

3.3 ARHITEKTURA GRAFIČKIH SISTEMA

Tehnologija prikaznih uređaja bitno utiče na arhitekturu grafičkih sistema. U tom smislu razlikujemo dvije osnovne skupine grafičkih sistema:

- **vektorski grafički sistemi** (sistemi s proizvoljnom putanjom otklonjene zrake),
- **rasterski grafički sistemi** (sistemi sa sekvencijalnom putanjom otklonjene zrake).

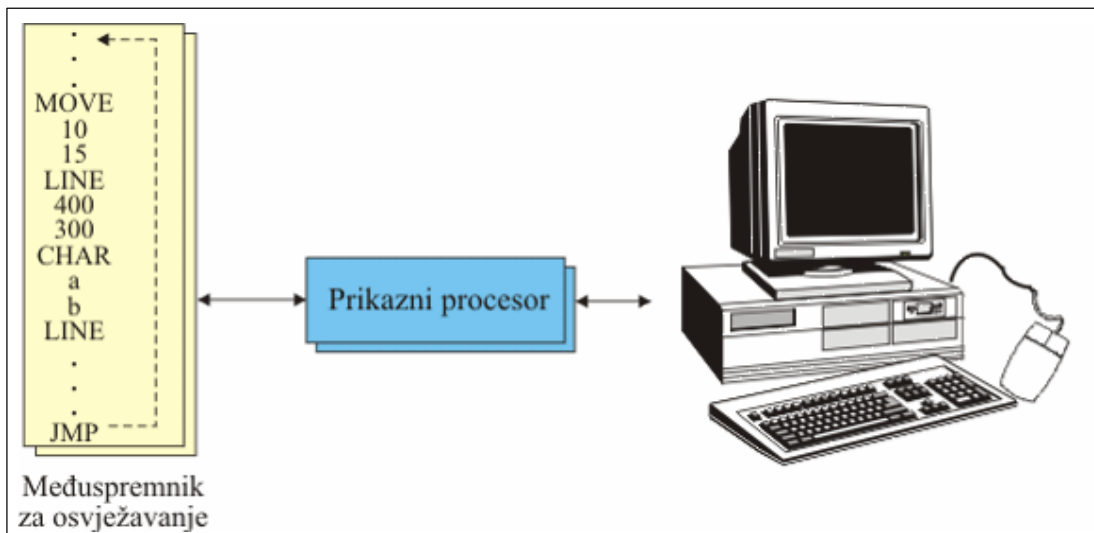
3.3.1 Vektorski grafički sistemi

Vektorski grafički sistemi razvijani su od sredine 60ih godina i u standardnoj upotrebi bili su do sredine 80ih godina. Pojam “vektor” ovdje označava crtu. **Crta koja povezuje dvije (proizvoljno) odabrane tačke na ekranu osnovni je element grafičkog prikaza.** Putanja zrake određena je slijedom naredbi iz prikazne liste ili prikaznog programa i povezuje krajnje tačke pojedinih crta.

Dijelovi vektorskog grafičkog sistema su:

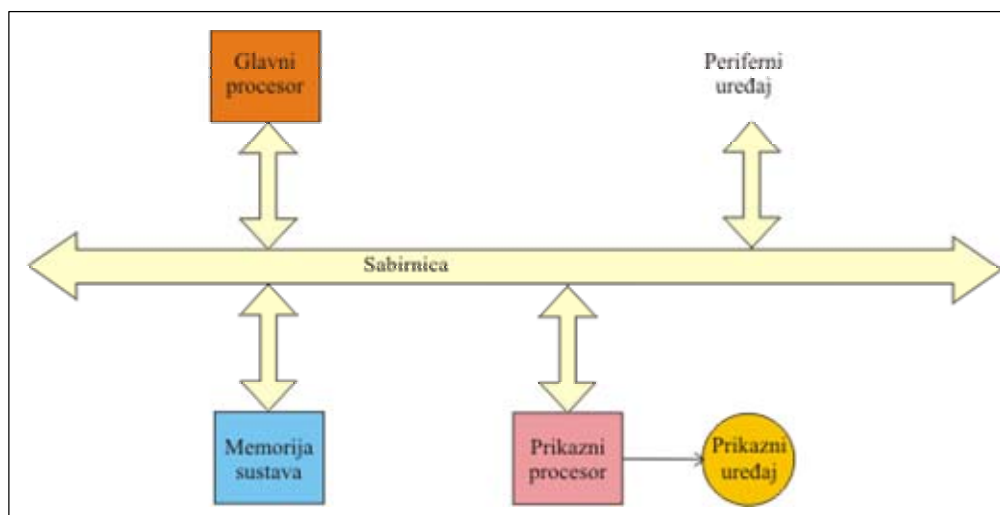
- **prikazni procesor** priključen kao U/I uređaj na glavni procesor (interpretira grafičke naredbe i proslijeđuje koordinate točaka vektorskom generatoru),
- **prikazna privremena memorija** (sadrži prikaznu listu ili prikazni program – na slici 3.3.1 označen kao međuspremnik za osvježavanje),
- **vektorski generator** (pretvara digitalne koordinate u analogne vrijednosti napona za otklonski sustav)
- **prikazni uređaj.**

Arhitektura grafičkog sustava s vektorskim prikaznim uređajem prikazana je na slici 3.3.1:



Sl. 3.3.1 Arhitektura grafičkog sistema s vektorskim prikaznim uređajem

Prikazna lista ili prikazni program sadrži niz grafičkih naredbi (npr. za crtanje tačaka, crta, znakova). Na kraju je naredba JMP (skok) koja upućuje procesor na početak liste. Procesor ciklički ponavlja naredbe iz prikazne liste frekvencijom od najmanje 30 puta u sekundi i na taj način stvara privid mirne slike jednolikog intenziteta na fosfornom ekranu koji zadržava osvijetljenost u desecima ili stotinama mikrosekundi.



Sl. 3.3.2 Arhitektura vektorskog grafičkog sistema

Glavni procesor izvodi aplikacijski program i grafički paket koji su pohranjeni u memoriji sistema. **Grafički paket** kreira prikaznu listu i ukazuje na početnu naredbu. **Memoriji sistema** pristupaju glavni procesor i grafički prikazni procesor (prikazna procesorska jedinica, grafički kontroler). **Grafički prikazni procesor** dohvata, dekodira i izvodi naredbe iz prikazne liste. Procesor u pravilu ima X i Y registre i brojač naredbi. Naredbe su definirane kao 16-bitne riječi. Tipična je naredba LD s inačicama M, P, L (load and move; load and point; load and line) za pomak, crtanje tačke i crtanje ravne crte. Parametar R/A određuje da li se radi o relativnoj ili apsolutnoj adresi.

```
LD {X/Y} {R/A} M [ 0 0 0 X/Y R/A (X/Y/dX/dY) ]
LD {X/Y} {R/A} P [ 0 0 1 X/Y R/A (X/Y/dX/dY) ]
LD {X/Y} {R/A} L [ 0 1 0 X/Y R/A (X/Y/dX/dY) ]
{X/Y}: 0 => X , 1 => Y
{R/A} : 0 => dX/dY , 1 => X/Y
```

Sl. 3.3.3 Struktura naredbi LD i značenje vrijednosti parametara {X/Y} i {R/A}.

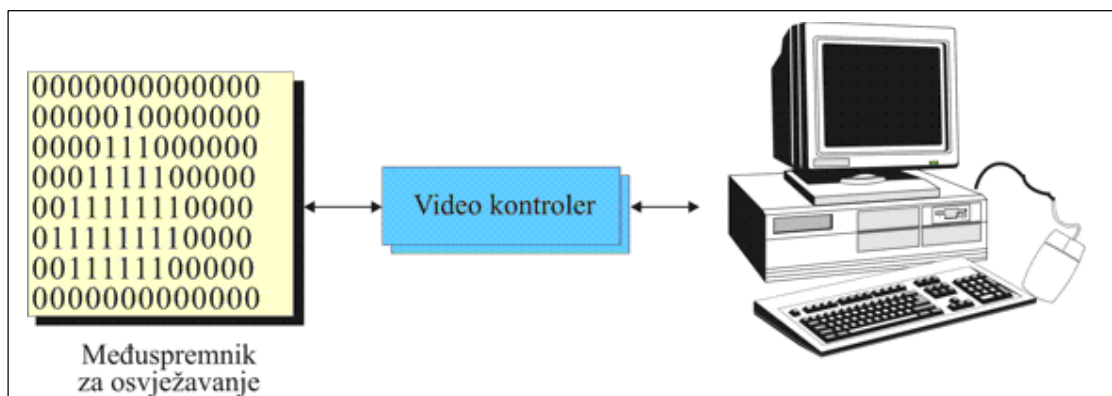
| | | |
|-----------------|----------------------|---------------------------|
| POCETAK: | LDXA 100 | |
| | LDYAM 100 | Pomak na (100,100) |
| | LDXRL 400 | crta do (500,100) |
| | LDYRL 400 | crta do (500,500) |
| | LDXRL -400 | crta do (100,500) |
| | LDYRL -400 | crta do (100,100) |
| | JUMPR POCETAK | |

Sl. 3.3.4 Primjer prikazne liste koja prikazuje kvadrat stranice dužine 400, s lijevim donjim vrhom u tački (100,100)

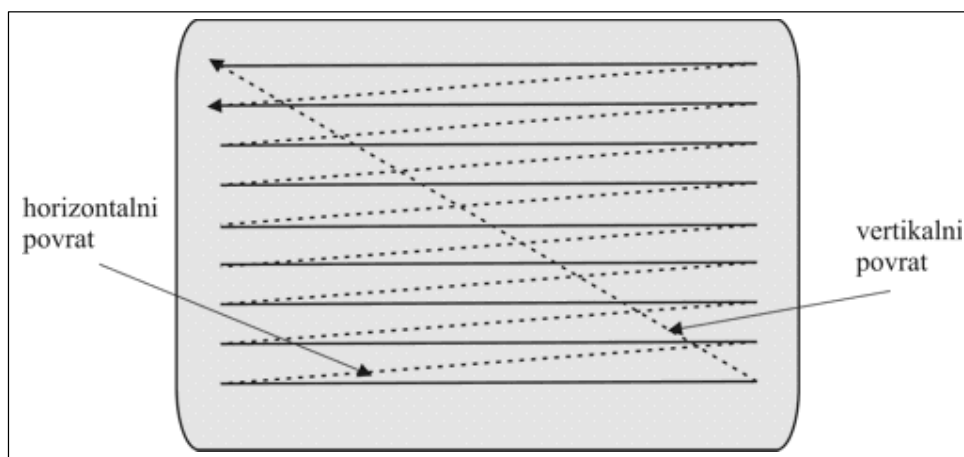
Vektorski grafički sistemi nemaju mogućnost prikaza ispunjenih površina, manipulaciju bitovima i tablicama, ali mogu ostvariti veće rezolucije od rasterskih sistema i prikazivati glatke kose crte.

3.3.2 Rasterski grafički sistemi

Rasterska grafika (*bitmap graphics, raster graphics*) razvila se ranih 70-ih godina na temelju jeftine televizijske tehnologije. Relativno niska cijena rasterskih prikaznih uređaja u odnosu na do tada razvijenu vektorsku prikaznu tehnologiju, učinila je računarsku grafiku široko dostupnom, te omogućila njen nagli razvoj. **Rasterski prikazni uređaji pohranjuju primitivne oblike** (kao što su crte, alfanumerički znakovi, ispunjene površine) **u memoriju u obliku njihovih osnovnih sastavnih slikovnih elemenata - piksela**. Cjelovita slika prikazuje se na rasteru koji predstavlja niz paralelnih horizontalnih redova slikovnih elemenata (ili pravokutnu matricu slikovnih elemenata), koji prekrivaju čitavu površinu ekrana. Pri kreiranju prikaza zraka prolazi preko svih piksela uvijek istim slijedom po svim horizontalnim redovima piksela slijeva nadesno od gornjeg do donjeg horizontalnog reda piksela. Arhitektura grafičkog sistema s rasterskim prikaznim uređajem prikazana je na slici 3.3.5. Putanja zrake (raster scan) pri kreiranju grafičkog prikaza prikazana je na slici 3.3.6. U dvorazinskim sistemima, intenzitet zrake pri prolasku preko pojedinog piksela određuje njegovu svjetloću, odnosno boju (jednu od dvije moguće). U sistemima s prikazom u boji, koriste se tri zrake (crvena, zelena i plava), a kombinacija njihovih intenziteta određuje boju piksela. Pri povratku na početak slijedećeg reda piksela zraka se zatamnjuje (ne izaziva vidljivu promjenu intenziteta ili boje piksela).



Sl. 3.3.5 Arhitektura grafičkog sistema s rasterskim prikaznim uređajem.



Sl. 3.3.6 Putanja zrake (raster scan) pri kreiranju prikaza na rasterskom prikaznom uređaju.

Osnovni pojmovi rasterske grafike su:

- **slikovni element ili piksel** - elementarna površina na ekranu, čijom svjetloćom (ili bojom) je moguće upravljati (piksel, pel - picture element),
- **raster** - niz paralelnih horizontalnih redova slikovnih elemenata, pravokutna matrica slikovnih elemenata koja prekriva čitavu površinu ekrana,
- **bit matrica** (*bitmap*) - matrica čiji elementi (1, 0) predstavljaju svjetloću (ili boju) odgovarajućih elemenata pravokutnog rasporeda osvijetljivih tačaka ekrana (piksela) u dvorazinskom sistemu (informacijski kapacitet 1 bit/piksel)

- **matrica slikovnih elemenata ili piksela** (*pixmap - pixel map*) - matrica čiji elementi predstavljaju boju odgovarajućih elemenata pravokutnog rasporeda osvjetljivih tačaka ekrana (piksela) u višerazinskom sistemu (informacijski kapacitet n bit/piksel)

U **dvorazinskim sistemima** s 1024x1024 piksela, čitava bit matrica zauzima 2^{20} bitova, odnosno 128 kB. Jednostavniji sistemi imaju **8 bit/piksel**, što odgovara 256 razina sivog ili boja, dok složeniji sistemi imaju **24 bit/piksel**, što odgovara 16 milijuna boja i zahtijeva 3.75MB memorije za pohranu.

Da bi se ubrzao proces pretvorbe modela slike u rasterski prikaz, često se koriste posebni namjenski procesori (raster image processor) koji imaju ulogu koprocesora ili ubrzivača (accelerator).

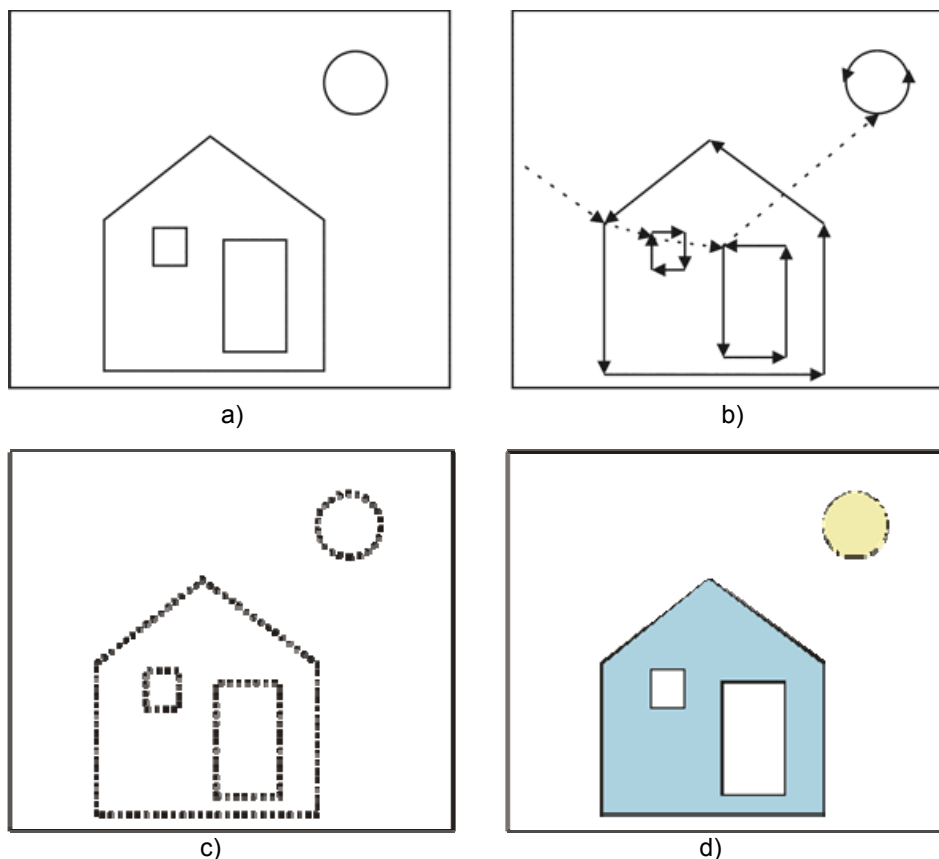
Prednosti rasterske grafike su:

- **jednostavni i jeftini prikazni sistemi** (jednostavnije je realizirati sistem koji uvijek istom putanjom prelazi sve aktivne tačke ekrana, nego sistem koji može precizno upravljati proizvoljnom putanjom zrake),
- **mogućnost prikaza površina ispunjenih bojom ili uzorkom** (važno za 3D prikaze),
- **neovisnost postupka osvježavanja o složenosti slike.**

Nedostaci rasterske grafike su:

- **računska složenost** (zbog diskretizacije slikovnih prikaza objekata),
- **diskretna narav slike** (zbog zrnate strukture slike, kose i zakrivljene crte su nazubljene ili stepenaste).

Uporedba načina kreiranja grafičkog prikaza na rasterskom i vektorskom prikaznom uređaju prikazana je na slici 3.3.7.



Sl. 3.3.7 Uporedba načina kreiranja grafičkog prikaza na rasterskom i vektorskom prikaznom uređaju
 a) idealna slika, b) slika generirana na vektorskom uređaju,
 c) slika generirana na rasterskom prikaznom uređaju, d) rasterski prikaz s ispunjenjem slike

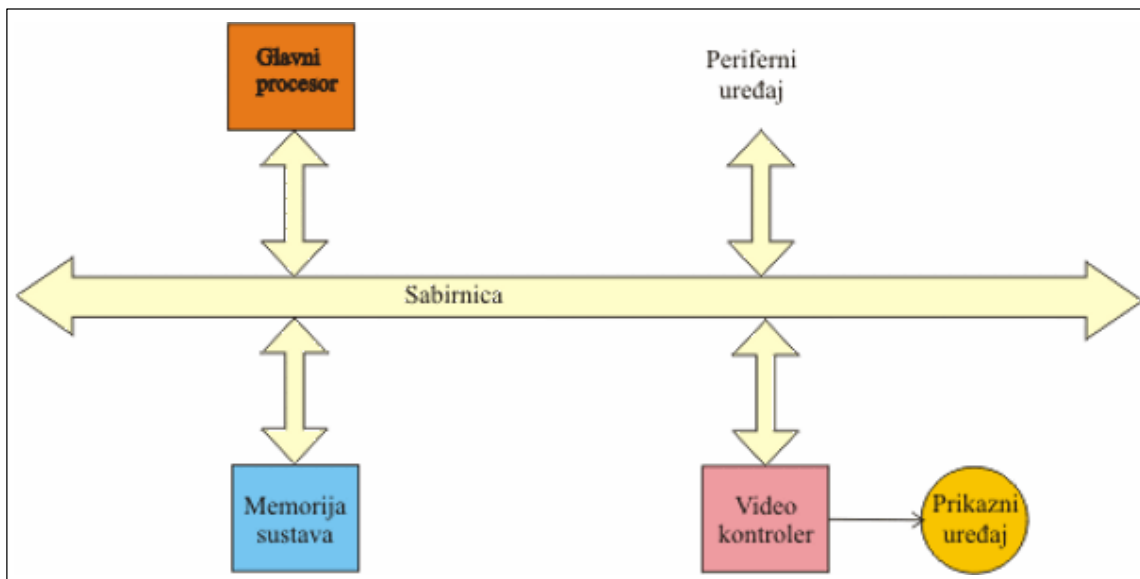
3.3.3 Arhitekture rasterskih prikaznih sistema

U rasterskim prikaznim sistemima, **grafički prikazni procesor** (grafički kontroler, prikazni koprocesor) **pretvara izlazne primitivne oblike u bit matricu, te izvodi transformacije i izmjene**. Sistemi se razlikuju s obzirom na raspodjelu poslova između glavnog procesora i grafičkog prikaznog procesora, te s obzirom na način pohrane bit matrice.

Jednostavni rasterski prikazni sistem

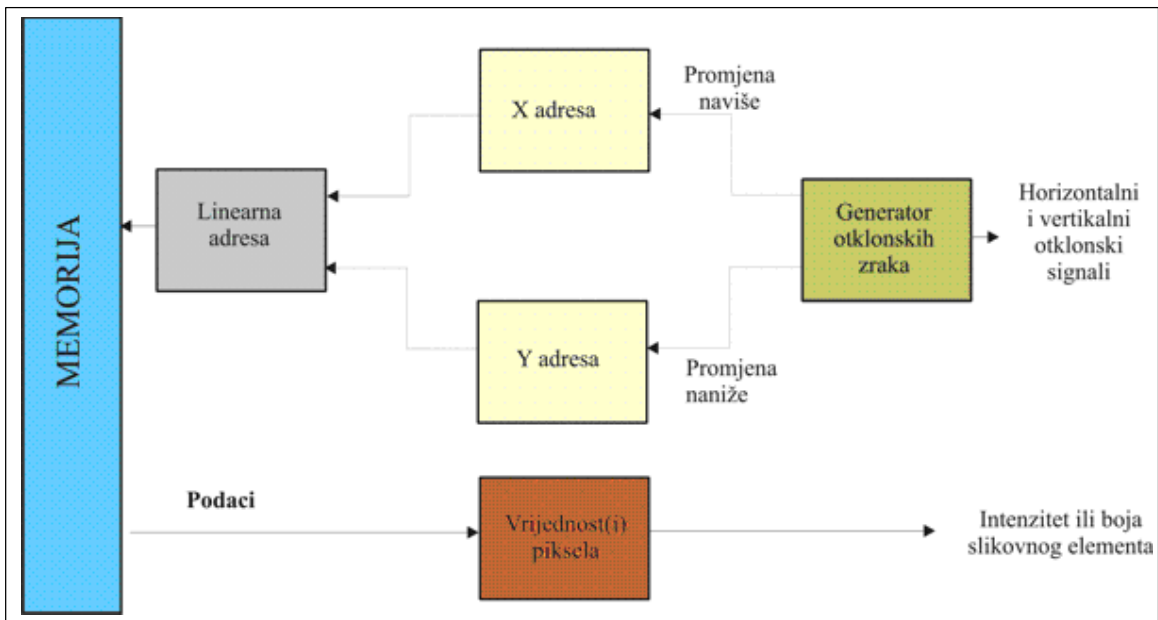
Arhitektura jednostavnog rasterskog prikaznog sistema prikazana je na slici 3.3.8. Osnovna svojstva ove arhitekture su:

- odnos memorije i glavnog procesora je isti kao kod negrafičkih sistema,
- dio memorije služi kao bit matrica (fiksni dio, stranice, proizvoljni dio),
- aplikacijski program i grafički paket pohranjeni su u memoriji sistema, a izvodi ih glavni procesor,
- video-kontroler prikazuje slike pohranjene u okvirnom međuspremniku,
- video-kontroler koji sadrži generator adresa i otklonskih signala adresira lokacije međuspremnika okvira u memoriji, a podaci određuju intenzitet ili boju slikovnih elemenata,
- nedostatak ovakve arhitekture je sporost i veliki broj pristupa memoriji.



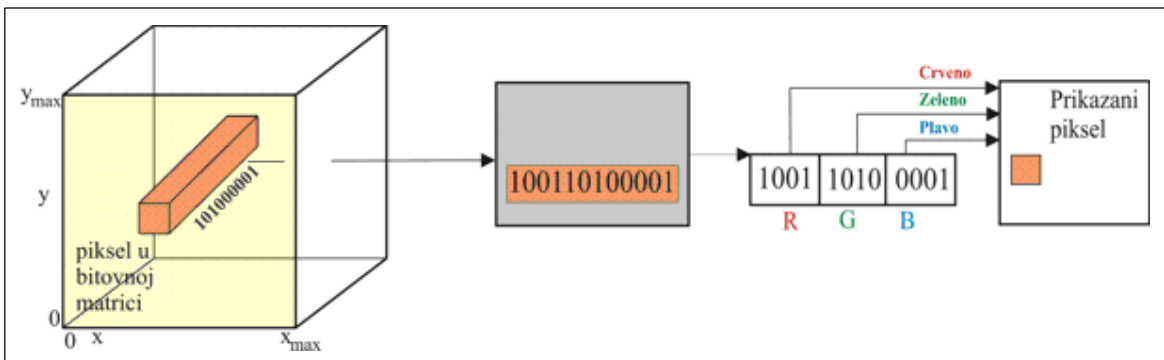
Sl. 3.3.8 Arhitektura jednostavnog rasterskog prikaznog sistema

Video-kontroler ima zadaću stalnog osvježavanja prikaza. Da bi se izbjegao efekat treperenja, osvježavanje se treba obavljati frekvencijom od minimalno 60 Hz. Ako se svi redovi piksela u rasteru osvježavaju istovremeno, radi se o **sistemu bez prepletanja** (*noninterlaced*). Ako se izmjenično osvježavaju parni i neparni redovi u rasteru (u pravilu upola manjom frekvencijom) radi se o **sistemu s prepletanjem** (*interlaced*). Na slici 3.3.9 prikazana je logička organizacija video-kontrolera. Generator horizontalnih i vertikalnih otklonskih signala usmjerava zraku na određeni slikovni element na ekranu. Istovremeno generira i horizontalnu i vertikalnu adresu piksela u koordinatnom sistemu ekrana. Na temelju tih koordinata izračunava se linearna adresa (adresa pripadajuće memorijske lokacije) na kojoj se nalaze podaci o svjetloći ili boji slikovnog elementa. Na temelju tih podataka postavljaju se parametri svjetlosnih izvora koji određuju svjetloću ili boju slikovnog elementa.



Sl. 3.3.9 Logička organizacija video-kontrolera

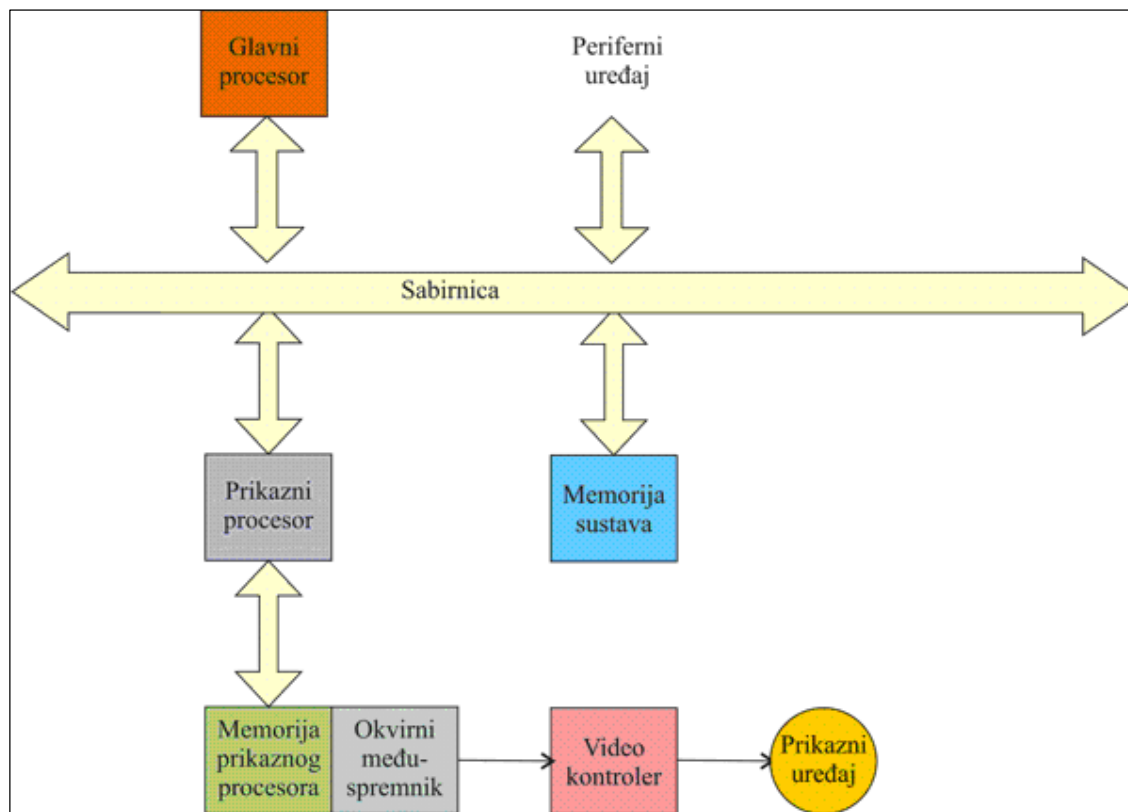
Zbog uštede memorijskog prostora, video-kontroler često sadrži **pretvorbenu tablicu** (*look-up table, LUT*). Pretvorbena tablica ima onoliko elemenata koliko ima različitih vrijednosti piksela. Vrijednost piksela ne koristi se izravno za upravljanje bojom piksela, nego predstavlja pokazivač u pretvorbenu tablicu. **Pokazana vrijednost iz pretvorbene tablice upravlja zrakama koje određuju boju piksela na ekranu.** Na slici 3.3.10 je prikazana logička organizacija pretvorbene tablice s 256 elemenata, koja je povezana s međuspremnikom s 8 bit/piksel.



Sl. 3.3.10 Logička organizacija pretvorbene tablice

Rasterski prikazni sistem sa zasebnim prikaznim procesorom

Uvođenjem **zasebnog prikaznog procesora**, koji preuzima grafičke funkcije, kao što je pretvorba modela u **rasterski prikaz**, mogu se poboljšati svojstva sistema u odnosu na jednostavni rasterski prikazni sistem. U tom slučaju, u sistemu će procesorske funkcije biti raspodijeljene između dva procesora: **glavnog procesora opće namjene** i **specijaliziranog grafičkog prikaznog procesora**. Pored toga, u sistemu su definirana **tri odvojena memorijska područja**: **glavna memorija sistema**, **memorija prikaznog procesora** i **zasebni međuspremnik okvira**. Memorija sistema sadrži aplikacijski program, grafički paket i operacijski sistem. Memorija prikaznog procesora sadrži podatke i programe za stvaranje slike. Slika se pohranjuje u okvirni međuspremnik. Ovakvom organizacijom memorije omogućava se istovremeni pristup odgovarajućim dijelovima memorije od strane dvaju procesora i video kontrolera. Arhitektura rasterskog prikaznog sistema sa zasebnim procesorom prikazana je na slici 3.3.11.



Sl. 3.3.11 Arhitektura rasterskog prikaznog sistema sa zasebnim prikaznim procesorom

Video kontroler ima zadaću stalnog osvježavanja prikaza. Da bi se izbjegao efekat treperenja, osvježavanje se treba obavljati frekvencijom od minimalno 60 Hz.

Primjeri naredbi za prikazni procesor su:

Move (x,y) - pomak na lokaciju određenu koordinatama (x,y)

MoveR (dx,dy) - relativni pomak u odnosu na trenutnu lokaciju za (dx,dy)

PixelValue (indeks) - vrijednost indeksa upisuje se u registar INDEX. Ova vrijednost se upisuje u memorijske lokacije u bit matrici kad im se pristupi prilikom izvođenja naredbi za crtanje primitivnih oblika, npr. Line (x,y)

Line (x,y) - crtanje crte od trenutne lokacije do lokacije (x,y)

LineR (dx,dy) - crtanje crte od trenutne lokacije do lokacije udaljene za (dx,dy)

AreaFill(a) - ispunjavanje površine definirane naredbama za crtanje zatvorenih likova (parametar a označava aktivnost ili neaktivnost naredbe)

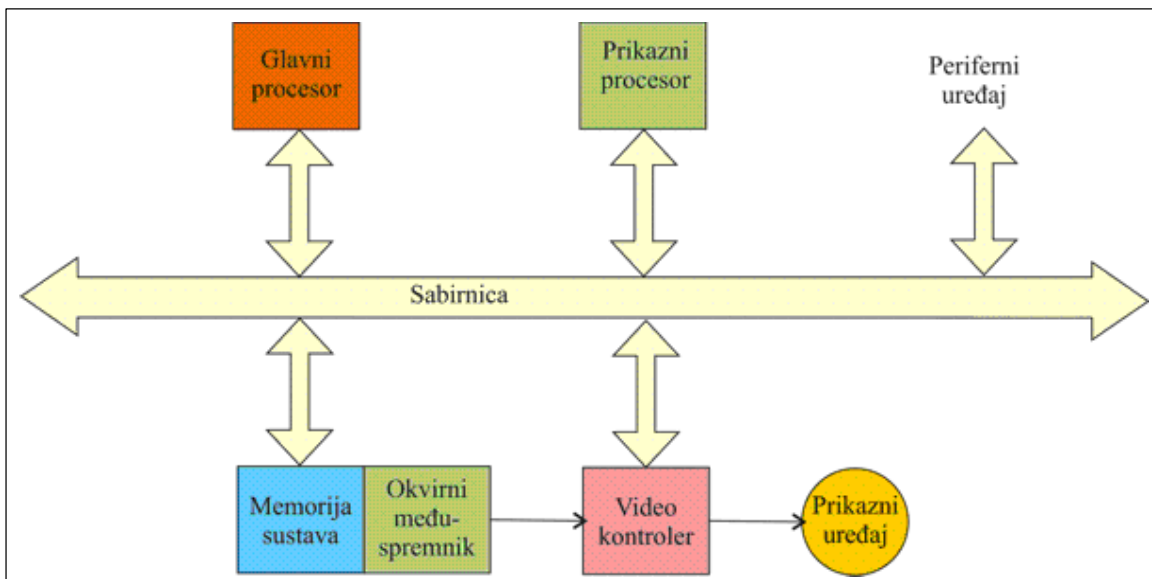
LuT (indeks, r, g, b) - lokacija određena parametrom "indeks" popunjava se vrijednostima parametara r, g i b

Raspodjela funkcija između procesora opće namjene i specijaliziranog grafičkog procesora može se obaviti na različite načine. Prednosti i ograničenja različitih pristupa slijede iz činjenice da su **specijalizirani procesori** u pravilu **brži u izvođenju namjenskih funkcija**, ali su istovremeno i **skuplji od procesora opće namjene**.

Nedostaci ove arhitekture proizilaze iz potrebe za međusobnom komunikacijom dvaju procesora i prijenosom sadržaja između različitih memorijskih prostora, na primjer jedan memorijski sadržaj priprema se i mijenja u jednom memorijskom prostoru, a isčitava se iz drugog memorijskog prostora. Ove komunikacije i prijenosi sadržaja mogu predstavljati značajno opterećenje za sistem u cjelosti.

Rasterski prikazni sistem s jedinstvenim memorijskim prostorom

Nedostaci arhitekture rasterskog sistema sa zasebnim prikaznim procesorom mogu se izbjeći **objedinjavanjem memorijskog adresnog prostora**. U tom slučaju moguća je fleksibilna dodjela memorijskih prostora i pristupa, što pojednostavljuje i programiranje. Arhitektura rasterskog prikaznog sistema s integriranim procesorom prikazana je na slici 3.3.12.



Sl. 3.3.12 Arhitektura rasterskog prikaznog sistema s integriranim prikaznim procesorom

Nedostaci ove arhitekture proizilaze iz potrebe za istovremenim pristupom memoriji od strane dvaju procesora. Jedno rješenje je u korištenju priručne memorije u samom procesoru opće namjene (cache memorija). Time se smanjuje broj i učestalost pristupa memoriji od strane glavnog procesora. Jedan način poboljšanja sistema je i korištenje posebne vrste memorije, kao što je video RAM (VRAM) koja u jednom instrukcijskom ciklusu omogućava pristup odabranoj skupini piksela i promjenu njihove vrijednosti.