organizacija memorijske banke: $16\text{Kword} \times 16\text{bit/word} = 256\text{Kbit}$
 - čip dinamičkog RAM-a 2118: $16\text{K} \times 1\text{bit}$
 - potrebno 16 čipova, svaki za 1 bit reči od 16bita
 - za adresiranje 16Kbita potrebno: $2^{14} = 2^7\text{row} \times 2^7\text{col}$
 - po 7 adresnih linija za adresu reda, odnosno kolone
- Signali RAS i CAS (*row/column address strobe*) sa odgovarajućom adresom aktiviraju vrstu/kolonu memorijskog čipa
- BSEL selektuje banku memorije
- DBIN se aktivira za čitanje iz video memorije

Organizacija jedne banke VM

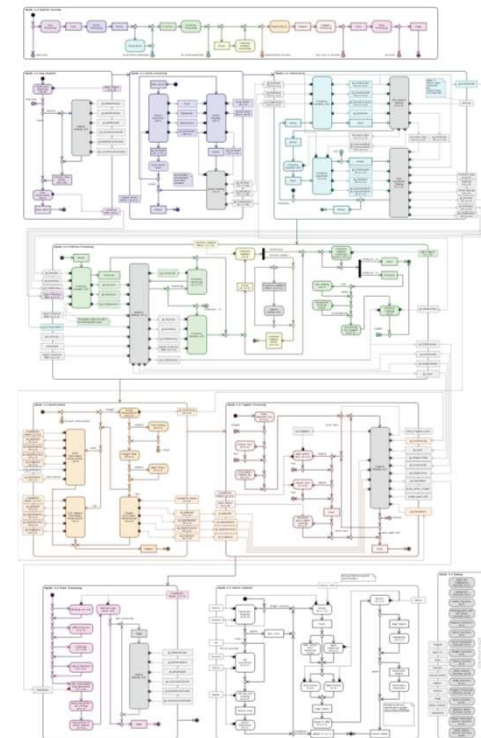


Grafička protočna obrada (1)

- OpenGL 4.4 – šematski prikaz:
- Pojednostavljeno (OpenGL 2):



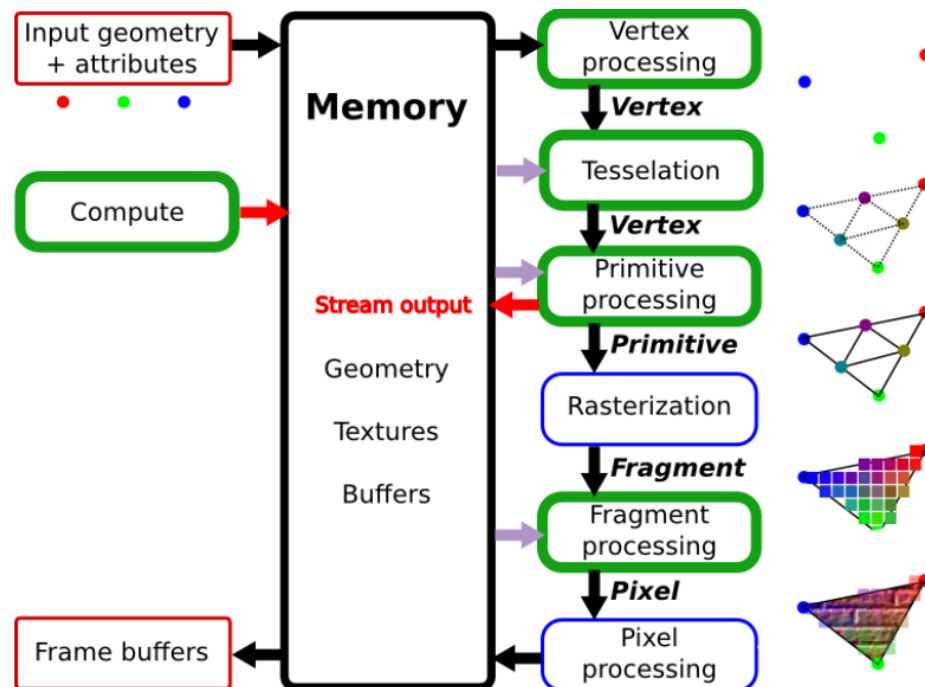
Preuzeto sa: <http://romain.vergne.free.fr/teaching/IS/SI03-pipeline.html>



Preuzeto sa: <http://openglinsights.com/pipeline.html>

Grafička protočna obrada (2)

- OpenGL 4 – novi tipovi programa za senčenje (*shaders*)



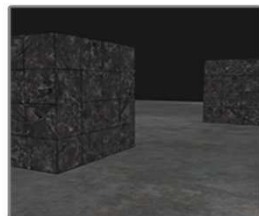
Preuzeto sa: <http://romain.vergne.free.fr/teaching/IS/SI03-pipeline.html>

Memorija grafičkog kontrolera

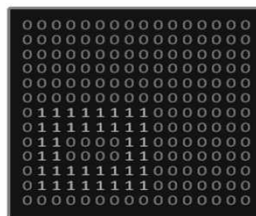
- Baferi
 - bafer boje (color buffer)
 - bafer dubine (depth/Z buffer)
 - bafer šablona (stencil buffer)
- Memorija za geometriju (temena, stranice, normale)
- Memorija za teksturu

Bafer šablona

- Bafer šablona (*stencil buffer*)
 - obično sadrži 8 bita po pikselu (256 različitih vrednosti)
 - obično deli istu memoriju sa z-baferom, npr. 24:8 bita, *depth:stencil*
- Test šablona (*stencil test*) prihvata/odbacuje crtanje piksela
 - poredi se sadržaj bafera šablona sa zadatom referentnom vrednošću
 - sledi obradu fragmenta, prethodi testu dubine
- Sadržaj bafera šablona može da se ažurira za vreme iscrtavanja da se postignu neki efekti



bafer boje



bafer šablona



rezultantna slika

Preuzeto sa:
[https://learnopengl.com/
#!Advanced-OpenGL/Stencil-testing](https://learnopengl.com/#!Advanced-OpenGL/Stencil-testing)

Bafer šablona – korišćenje

- Jednostavan način korišćenja bafera šablona
 - omogući se upis u bafer šablona
 - crtaju se objekti, ažurirajući sadržaj bafera šablona
 - onemogući se upis u bafer šablona
 - crtaju se objekti uz omogućen test šablona
- OpenGL / Direct3D imaju podršku za rad sa baferom šablona
- Funkcija testa šablona:
 - primenjuje se na vrednost u baferu i zadatu referentnu vrednost
 - NEVER, ALWAYS, EQUAL, NOTEQUAL, LESS, LEQUAL, GREATER, GEQUAL

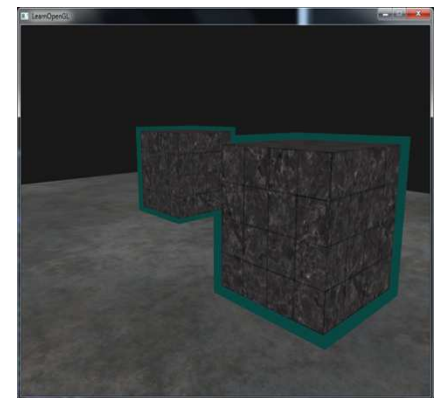
Bafer šablona – operacija za upis

- Operacija za upis u bafer šablona
 - kada se primenjuje:
 - test šablona nije prošao
 - test šablona prošao, nije prošao test dubine
 - oba testa prošla
 - šta se radi u odgovarajućem slučaju:

Akcija	Opis
GL_KEEP	Zadržava se tekuća vrednost smeštena u bafer
GL_ZERO	Vrednost se postavlja na 0
GL_REPLACE	Vrednost se zamenjuje referentnom vrednošću
GL_INCR	Vrednost se inkrementira za 1 ako je manja od maksimalne
GL_INCR_WRAP	Isto kao GL_INCR, samo postaje 0 ako se prevaziđe maksimum
GL_DECR	Vrednost se dekrementira za jedan ako je veća od minimalne
GL_DECR_WRAP	Isto kao GL_DECR, samo postaje maksimalna vrednost ako podbaci 0
GL_INVERT	Invertuje bite tekuće vrednosti u baferu šablona

Bafer šablona – primena

- Rastersko oivičenje
 - postavi se `ALWAYS` funkcija i ref. vr. 1
 - iscrtaju se objekti
 - u baferu šablona je 1 na mestu gde su objekti vidljivi
 - postavi se `NOTEQUAL` funkcija i ref. vr. 1
 - jedinice u baferu šablona štite nacrtane objekte
 - onemogućí se test dubine i upis u bafer šablona
 - skalira se svaki od objekata malim skala faktorom
 - nacrtaju se objekti bojom oivičenja
 - omogućí se upis u bafer šablona i test dubine



Preuzeto sa:
[https://learnopengl.com/
#!Advanced-OpenGL/Stencil-testing](https://learnopengl.com/#!Advanced-OpenGL/Stencil-testing)

Karakterisitike kontrolera – primer

- nVidia Geforce GTX 1080 Ti
 - CUDA cores: 3,584
 - Texture units: 224
 - ROP units: 88
 - Base clock: 1.48GHz
 - Boost clock: 1.582GHz
 - Video memory: 11GB GDDR5X
 - Memory clock: 5.505GHz
 - Memory data rate: 11Gbps

Savremeni grafički kontroleri

AMD Radeon
RX 580



nVidia Quadro P6000



nVidia GeForce GTX 1080 Ti