

RAČUNARSKA GRAFIKA - UVOD

Računarska grafika se naglo razvija i širi od pojave personalnih računara. Visoko razvijena sposobnost prepoznavanja oblika kod čoveka čini računarsku grafiku jednim od najprirodnijih načina komunikacije s računarem. Grafička interakcija pomoću rasterskog prikaza postala je standardnim sastavnim delom računarskih korisničkih interfejsa.

Interaktivna grafika kao sredstvo efikasne komunikacije između korisnika i računara poboljšava sposobnost razumevanja podataka, uočavanja trendova i vizualizacije stvarnih i imaginarnih objekata. Na taj način doprinosi povećanju kvaliteta rezultata rada i proizvoda, smanjenju troškova analize i projektovanja, te povećanju produktivnosti.

Sadržaj računarske grafike

Računarska grafika (engl. *computer graphics*) obuhvata stvaranje, čuvanje i upotrebu modela i slika objekata. Modeli i objekti računarske grafike potiču iz različitih područja: prirode, nauke, inženjerstva, apstraktnih koncepata...

Dok je predmet **računarske grafike** sinteza slika na osnovu računarskih modela stvarnih ili imaginarnih objekata, obrnuti procesi analize scene i rekonstrukcije modela objekata predmet su discipline koja se naziva **obrada slike** (engl. *image processing*). Obrada slike obuhvata podpodručja: poboljšanje slike (engl. *image enhancement*) - razvoj i primena tehnika poboljšanja kvaliteta slike i povećanja kontrasta, detekcije i prepoznavanja uzoraka (engl. *pattern detection and recognition*) - otkrivanje standardnih uzoraka na slici uključujući npr. optičko prepoznavanje alfanumeričkih znakova (engl. *optical character recognition*), analizu scene i računarski vid (engl. *scene analysis and computer vision*) - prepoznavanje i rekonstrukcija 3D modela scene na osnovu više 2D slika.

Iako se računarska grafika i obrada slike bave računarskom obradom slika u početku svog razvoja bile su razdvojene discipline. S razvojem rasterske grafičke tehnologije dolazi do trenda konvergencije ovih dveju disciplina.

Primeri primene računarske grafike

Računarska grafika danas se koristi u različitim područjima privrede, administracije, edukacije, zabave i svakodnevnog kućnog života. Područje primene se ubrzano širi s rasprostranjenošću računara. Neki primeri primene računarske grafike uključuju:

- **korisničke interfejsse** (većina aplikacija na personalnim računarima i na radnim stanicama imaju grafički sistem prozora (engl. *graphical user interface* – GUI) pomoću koga komuniciraju sa korisnicima. Primeri takvih aplikacija uključuju obradu teksta, stono izdavaštvo, proračunske tabele...);
- **interaktivno crtanje** (u poslovnim, naučnim i tehnološkim primenama računarska grafika koristi se za prikazivanje funkcija, dijagrama, histograma i sličnih grafičkih prikaza sa svrhom jasnijeg sagledavanja složenih pojava i olakšanja procesa odlučivanja);
- **kancelarijska automatizacija i elektronsko izdavaštvo** (računarska grafika široko se koristi za izradu elektronskih i štampanih dokumenata);
- **projektovanje pomoću računara** (engl. *Computer Aided Design* - CAD danas se standardno koristi za projektovanje sistema i komponenta u mašinstvu, elektrotehnici, elektronici, telekomunikacijama, računarstvu...);
- **simulacija i animacija** (računarska grafika koristi se za naučnu i inženjersku vizuelizaciju i zabavu; područja primene obuhvataju prikaze apstraktnih matematičkih modela vremenski promenljivih pojava, TV i filmsku tehnologiju...);
- **umetnost** (računarska grafika se koristi za kreiranje umetničkih slika – digitalna umetnost);
- **trgovina** (računarska grafika se koristi za vizuelnu animaciju i elektronsku trgovinu);
- **upravljanje procesima** (podaci iz senzora dinamički se prikazuju u prikladnom grafičkom obliku);
- **geografski informacioni sistemi** (računarska grafika koristi se za tačan prikaz geografski raspodeljenih i rasprostranjenih sistema i mernih podataka npr. u telekomunikacijama i telemetriji);
- **grafičko programiranje** (računarska grafika se koristi za automatizaciju procesa programiranja virtuelnih sistema, npr. u instrumentaciji).

RASTERSKA GRAFIKA

Rasterska grafika ili **bitmapa** je podatak koji predstavlja pravougaonu mrežu piksela ili obojenih tačaka, na nekom grafičkom izlaznom uređaju kao što je monitor ili na paperu. Svaka boja pojedinog piksela je posebno definisana tako da (na primer) RGB slike sadrže tri bajta po svakom pikselu, svaki bajt sadrži jednu posebno definisanu boju.

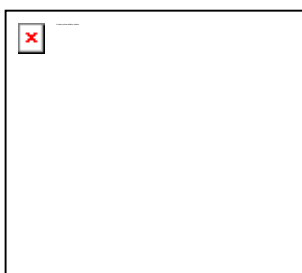
Red Green Blue - to znači da svaka boja ima svoju vrednost, menjanjem vrednosti se dobijaju druge boje osim ove tri osnovne. Što je više ovih vrednosti slika će zauzimati više prostora. Ako je slika crno-bela to znači da piksel zahteva samo jedan bit za razliku od slike u boji koja zahteva tri bajta (RGB) po jednom pikselu. Crno-bele slike su upravo radi toga manje po zauzimanju prostora.



Rasterska RGB slika, svaki piksel ima svoju R, G i B vrednost koja se meri u %.

KVALITET RASTERSKE SLIKE

Kvalitet jedne rasterske slike određuje ukupan broj piksela (rezolucija) kao i broj vrednosti za svaki pojedinačni piksel (dubina boje). Ako je dubina boje veća, više se nijansi može prikazati, to znači bolju sliku kao i verodostojniji prikaz. Slike zahtevaju mnogo memorije, zbog toga se koriste razne vrste sažimanja (kompresije). Bitmapa (bmp) je nesažeta datoteka koja ne koristi nijednu vrstu sažimanja, slike u tom formatu su veoma velike, za razliku od BMP formata mnogo popularniji i češće korišćeniji je Jpeg (jpg) format koji sažima sliku a da se ne primeti gubitak u kvalitetu iako je to nemoguće izvesti, ali je blizu stvarnosti.



Uvećani prikaz rešetke i piksela

Rasterska slika se ne može povećati na veću rezoluciju bez gubitka kvaliteta, što nije slučaj sa vektorskom grafikom. Rasterska grafika je više praktičnija nego vektorska grafika za fotografe i obične korisnike. Vektorsku grafiku koriste grafički dizajneri i DTP uređivači (prelamači). Prve verzije monitora mogle su da prikažu od oko 72 do 130 piksela po inču (PPI), dok današnji printeri mogu da štampaju 2400 tačaka po jednom inču (DPI).

DIGITALNA SLIKA

Digitalna slika je prikaz dvo-dimenzionalne slike sa konačnim skupom digitalnih vrednosti koje se nazivaju pikseli.

Pikseli su memorisani u računarskoj memoriji ili hard disku kao rasterska slika ili rasterska mapa odnosno dvo-dimenzionalni niz malih celina. Često se te vrednosti prenose u sažetoj (komprimovanoj) formi, kao što je jpeg format. Digitalne slike se mogu stvoriti pomoću digitalnog fotoaparata, skenera, radara, seizmološkog profilisanja i tako dalje.

PREGLEDANJE SLIKA

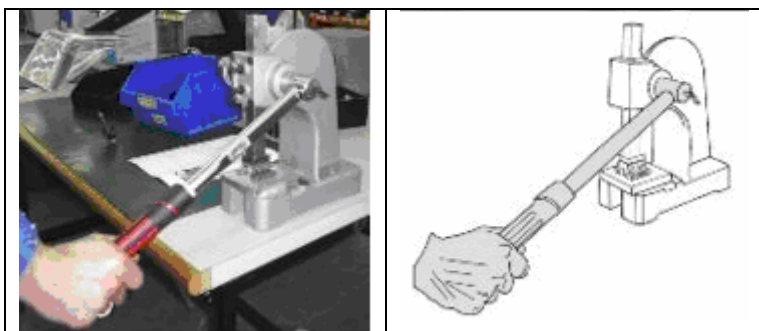
Korisnik može na više načina pregledati razne formate slika. GIF, JPEG i PNG slike se mogu pregledati i preko internet pretraživača zato što su to standardni internet formati. Takođe, za tu svrhu služi pregledač slike (engl. *image viewer*) koji obično čita mnoštvo formata, takav kao što je program IrfanView.

VEKTORSKA GRAFIKA

Vektorska grafika ili **geometrijsko oblikovanje** (eng. *Vector graphics, geometric modeling*) je način prikazivanja slike pomoću geometrijskih oblika kao što su tačke, linije, krive i poligoni, a koji su zasnovani na matematičkim jednačinama.

U principu, vektorski oblici se mnogo lakše pamte nego zahtevne rasterske (bitmapirane) slike. Skoro svi današnji računarski grafički prikazi prevode vektorsku sliku u rasterski format. Rasterska slika je memorisana u memoriju i sadrži podatke za svaki pojedinačni piksel neke slike. Pojam vektorska grafika je većinom korišćen u kontekstu dvo-dimenzionalne računarske grafike. Skoro svako 3D prikazivanje je izvršeno pomoću 2D vektorske tehnike (pomoću tačaka, linija i poligona).

Crtaње i prednosti



Vektorska grafika je dobra za uklanjanje nepotrebnih detalja sa neke fotografije. Na ovoj slici je prikazano kako se vektorska grafika može dobro upotrebiti u informacijskoj grafici i prikazivanju linijske umetnosti.

Kao primer, razmotrimo krug nekog radiusa r . Glavni podaci koje računarski program treba da zna kako bi iscrtao krug su:

1. radius r
2. koordinatnu poziciju centralne tačke kruga
3. stil i boju linije (može biti i providna)
4. stil i boju punjenja objekta (može biti i providno)

Prednosti ovakvog načina crtaња nad rasterskom grafikom:

- Ovako mala količina informacija omogućuje mnogo manju veličinu datoteke
- Mogućnost približavanja (zoom) bez gubitka na kvalitetu
- Sve ove informacije su zapamćene i mogu se kasnije menjati, to znači da pomeranje, skaliranje, rotiranje i popunjavanje, itd., ne smanjuju kvalitet crteža kao kod rasterske slike.

JEDNOSTAVNI GEOMETRIJSKI OBLICI

- Linije
- Poligoni
- Krugovi i elipse
- Bézier krive
- Tekst (računarski fontovi), kao što je TrueType, nastali su od Bézier krivih)

VEKTORSKE RADNJE

Vektorski grafički programi obično omogućuju okretanje, pomeranje, skaliranje (sažimanje ili povećavanje), iskrivljavanje i ostale transformacije objekata, kao i menjanje z-redosleda i povezivanje jednostavnih objekata u više komplikovanih. Zahtevnije transformacije uključuju i Boolove operacije (unija, razlika, presek, itd.).

Vektorska grafika je savršena za jednostavne ili složene crteže koji ne treba da budu foto-realistični. Na primer, PostScript i PDF stranice koriste jezik vektorskog grafičkog modela.

ARHITEKTURE GRAFIČKIH SISTEMA

Tehnologija prikaznih uređaja bitno utiče na arhitekturu grafičkih sistema. U tom smislu razlikujemo dva osnovna skupa grafičkih sistema:

- **vektorski grafički sistemi** (sistemi s proizvoljnom putanjom otklonskog zraka),
- **rasterski grafički sistemi** (sistemi sa sekvencijalnom putanjom otklonskog zraka).

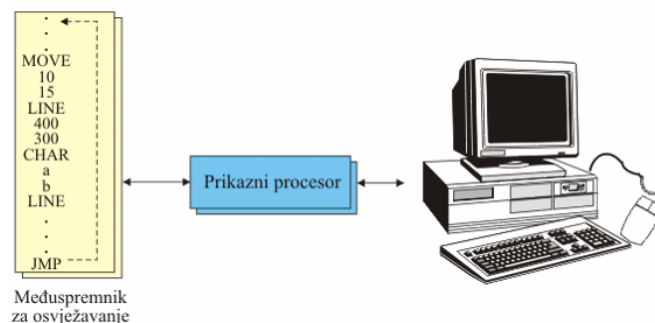
Vektorski grafički sistemi

Vektorski grafički sistemi razvijani su od sredine 60-ih godina i u standardnoj upotrebi bili su do sredine 80-ih godina. Pojam "vektor" ovde označava crtu. Crta koja povezuje dve (proizvoljno) odabrane tačke na ekranu osnovni je element grafičkog prikaza. Putanja zraka određena je sledom naredbi iz prikazne liste ili prikaznog programa i povezuje krajnje tačke pojedinih crta.

Delovi vektorskog grafičkog sistema su:

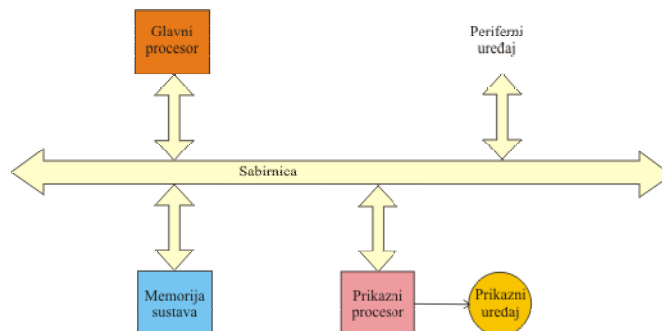
- **prikazni procesor** priključen kao U/I uređaj na glavni procesor (interpretira grafičke naredbe i prosleđuje koordinate tačaka vektorskom generatoru),
- **prikazna privremena memorije** (sadrži prikaznu listu ili prikazni program),
- **vektorski generator** (pretvara digitalne koordinate u analogne vrednosti napona za otklonski sistem)
- **prikazni uređaj.**

Arhitektura grafičkog sistema s vektorskim prikaznim uređajem prikazana je na sledećoj slici:



Arhitektura grafičkog sistema s vektorskim prikaznim uređajem.

Prikazna lista ili prikazni program sadrži niz grafičkih naredbi (npr. za crtanje tačkica, 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 osvetljenost u desetinama ili stotinama mikrosekundi.



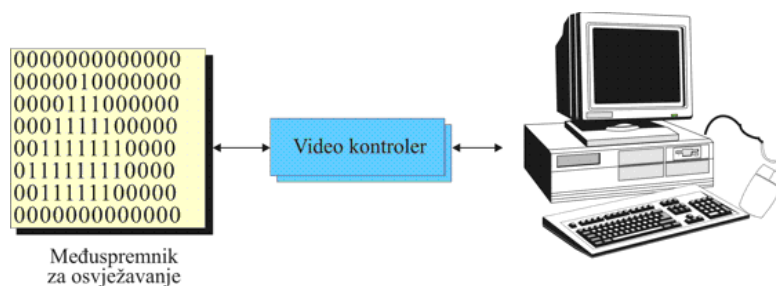
Arhitektura vektorskog grafičkog sistema

Glavni procesor izvodi aplikacijski program i grafički paket koji su memorisani 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 definisane kao 16-bitne reči. Tipična je naredba LD s skraćenicama 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.

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.

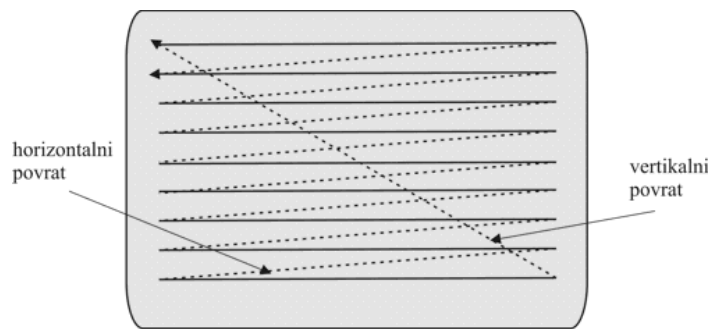
Rasterski grafički sistemi

Rasterska grafika (*bitmap graphics, raster graphics*) razvila se ranih 70-ih godina na bazi jeftine televizijske tehnologije. Relativno niska cena rasterskih prikaznih uređaja u odnosu na dotada razvijenu vektorsku prikaznu tehnologiju učinila je računarsku grafiku široko dostupnom te omogućila njen nagli razvitak. Rasterski prikazni uređaji memorišu primitivne oblike (kao što su crte, alfanumerički znakovi, ispunjene površine) u memoriju u obliku njihovih osnovnih sastavnih slikovnih elemenata - piksela. Celovita slika prikazuje se na rasteru koji predstavlja niz paralelnih horizontalnih redova slikovnih elemenata, (ili pravougaonu matricu slikovnih elemenata) koji prekrivaju čitavu površinu ekrana. Pri kreiranju prikaza zrak prolazi preko svih piksela uvek istim sledom po svim horizontalnim redovima piksela s leva na desno od gornjeg do donjeg horizontalnog reda piksela. Arhitektura grafičkog sistema s rasterskim prikaznim uređajem prikazana je na sledećoj slici.



Arhitektura grafičkog sistema s rasterskim prikaznim uređajem

Putanja zraka (*raster scan*) pri kreiranju grafičkog prikaza prikazana je na sledećoj slici.



Putanja zraka (raster scan) pri kreiranju prikaza na rasterskom prikaznom uređaju

U dvonivovskim sistemima intenzitet zraka pri prolasku preko pojedinog piksela određuje njegovu svetloću odnosno boju (jednu od dve moguće). U sistemima s prikazom u boji koriste se tri zraka (crveni, zeleni i plavi), a kombinacija njihovih intenziteta određuje boju piksela. Pri povratku na početak sledećeg reda piksela zrak se zatamnjuje (ne izaziva vidljivu promenu intenziteta ili boje piksela).

Osnovni pojmovi rasterske grafike su:

slikovni element - elementarna površina na ekranu čijom svetloćom (ili bojom) je moguće upravljati (piksel, pel - picture element)

raster - niz paralelnih horizontalnih redova slikovnih elemenata, pravougaona matrica slikovnih elemenata koja prekriva čitavu površinu ekrana

bitska matrica (*bitmap*) - matrica čiji elementi (1, 0) predstavljaju svetloću (ili boju) odgovarajućih elemenata pravougaonog rasporeda osvetljivih tačaka ekrana (slikovnih elemenata) u dvonivovskom sistemu (informacijski kapacitet 1 bit/piksel)

matrica slikovnih elemenata (*pixmap - pixel map*) - matrica čiji elementi predstavljaju boju odgovarajućih elemenata pravougaonog rasporeda osvetljivih tačaka ekrana (slikovnih elemenata) u višenivovskom sistemu (informacijski kapacitet n bit/piksel)

Da bi se ubrzao proces pretvaranja modela slike u rasterski prikaz često se koriste posebni namenski procesori (engl. *raster image processor*) koji imaju ulogu koprocatora ili ubrzivača (engl. *accelerator*).

Prednosti rasterske grafike su:

jednostavni i jeftini otklonski sistemi (jednostavnije je realizovati otklonski sistem koji uvek istom putanjom prelazi sve aktivne tačke ekrana nego sistem koji može precizno upravljati proizvoljnom putanjom zraka),

mogućnost prikaza površina ispunjenih bojom ili uzorkom (važno za 3D prikaze),

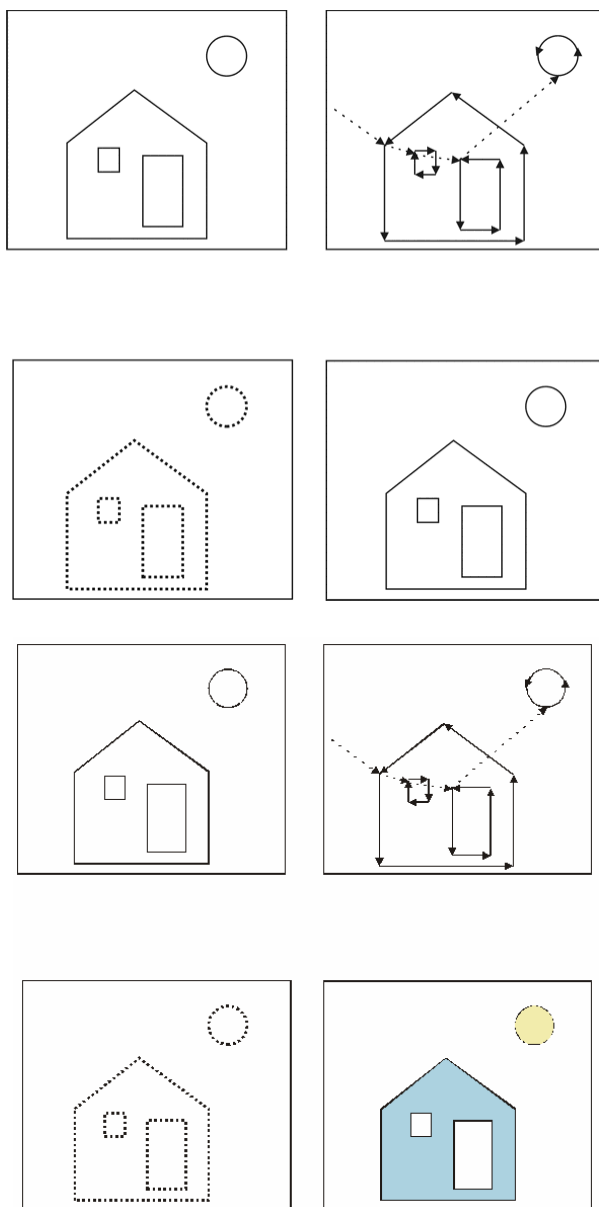
nezavisnost postupka osvežavanja od složenosti slike.

Nedostaci rasterske grafike su:

računska složenost (zbog diskretizacije slikovnih prikaza objekata),

diskretna narav slike (zbog zrnaste strukture slike kose i zakrivljene crte su nazubljene ili stepeničaste),

Poređenje načina kreiranja grafičkog prikaza na rasterskom i vektorskom prikaznom uređaju dato je na sledećoj slici.



Poređenje načina kreiranja grafičkog prikaza na rasterskom i vektorskom prikaznom uređaju: a) idealna slika, b) slika generisana na vektorskom uređaju, c) slika generisana na rasterskom prikaznom uređaju, d) rasterski prikaz s ispunjenjem slike.

PRIKAZNE TEHNOLOGIJE

Kvalitet slike na prikaznim uređajima zavisi od veličina koje određuju sposobnost prikazivanja najmanjih elemenata i najfinijih struktura. **Veličina tačke** (engl. *dot size*, *spot size*) je prečnik jedne tačke na slici koju generiše uređaj na svom izlazu. **Gustina tačaka** ili adresibilnost (engl. *adressability*) je broj pojedinačnih (ne nužno i razlučivih) tačaka po jedinici dužine (po pravilu se koristi jedinica dpi - *dots per inch*) koje je moguće generisati. Ova se veličina može razlikovati za vertikalnu i horizontalnu dimenziju. Adresibilnost u smeru x ose odgovara recipročnoj vrednosti razmaka između središta tačaka na adresama (x,y) i $(x+1,y)$, a adresa u smeru y ose recipročnoj vrednosti razmaka između središta tačaka na adresama (x,y) i $(x,y+1)$. **Razmak među tačkama** (engl. *interdot distance*) je recipročna vrednost adresibilnosti. Obično je poželjno da veličina tačke bude nešto veća od razmaka među tačkama jer se na taj način omogućava prikazivanje glatkih oblika zbog delimičnog preklapanja susednih tačaka.

Rezolucija predstavlja broj razlučivih linija po jedinici dužine (uobičajeno se koristi jedinica inč) koje uređaj može generisati. Definiše se kao najveći broj razlučivih naizmeničnih crnih i belih linija po jedinici dužine (uobičajeno se koristi jedinica: *lines per inch*, ili u slučaju izražavanja u broju crno-belih parova linija: *line-pairs per inch*).

Tehnologije štampe

U nizu primena važno je imati mogućnost stvaranja trajnog prikaza slike generisane računarskim grafičkim sistemom. Najprikladnijim načinom pokazalo se štampanje slike na papir. Razvijen je čitav niz tehnologija za štampanje prikaza kreiranih pomoću računarskih grafičkih sistema uključujući: matrice štampače (engl. *dot-matrix printer*), plotere (engl. *pen plotter*), laserske štampače (engl. *laser printer*) i druge.

Matrični štampač koristi glavu sa 7 do 24 iglice koje se pojedinačno mogu pokretati i na taj način pritiskati traku natopljenu mastilom na površinu papira. Glava se pokreće u koracima sleva udesno i red po red odozgo prema dole. Na taj način ostvaruje se rasterska struktura mogućih tačaka na otisnutoj slici. Gustina tačaka u ovoj strukturi može se povećati dvostrukim prolaskom glave preko istog retka uz pomak za polovinu razmaka među iglicama. Takođe, moguće je štampati i slike u boji primenom traka u boji.

Ploter iscrtava sliku pokretanjem pera preko površine papira na proizvoljan način. U tehnologiji plotera s ravnom pločom (engl. *flatbed plotter*) papir se pričvršćuje na ploču elektrostatičkim naelektrisanjem, vakuumom ili nekim drugim načinom. Pero se postavlja na početnu tačku crte i spušta na površinu papira. Pero se pokreće po površini papira do krajnje točke i tada se podiže. Ovaj uređaj analogan je vektorskoj tehnologiji crtanja. U tehnologiji rotacijskih plotera (engl. *drum plotter*) papir se rotira pomoću bubnja koji rotira, a pero se pokreće duž linijske putanje uzduž bubnja u oba smera.

Elektrostatički ploter (engl. *electrostatic plotter*) nanosi negativno naelektrisanje na delove belog papira koji trebaju postati crni. Nakon toga ga izlaže toku pozitivno naelektrisanog crnog tonera koji prijanja uz mesta s negativnim naelektrisanjem.

U **laserskom štampaču** laserski zrak (snop) prelazi preko pozitivno naelektrisanog rotirajućeg bubnja presvučenog slojem selena. Područja preko kojih pređe zrak gube naelektrisanje, a pozitivno naelektrisanje ostaje samo na područjima koja trebaju postati crna. Negativno naelektrisani toner u prahu prijanja na pozitivno naelektrisana područja bubnja, a zatim se prenosi na beli papir. Za štampu u boji postupak se ponavlja tri puta, za svaku primarnu boju po jednom. Laserski štampači su procesorski kontrolisani. Procesori obavljaju i rastersko pretvaranje slike. Često pri tome koriste Postscript, jezik za opis dokumenata i slika.

Štampač sa mlaznicom (engl. *ink-jet printer*) nanosi mastilo na površinu papira. Štampači u boji nanose cijan, magenta, žutu, a ponekad i crnu boju na papir. U većini slučajeva pera s mastilom su ugrađena u glavu koja se pokreće levo i desno dok se papir pokreće red po red kao kod matrice štampača. Sve boje nanose se istovremeno.

Štampač s termalnim prenosom (engl. *thermal-transfer printer*) koristi tehnologiju sličnu elektrostatičkim ploterima. Grejači prenose pigment s voštanog papira u boji na čisti papir. Voštani papir u boji i čisti papir zajedno se provlače ispod trake s grejačima koji se selektivno greju. Za štampanje u boji koriste se namoti voštanog papira s trakama u cijan, magenta, žutoj i crnoj boji.

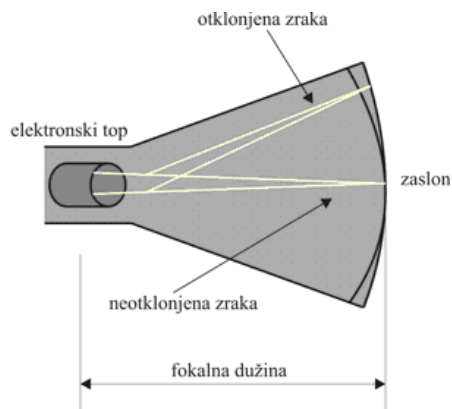
Termalni sublimacioni štampač (engl. *thermal sublimation dye transfer printer*) baziran je na tehnologiji sličnoj štampačima s termalnim prenosom. Kvalitetniji proces grejanja i prenosa boje omogućava nanošenje više nivoa (tipično 256) intenziteta cijan, magenta i žute čime se ostvaruje visokokvalitetna reprodukcija slike s punom bojom.

Tehnologije ekrana

Interaktivna računarska grafika zahteva tehnologiju prikaznog uređaja na kojem se slike menjaju brzo i uz minimalan trošak po slici. Ove zahteve ispunjava koncept ekrana kao prikaznog uređaja koji služi za privremeni prikaz slike, ali s proizvoljnim trajanjem. Kao i koncept prikaznog uređaja koji stvara trajnu sliku štampanjem na papir i ovaj koncept se realizuje nizom različitih tehnologija.

Najpoznatija i najraširenija tehnologija je tehnologija **elektronske cevi s katodnim zracima** (katodna cev) koja se često označava CRT (engl. *cathod ray tube*). Monohromatska katodna cev kakva se koristi u računarskim grafičkim sistemima u osnovi je ista kao i kod crno-bele televizije. Elektronski top generiše tok elektrona koji se ubrzavaju prema ekranu (screen) presvučenom slojem fosfora visokim pozitivnim naponom (tipično reda 15000V-20000V). Na putu prema ekranu elektroni se skupljaju u uski snop pomoću mehanizma za fokusiranje i usmeravaju prema određenoj tački na ekranu pomoću otklonskog mehanizma.

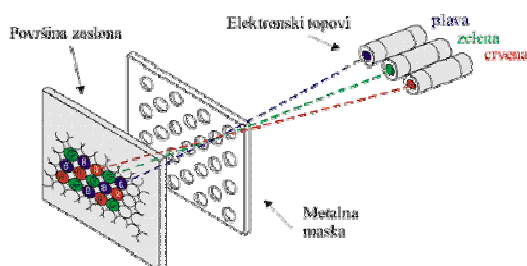
Kad elektroni pogode ekran fosfor zrači vidljivu svetlost. Svetlost fosfora eksponencijalno opada s vremenom. Stoga prikaz treba osvežavati (refresh) uobičajeno 50 puta u sekundi. Naponom upravljačke rešetke može se upravljati brojem elektrona koji stižu na ekran, odnosno intenzitetom svetlosti pojedine tačke ekrana. U stvarnosti je snop elektrona prostorno respodeljen po normalnoj (Gaussovoj) raspodeli oko središta tačke. Zato tačka nema oštru granicu nego joj intenzitet opada po Gaussovoj krivulji od središta tačke. Kao granica za određivanje dimenzije tačke uzima se udaljenost od središta na kojoj je intenzitet upola manji od intenziteta u središtu. Tipične vrednosti prečnika tačke su reda 0.01 mm.



Koncept katodne cevi.

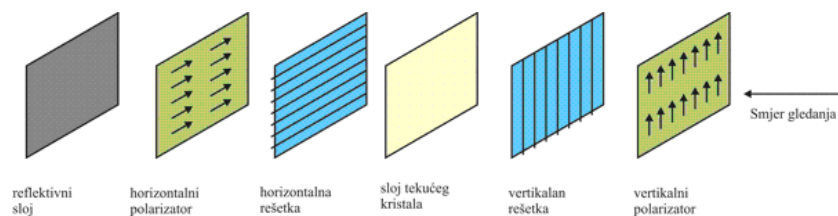
Vertikalna rezolucija rasterskog monitora (izražena u broju linija po jedinici dužine, uobičajeno *lines per inch*) određena je u prvom redu veličinom tačke. Horizontalna rezolucija određena je veličinom tačke i brzinom uključivanja i isključivanja zraka dok se kreće preko horizontalnog retka, odnosno pojasnom širinom katodne cevi. Rezolucija nije konstantna već zavisi od pojačanja vertikalnih i horizontalnih otklonskih pojačala. Ova pojačala ustvari određuju na koliku površinu ekrana će se projektovati slika definisana bitskom mapom. Važno je uočiti da rezolucija ne zavisi od bitske mape.

Monitori u boji (kao i televizija u boji) koriste tehnologiju katodne cevi s metalnom maskom. Vidljiva površina sastoji se od skupa crvenih, zelenih i plavih tačaka koje se zbog malih dimenzija i svojstva prostorne integracije ljudskog oka vide kao jedna boja sastavljena od tri komponente. Rezultirajuća boja zavisi od intenziteta pojedinih komponenata. Metalna maska omogućava da zrak selektivno pogađa samo jednu vrstu tačaka. Na taj način se upravlja bojom svake pojedine tačke. Jedna vrsta rasporeda crvenih, zelenih i plavih tačaka je trouglastog oblika, ali veća preciznost se lakše ostvaruje linijskim rasporedom fosfornih tačaka.



Koncept prikaznog uređaja u boji s tri primarne boje.

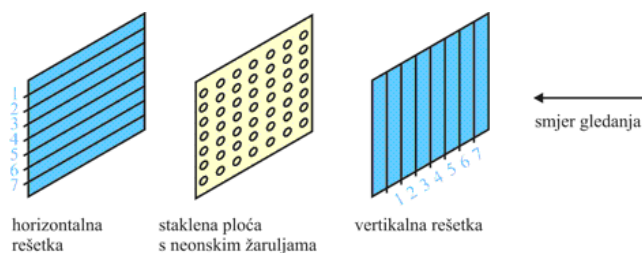
Tehnologija prikaznog uređaja s **tekućim kristalom LCD** (engl. *liquid-crystal display*) vrlo je popularna za prenosive računare zbog znatno manjih dimenzija, težine i potrošnje energije od CRT uređaja. Tehnologija se bazira na šestoslojnoj strukturi. Prednji sloj je vertikalna polarizacijska ploča. Drugi sloj sadrži vertikalnu rešetku od tankih žica. Treći je sloj tekućeg kristala debljine reda jednog mikrona. Četvrti sloj je horizontalna rešetka od tankih žica. Peti sloj je horizontalna polarizacijska ploča. Poslednji, šesti sloj je reflektor. Polarisana svetlost prolazi kroz pet slojeva i reflektuje se natrag od šestog sloja - reflektora.



Prikaz slojeva u uređaju s tekućim kristalom.

Tekući kristal sastoji se od dugih molekula kristala. Pojedinačni molekuli normalno se raspoređuju spiralno i rotiraju polarizaciju ulazne svetlosti za 90 stepeni. Takva svetlost prolazi kroz horizontalnu polarizacijsku ploču pa je vidljiva i gledaocu. U električnom polju kristali se postavljaju u istom smeru i ne rotiraju polarizaciju ulazne svetlosti. Takva svetlost ne prolazi kroz horizontalnu polarizacijsku ploču već se apsorbuje pa gledaoc vidi crnu površinu. Tačke koje će biti osvetljene odnosno tamne određuju se matričnim adresiranjem pomoću vertikalne i horizontalne rešetke. Tamna tačka će biti na mestu preseka projekcija žice iz vertikalne rešetke kojoj je doveden pozitivni napon i žice iz horizontalne rešetke kojoj je doveden negativni napon. Kombinacija pozitivnog napona s desne strane kristalnog sloja i negativnog napona s leve strane kristalnog sloja ređa kristale na tom mestu.

Plazma panel (engl. *plasma panel*) je struktura malih neonskih sijalica koje se mogu selektivno paliti i gasiti matričnim adresiranjem pomoću vertikalne i horizontalne rešetke. Kad je razlika napona na vertikalnoj i horizontalnoj rešetki dovoljno velika, elektroni iz molekula neona se oslobađaju i sijalica počinje da svetli. To se stanje može podržavati s nižim naponom, a za promenu stanja potrebno je smanjiti napon ispod nužne granične vrednosti održavanja. Prednosti ovakvih uređaja su ravnoća, transparentnost, robusnost i nepotrebnost bitske mape za osvežavanje.



Slojevi u plazma panelu.

Elektroluminiscentni prikazni uređaji (engl. *electroluminiscent display*) sastoje se od slične rešetkaste strukture kao i LCD uređaji. Između prednje i zadnje ploče rešetke smešten je tanak sloj (tipično debljine reda 500 nm) elektroluminiscentnog materijala koji zrači svetlost kad se nalazi u jakom električnom polju (reda 10^6 V/cm). Pojedine tačke se osvetljavaju matričnim adresiranjem. Ovi uređaji daju sliku visokog sjaja i mogu se uključivati/isključivati brzo. Mogu se koristiti tranzistori za svaki piksel za memorisanje slike. Osnovni nedostatak je velika potrošnja energije.