

# Računarska grafika

Tehnologije izlaza i ulaza



# Počeci računarske grafike

- Crtanje na uređajima sa trajnom slikom – od ranih dana računarstva
- Tipični *hardcopy* uređaji: teleprinterski terminali i linijski štampači
- *Whirlwind Computer* razvijen 1950 na MIT:
  - računarski upravljani CRT prikazivači
  - papirne kopije snimljene kamerom



Preuzeto sa: <https://libraries.mit.edu/archives/exhibits/project-whirlwind/>

# Vektorski CRT + svetlosno pero

- Sredinom 50-ih razvijen sistem vazdušne odbrane *SAGE*
  - prvi koji koristi komandne i kontrolne CRT prikazivačke konzole
  - operatori identifikuju ciljeve pomoću svetlosnih pera
  - problem osvežavanja kompleksne slike



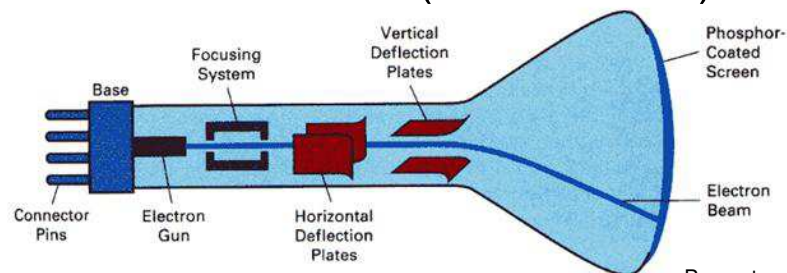
Preuzeto sa: <http://excelsior.biosci.ohio-state.edu/~carlson/history/>

# Cevi sa memorijom (DVST)

- Kasne šezdesete
  - *direct-view storage tube* (DVST) otklanja problem bafera i osvežavanja
- DVST smešta sliku na sledeći način:
  - sporo pokretni elektronski snop upisuje sliku na mrežu za pamćenje
  - u mrežu je ugrađen fosfor
- Karakteristike DVST terminala:
  - red veličine jeftiniji od tipičnog vektorskog prikazivača sa osvežavanjem
  - idealan za spori (300-1200Baud) telefonski interfejs prema *time-sharing* sistemima
- DVST terminali
  - uveli mnoge korisnike i programere u interaktivnu grafiku
  - miniračunar+DVST instalacije – hiljade grafičkih sistema

# CRT monitori

- Braunova cev 1897.
- Prvi komercijalni TV sa CRT 1934. (Telefunken)
- Princip:

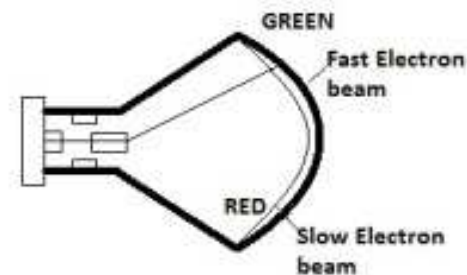


Preuzeto sa: <https://www.tricksway.com/advantage-disadvantage-crtledlcdplasma-display/>

- Vrste CRT u boji:
  - zasnovani na “prodiranju zraka” (*beam-penetration*)
    - primitivniji, korišćeni kod vektorskih prikazivača
    - jeftina tehnika, ali samo 4 boje
      - zeleno, crveno, žuto i narandžasto
  - zasnovani na “maski senke” (*shadow-mask*)
    - napredniji, korišćeni kod rasterskih prikazivača

# CRT monitori sa prodiranjem zraka

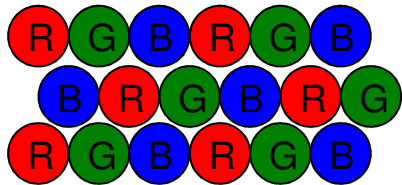
- Dva sloja fosfora, obično crveni i zeleni
- Emitovana boja
  - crvena, zelena + prelazi između (žuta, narandžasta)
  - zavisi od dubine prodora elektronskog mlaza u slojeve fosfora
- Spori elektroni pobuđuju samo prvi (crveni) sloj fosfora
- Brzi elektroni pobuđuju drugi (zeleni) sloj fosfora
  - kroz crveni samo prolaze, bez efekta
- Elektroni srednje brzine
  - pobuđuju i jedan i drugi fosfor
  - žuta i narandžasta boja



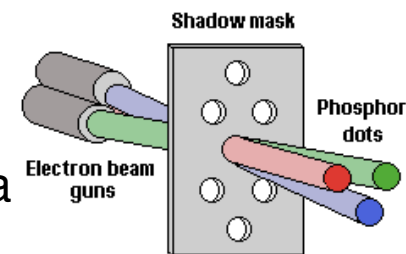
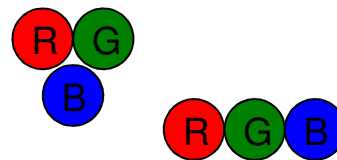
Preuzeto sa: <https://kamaleclass.wordpress.com/2014/01/16/color-crt-monitors/>

# CRT monitori sa maskom senke

- Ekran presvučen slojem trougaonih uzoraka R,G,B fosfora



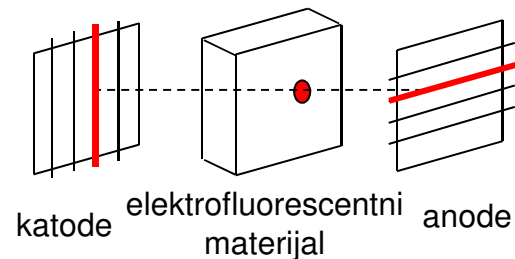
- Posmatrač vidi kombinaciju 3 boje kao 1 piksel u boji
  - intenziteti R, G i B mlazeva određuju učešće osnovnih boja
- Dva načina formiranja trijada:
  - trougaoni (*delta-delta*)
  - linearni (*precision in-line*)
- Maska (*shadow-mask*) je metalna ploča
  - sa malim kružnim prorezima za fokusiranje mlaza
  - postavlja se blizu površine ekrana



Preuzeto sa: <https://www.pctechguide.com/crt-monitors/the-anatomy-of-a-crt-monitor-and-crt-tvs>

# Plazma ekrani

- Princip: matrica “sijalica” sa fluorescentnim gasom
  - srodne tehnologije koriste fluorescentne čvrste ili tečne materijale
  - staklene ploče sa provodnicima služe kao kondenzatori (DC plazma ekran)
    - ćelija nastavlja da svetli nakon što se pobudi naponom
    - za AC plazma ekran mora da se obezbedi pozadinski (*background*) napon

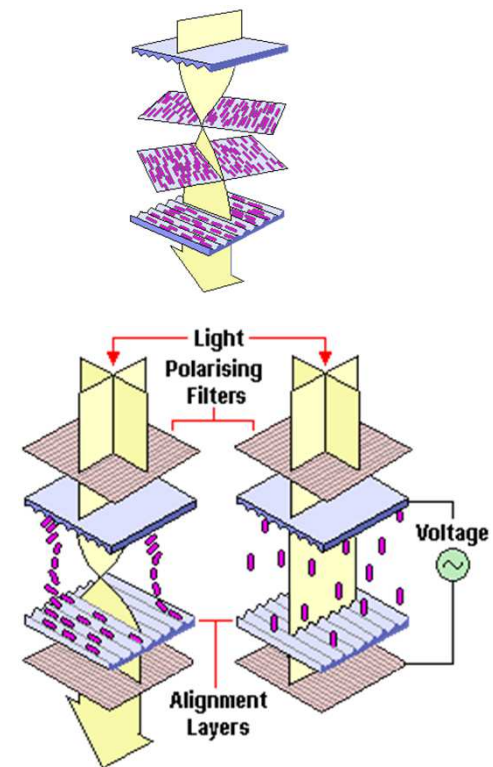


- Prednosti:
  - potpuno ravan ekran pristojne rezolucije
  - nije potrebno osvežavanje
    - prikazani piksel ostaje osvetljen na ekranu dok se namerno ne “ugasi”



# LCD (*Liquid Crystal Display*)

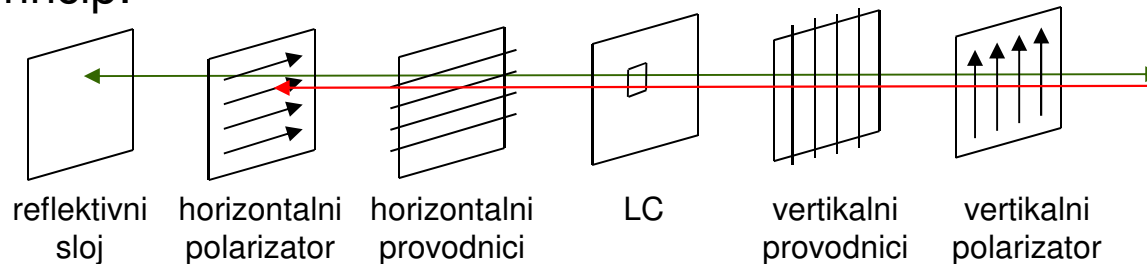
- Osobine tečnog kristala:
  - dugački molekuli spiralne strukture
  - poravnavaju se sa brazdama u oblozi
  - kada nije u električnom polju, rotira za  $90^\circ$  polarizovanu svetlost
  - kada se nađe u električnom polju, ne rotira polarizovanu svetlost
- Od 1971 primena kod prikazivača
- Boja – R,G,B filteri bele svetlosti
- Dve vrste LCD ekrana
  - DSTN (*dual-scan twisted nematic*)
  - TFT (*thin film transistor*)



Preuzeto sa: <https://www.pctechguide.com/flat-panel-displays/liquid-crystal-light-polarisation-in-lcd-monitors>

# LCD DSTN

- Princip:



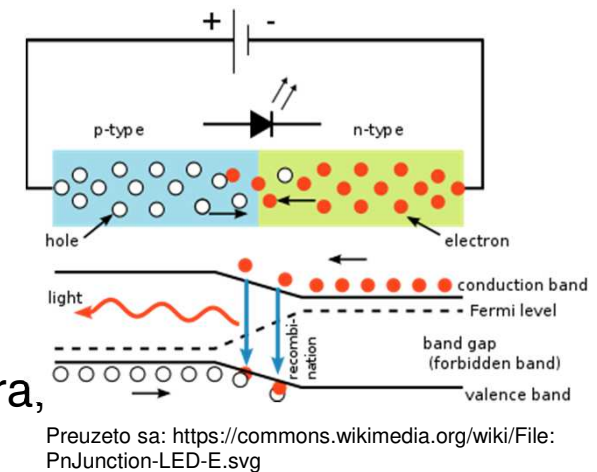
- Na horizontalne provodnike se dovodi  $-V$ , a na vertikalne  $+V$ 
  - tek napon od 2V dovoljan je za aktiviranje kristala
- Štednja energije – svetlost prolazi kada nema napona
- Umesto reflektivnog sloja može da se koristi pozadinsko svetlo
- Problem:
  - za piksele  $(x_1, y_1)$  i  $(x_2, y_2)$  se ne mogu aktivirati žice  $x_1, x_2, y_1, y_2$ 
    - tako bi se aktivirala 4 piksela
  - mora se aktivirati najpre jedan pa drugi par  $(x, y)$ 
    - potrebno osvežavanje (skeniranje rastera)

# LCD TFT

- Prikazivač sa “aktivnom matricom”
- Svakim pikselom se upravlja pomoću tranzistora
  - jedan tranzistor po osnovnoj boji: R, G, B
  - tranzistori kontrolišu napon i određuju stepen rotacije elementa kristala
    - delimično ili potpuno se blokira put svetlosti
  - posledica: različit stepen propuštanja R, G i B svetlosti
    - dobija se željena nijansa piksela
- LCD tehnologija je bila skuplja od CRT
  - svi tranzistori moraju biti na jednom silikonskom komadu (*wafer*)
  - defektni tranzistori – veliki škart u proizvodnji
- Velika rezolucija, stabilna slika na vertikalnoj učestanosti 75Hz
- Eliminirani problemi sporog odziva i duhova svojstveni drugim LCD

# LED (*Light Emitting Diode*)

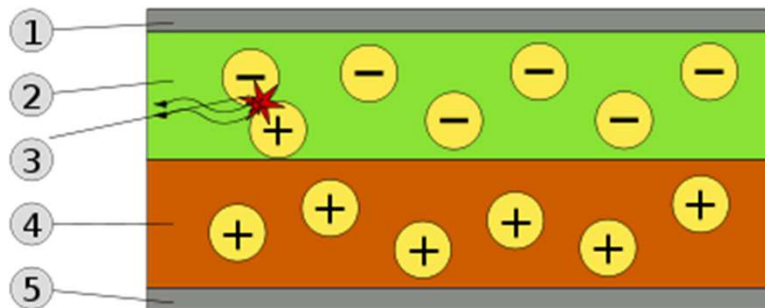
- LED tehnologija
  - pojava elektroluminiscencije - 1907.  
H.J. Round, Marconi Labs
  - P-N spoj: rekombinacija elektron-šupljina
  - 1962. praktična elektronska komponenta koja emituje slabo crveno svetlo
  - danas pokrivaju širok opseg vidljivog spektra, kao i infracrveno i ultraljubičasto svetlo
- LED displej je panel (matrica) RGB LED trijadi
- Visok sjaj – pogodno na otvorenom prostoru
- Relativno mala potrošnja energije – pogodnost za mobilne uređaje
  - električna energija se velikim delom pretvara u svetlo – mala disipacija
- Posledica - širok spektar uređaja koristi LED displeje



# OLED

- Organski LED

- slojevi su od organskih molekula koji provode elektricitet



Preuzeto sa: <http://www.ledesl.com/01-12-2009/oled-working-principle.html>

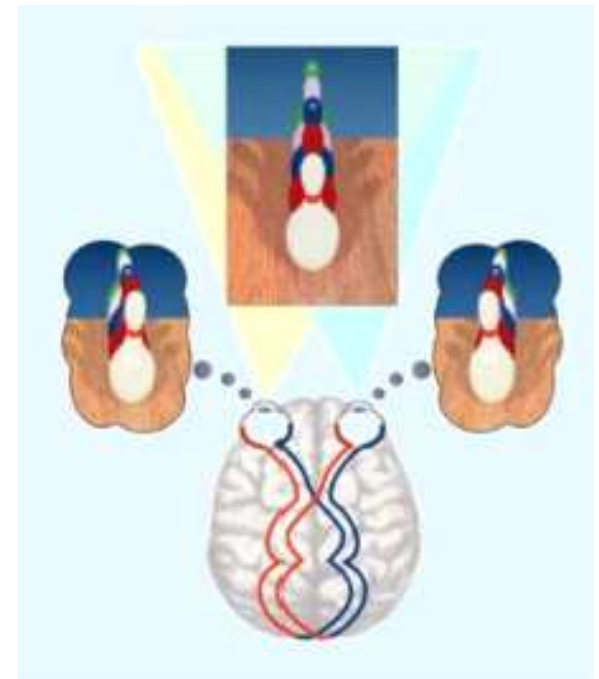
- 1 katoda
- 2 emisioni sloj
- 3 emisija
- 4 provodni sloj
- 5 anoda

- u organskom poluprovodniku pozitivne šupljine su pokretnije od elektrona
- „sudari“ iz kojih se emituje svetlo se dešavaju u emisionom sloju

- AMOLED – OLED sa aktivnom matricom

# Steroskopija – 3D vid

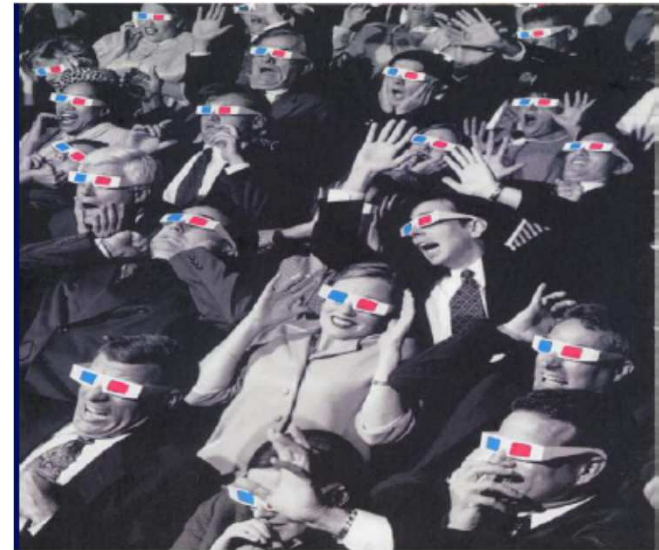
- Princip stereoskopije:
  - dve kamere (oka)
    - na malom rastojanju
    - pravci orijentacije zaklapaju mali ugao
  - dve slične 2D slike scene
  - svaku sliku prihvata po jedno oko
  - mozak kombinuje dve 2D slike u jednu 3D
  - mozak dodaje i iskustvene efekte
    - perspektivno smanjenje
    - zamaglivanje udaljenih objekata
    - senke



Preuzeto sa: [http://iz3d.com/download/iZ3D\\_Whitepaper.pdf](http://iz3d.com/download/iZ3D_Whitepaper.pdf)

# Stereovizija na filmu

- Stereo film (1915)
  - plavo-crvena jedinstvena slika
  - plava slika za jedno oko, a crvena za drugo oko
  - plavo-crvene naočare filtriraju slike
  - 1950-1955 uspon i pad tehnologije
  - filmska industrija nije podržala
- Savremeni stereo-film
  - stereo-kamera snima 2 slike
  - slika se emituje sa 2 projektoru
  - jedan ima filter sa horizontalnom, drugi sa vertikalnom polarizacijom
  - naočare: na jednom oku horizontalna, na drugom vertikalna polariz.



Preuzeto sa: [http://iz3d.com/download/iZ3D\\_Whitepaper.pdf](http://iz3d.com/download/iZ3D_Whitepaper.pdf)

# Stereovizija u grafici (1)

- LCD prikazivači na naočarama
  - relativno mala rezolucija
  - teške naočare za nošenje



Preuzeto sa: <https://floridagamerss.wordpress.com/tag/virtualboy/>

- OLED tehnologija – Oculus Rift
  - Rezolucija: 1080x1200, po svakom panelu
  - FoV: 110°
  - Učestanost osvežavanja: 90Hz, global refresh
  - VR oprema: infracrveni senzor, dodirni kontroleri (za pokrete ruku)



Preuzeto sa: <https://www.oculus.com/rift/>

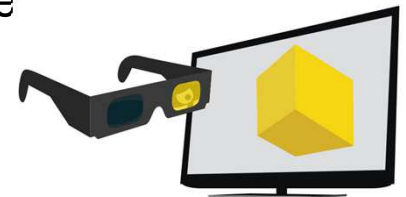


Preuzeto sa: [https://en.wikipedia.org/wiki/Oculus\\_Rift](https://en.wikipedia.org/wiki/Oculus_Rift)



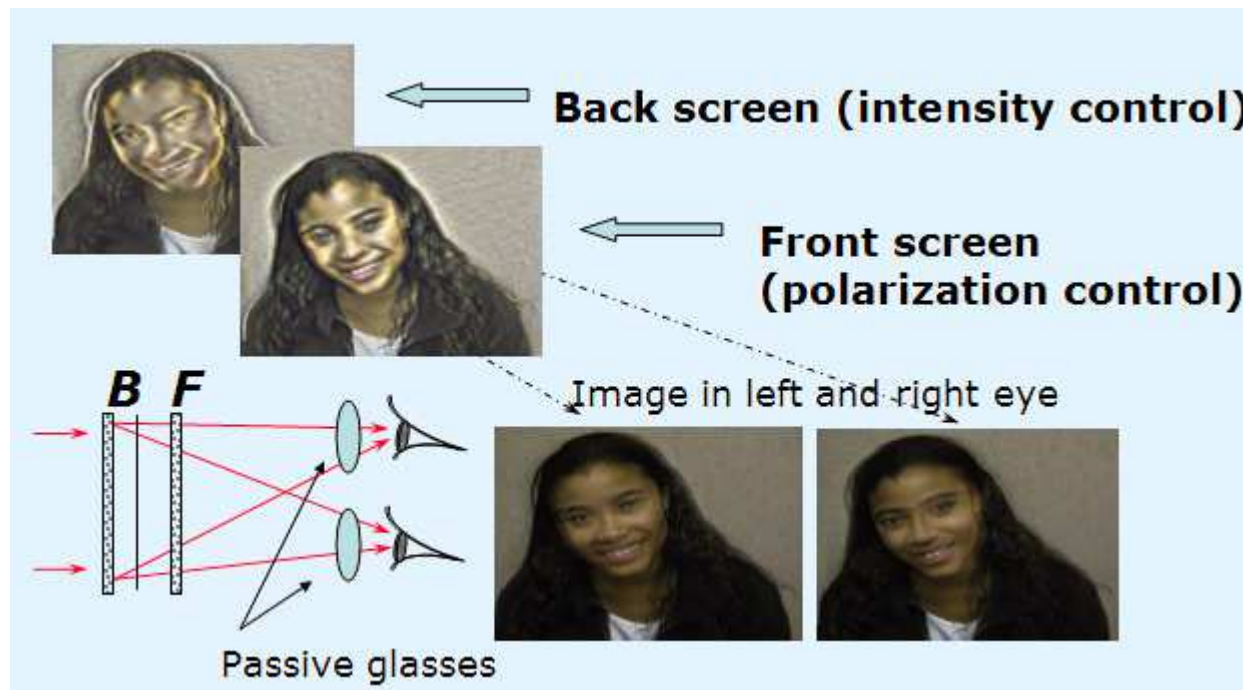
## Stereovizija u grafici (2)

- Kontroleri sa 4 bafera i naočare sa zamračenjem (*shutter-glasses*)
  - kontroler: dve slike sa dvostrukim baferisanjem + sinhro za naočare
  - naočare su sinhronizovane sa slikom koja se prikazuje
    - levo oko je zamračeno dok se prikazuje slika desnog
    - desno oko je zamračeno dok se prikazuje slika levog
  - potreban ekran sa vertikalnom frekvencijom  $>100\text{Hz}$
- CRT ekrani sa polarizacionim filterom i polarizacionim pasivnim naočarima
- TFT ekrani sa različitom polarizacijom slika i pasivne naočare



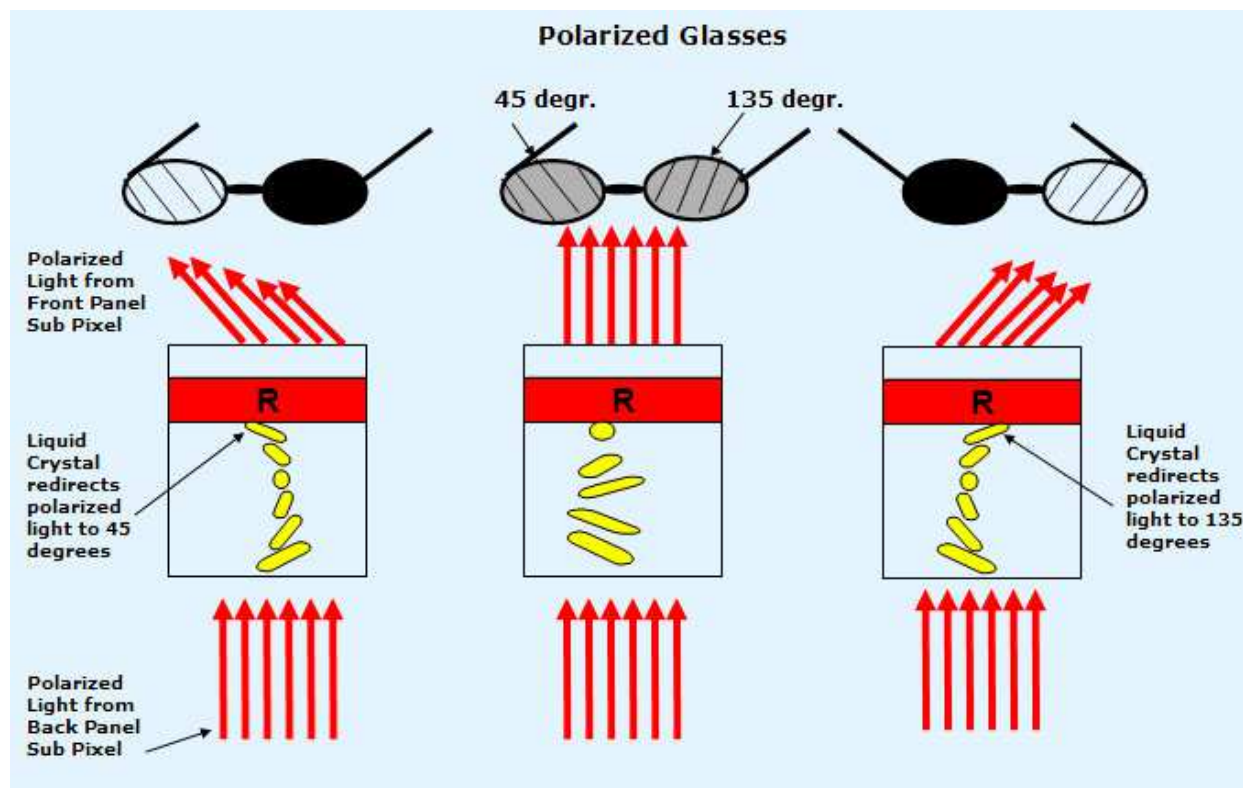
Preuzeto sa: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Active-3d-shutter-technology.gif>

# TFT 3D stereo ekran (1)



Preuzeto sa: [http://www.vidimensio.eu/web/images/IZ3D\\_Technology\\_img1.jpg](http://www.vidimensio.eu/web/images/IZ3D_Technology_img1.jpg)

# TFT 3D stereo ekran (2)

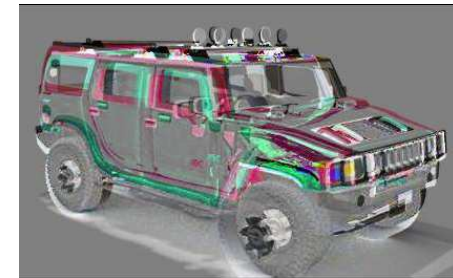
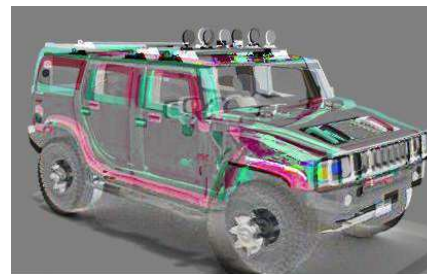


Preuzeto sa: [http://iz3d.com/download/iZ3D\\_Whitepaper.pdf](http://iz3d.com/download/iZ3D_Whitepaper.pdf)

# TFT 3D stereo ekran (3)



2D slika na zadnjem TFT



Leva i desna slika na prednjem TFT



Kombinovana slika bez naočara




Preuzeto sa: [http://iz3d.com/download/iZ3D\\_Whitepaper.pdf](http://iz3d.com/download/iZ3D_Whitepaper.pdf)

# Trajni prikaz (*hardcopy*)

- Štampači i crtači
- Štampači:
  - tekst: linijski, sa lepezom/kuglicom
  - grafika: matrični, ink-jet, laserski

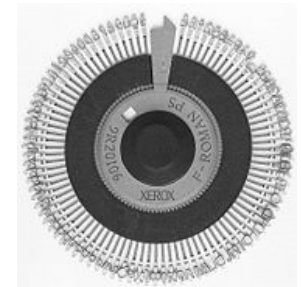
ystem where a  
ld allow us t  
mercial supplier.



Preuzeto sa: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Dot\\_matrix\\_example\\_text.png](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Dot_matrix_example_text.png)



Preuzeto sa: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:IBM\\_line\\_printer\\_1403.JPG](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:IBM_line_printer_1403.JPG)

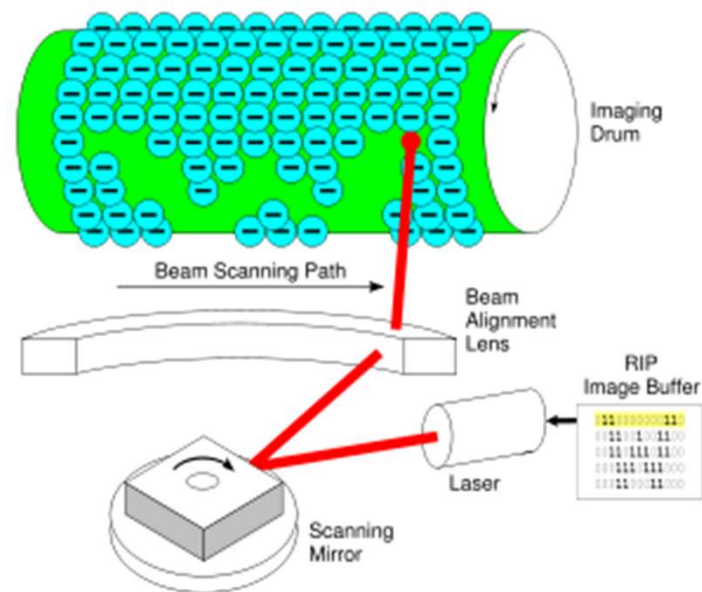
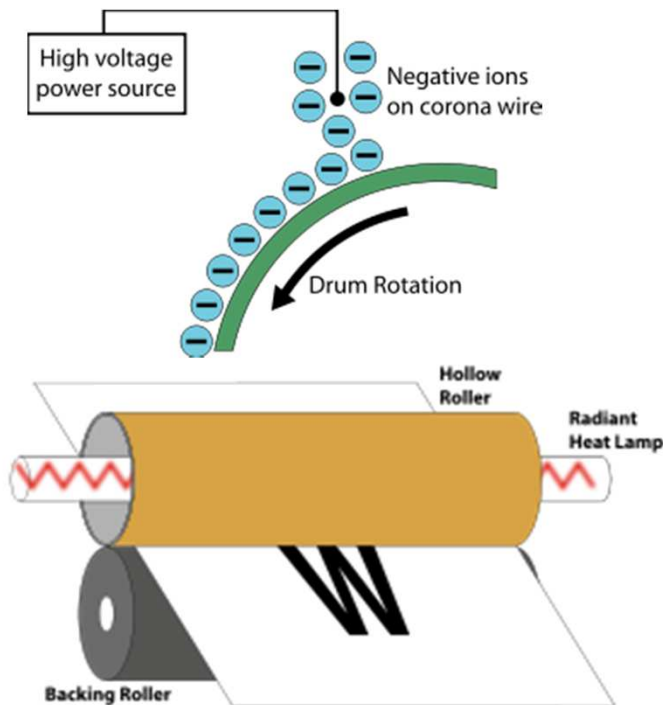


Preuzeto sa: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Xerox\\_Roman\\_PS\\_Daisywheel\\_-\\_mono.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Xerox_Roman_PS_Daisywheel_-_mono.jpg)

- Crtači:
  - nepokretan papir - pokretna pisačica u X-Y pravcu
  - pokretan papir u jednom, a pisačica u drugom

# Laserski štampač

- Princip rada: ([http://en.wikipedia.org/wiki/Laser\\_printer](http://en.wikipedia.org/wiki/Laser_printer))



Preuzeto sa: [https://en.wikipedia.org/wiki/Laser\\_printing](https://en.wikipedia.org/wiki/Laser_printing)

# Tehnologija ulaza

- Tehnologija ulaza je znatno napredovala tokom godina
- Nespretno i krhko svetlosno pero zamenjeno je mišem
  - prvi miš je razvio Doug Engelbart, sredinom šezdesetih
- Pojavili su se i brojni drugi ulazni uređaji:
  - grafički tablet, dodirna podloga, transparentni panel osetljiv na dodir
- Ranije
  - samo 2D ulazni uređaji koji definišu (x,y) lokacije na ekranu/panelu
- Danas
  - i 3D uređaji za VR – definisanje (x,y,z) u prostoru
- Audio ulaz/izlaz ima veliki potencijal za prirodnu komunikaciju

# Interakcija sa računarom

- Interakcija ne zahteva znanje programiranja
- Korišćenje tastature je svedeno na minimum
- Izbor se pravi jednostavnim izborom preko ekranskih komponenti
  - stavke menija, dugmad na paletama alatki (*toolbars*), liste,...
- Odgovara se jednostavno na pitanja
  - potvrđivanjem opcija ili
  - kucanjem nekoliko karaktera u obrascu
- Kopije unapred definisanih simbola jednostavno se smeštaju na ekran
- Crta se zadavanjem tačaka koje se spajaju pravom ili interpoliraju krivom
- Slika se pomeranjem kurzora (u ulozi četkice) po ekranu
- Popunjavaju se zatvorene površine izborom boje ili uzorka (teksture)
- Interakcija glasom – analiza i sinteza govora
- Interakcija sa virtuelnom realnošću
  - posebna oprema (rukavice, kaciga, naočari)
  - vizuelno praćenje kreanja očiju ili gestikulacije (primer: MS Kinect)



# Svetlosno pero

- Ulazni uređaj koji oblikom podseća na pero (penkalo)
- Korišćenje:
  - prisloni se na katodnu cev na mesto gde se želi ukazati na neki objekat
  - rezultat koji se dobije su ekranske koordinate ukazane tačke
- Ime je pomalo promašeno – uređaj ništa ne emituje (dok pero “emituje” mastilo), već prima svetlosne impulse
- Pero detektuje svetlosni impuls kada elektronski mlaz prelazi preko tačke
  - u trenutku detekcije signalizuje GDC-u da zapamti trenutne X,Y koordinate
- Pero ne može da detektuje crnu tačku na prikazanom objektu
- Postoje specijalne tehnike da se prevaziđe ograničenje:
  - umesto jedne od 30 slika emituje se tamno plavo polje (oko ne registruje)
- Relativno je neudobno za korišćenje i nije dovoljno pouzdano
  - fosforescentni sjaj ekrana vara
- Koristilo se sa vektorskim prikazivačima, a danas je retko u upotrebi

# Miš (1)

- Uređaj koji se rukom pomera po horizontalnoj površini stola
- Meri se relativno kretanje preko površine
- Mehanizmi implementacije uređaja se razlikuju
- Mehanički miš
  - uređaj odozdo ima kuglu presvučenu gumom
  - kugla se okreće prilikom pomeranja
  - kugla okreće dva valjka:
    - jedan za X, a drugi za Y pravac
  - valjci okreću potenciometre, pa intenzitet napona određuje relativni pomeraj
- Optički miš sa podlogom
  - kreće se preko podloge koja ima rešetku svetlih i tamnih pruga
  - LED na donjoj strani miša zrači svetlost
  - tamne pruge apsorbuju svetlost, svetle reflektuju
  - odbijena svetlost se detektuje foto diodom
  - frekvencija prekidanja svetla određuje kretanje u jednom smeru



Preuzeto sa: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Logitechms48.jpg>

## Miš (2)

- Opto-mehanički miš
  - takođe se koristi kugla koja mehanički okreće valjke
  - valjci imaju na sebi točkice sa prorezima koji prekidaju svetlosni snop LED-a
  - po valjku dva para LED-senzor, sa vremenskim pomerajem, za detekciju smera
- Inteligentni optički miš (Microsoftova tehnologija *Intellieye*)
  - osnovna komponenta je "oko" koje skenira površinu ispod miša
  - oko se sastoji od LED-a, vrlo male kamere i DSP-a (*Digital Signal Processor*)
  - svetlost koju emituje LED se reflektuje od površine ispod i snima kamerom
  - originalni Microsoftov miš je skenirao površinu 1500 puta u sekundi
  - DSP prima slike sa kamere i analizira ih na razlike (detektuje fine razlike)
  - na osnovu razlika određuje pomeraj i brzinu kretanja miša
  - originalni Microsoftov *Intellimouse* je imao DSP koji radi sa 18 MIPS
  - dovoljne (ali i potrebne) su minimalne teksture u podlozi
    - podloga ne sme biti staklo (ni transparentno ni ogledalo)



Preuzeto sa: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Mouse\\_mechanism\\_diagram.svg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Mouse_mechanism_diagram.svg)

# Grafički tablet (1)

- Ravna ploča koja detektuje položaj olovke ili nišana
  - detekcija se dešava kada se olovka (nišan) približe ploči
- Većina tableta koristi električnu osetljivost da odrede položaj olovke
- Vrste tableta:
  - električno senzitivna olovka
  - sonični tablet
  - rezistivni tablet
- Mehanizam električno senzitivne olovke
  - na ploči se nalazi kvadratna rešetka žica (žice su razvučene u X i u Y pravcu)
  - na susedne žice (redove, odnosno kolone) se dovode impulsi sekvencijalno
  - u olovku je ugrađen kalem u kojem se indukuje struja
  - intenzitet napona na kalemu je proporcionalan udaljenosti olovke od table
  - X-Y pozicija olovke je određena trenutkom detekcije
  - nepogodan za ukazivanje na crtežima u knjigama (zbog udaljenosti olovke)



Preuzeto sa: <http://lapizobticoyescaner.blogspot.rs/2008/08/blog-post.html>

# Grafički tablet (2)

- Mehanizam soničnog tableta
  - mikrofoni su postavljeni na periferiju ploče
  - vrh olovke emituje zvučni signal koji se proizvodi određenim varničenjem
  - kašnjenje zvuka od trenutka emitovanja do trenutka prijema određuje rastojanje
  - pogodan je kada se digitalizuje crtež iz debele knjige
    - olovka ne može da priđe blizu tabletu
  - nepogodan je jer zvuk nije prijatan
- Mehanizam rezistivnog tableta
  - koristi baterijom napajanu olovku koja emituje radio signal visoke frekvencije
  - tablet je presvučen tankim slojem otpotnog materijala
  - u provodnom materijalu radio signal indukuje napon
  - snaga signala na ivicama tableta je obrnuto proporcionalna rastojanju olovke
  - na osnovu snage signala na ivicama tableta se određuje pozicija olovke

# Dodirni ekran (*touchscreen*)

- Ulazni transparentan uređaj na ekranu
- Omogućava vrlo prirodnu i intuitivnu komunikaciju
  - korisnik prstom ili posebnom "olovkom" dodiruje željeno mesto na ekranu
- Može biti eksterni uređaj koji se montira na ekran ili integrisan u ekran
- Uređaj uključuje:
  - senzorsku ploču postavljenu iznad ekrana – generiše napone
  - kontroler – transformiše signale u događaje
  - softverski drajver – translira podatke o događajima dodira u događaje miša
    - omogućava dodirnom ekranu da emulira miša
- Zbog položaja ruke nije pogodan za stone (*desktop*) monitore
- Dobio na značaju sa razvojem mobilnih pametnih telefona i tableta

# Rezistivni dodirni panel

- Reaguje na pritisak prsta, nokta ili pisaljke (*stylus*)
- Sastoji se od sledećih elemenata:
  - staklene ili akrilne osnove
  - osnova je presvučena provodnim i otpornim slojevima
  - tanki slojevi su razdvojeni nevidljivim tačkastim odstojećima
- Funkcioniše na sledeći način:
  - struja konstantno protiče kroz provodni materijal
  - bez pritiska, odstojećnici obezbeđuju da se provodni i otporni sloj ne dodiruju
  - kada se pritisne neko mesto, provodni i otporni sloj se spajaju
    - uzrokuje promenu struje
  - promenu struje detektuje kontroler
    - interpretira je kao događaj dodira na mestu (x,y)
- Relativno je jeftina i prilično robusna tehnologija
- Primenjuje se kod
  - POS/ATM, u restoranima, medicinskim aplikacijama i kontroli sistema

# Infracrveni dodirni panel

- Zasniva se na tehnologiji prekidanja svetlosnog snopa
  - na ekran se dodaje okvir koji okružuje ekran
  - optoelektronika u okviru je zaštićena nekim IR-transparentnim materijalom
  - okvir sadrži:
    - sa jedne strane izvore IR svetla (LED-ove)
    - sa druge strane detektore (fotosenzore)
  - efekat je postojanje optičke mreže IR snopova preko ekrana
  - kada neprozirni objekat dodirne ekran - odgovarajući IR snopovi se prekidaju
  - ekranske koordinate se detektuju preko fotosenzora koji su izgubili signal
- Nema pokretnih mehaničkih delova – robusni su i dugotrajni



# Akustični dodirni panel

- Engleski naziv: *Surface Acoustic Wave – SAW*
- Princip je sličan IR panelu, ali se koriste zvučni talasi umesto svetla
  - 2 zvučna talasa – 1. sa leve strane, 2. odozgo se kreću preko površine ekrana
  - talasi se odbijaju od reflektora postavljenih na svim stranama okvira
  - talas locira senzor sa suprotne strane od one sa koje potiče
  - kada se prst nađe na putu talasu, on apsorbira zvuk, koji onda kasni do senzora
  - na osnovu kašnjenja zvučnog talasa do senzora određuju se koordinate ekrana
  - omogućava i merenje jačine pritiska, odnosno "dubinu" (z) pokazivanja
    - jačim pritiskanjem se povećava količina tečnosti u prstu, pa je apsorpcija zvuka veća
- Zvučni paneli su veoma otporni i ne troše se upotrebom
- Preporučena tehnologija za javne informacione kioske

# Kapacitivni dodirni panel

- Kontakt mora biti ostvaren prstom ili kapacitivnom provodnom pisaljkom
  - za razliku od rezistivnog panela, gde je nebitno da li je pisaljka provodna
- Sastoji se od:
  - staklene ploče
  - ploča je sa jedne strane obložena kapacitivnim (*charge storing*) materijalom
- Funkcionisanje:
  - obloga ploče je pod naponom, tako da se formira elektrostatičko polje
  - kada se panel dotakne kapacitivnim provodnikom (prstom)
    - promeni se elektrostatičko polje u tački dodira
    - oscilatorna kola (locirana na uglovima ekrana) promene frekvenciju
  - promena frekvencije zavisi od (x,y) položaja mesta dodira
- Vrlo su pouzdani i precizni
- Problem – ne može da se koristi sa običnim (izolacionim) rukavicama