

POKAZIVAČI KAO ELEMENTI INTERFEJSA ČOVEK – MAŠINA

- Osnovna namena pokazivača u kontekstu interakcije čoveka i mašine se sastoji u registrovanju, interpretaciji i praćenju promene stanja mašine, čoveka i njihovog okruženja tokom radnog procesa, ili nakon obavljenog rada ukoliko je to neophodno.
- Pokazivači se mogu klasifikovati na različite načine u veći broj grupa, zavisno od usvojenog kriterijuma klasifikacije. Jedna od osnovnih podela je na statičke i dinamičke pokazivače.
- Osnovna namena statičkih pokazivača se sastoji u prikazivanju stanja koje se tokom vremena ne menja, ili se menja u izuzetno dugim vremenskim intervalima. U ovu vrstu pokazivača spadaju znaci, slike, karte i slično.
- Osnovna namena dinamičkih pokazivača se sastoji u prikazivanju promene stanja (kao što je praćenje promene relevantnih parametara za funkcionisanje mašine).
- Podela dinamičkih pokazivača se može obaviti na osnovu većeg broja različitih kriterijuma. Kao dva osnovna kriterijuma se mogu izdvojiti vrsta čula kojima čovek prima određenu informaciju i način interpretacije signala.
- U odnosu na vrstu čula koja učestvuju u prijemu signala vezanih za promenu stanja, dinamički pokazivači se mogu podeliti u četiri grupe. To su (Sanders i McCormick):

- vizuelni
- auditorni
- dodirni i
- mirisni.

- U praksi čovek najčešće obavlja tri vida očitavanja sa pokazivača. To su kvantitativno, kvalitativno i kontrolno očitavanje.
- U cilju kvantitativnog očitavanja, najčešće se primenjuju analogni i digitalni pokazivači (Oborne), koji se javljaju u formi mehaničkih brojača i elektronskih pokazivača (LED, CRT, LCD i plazma displeji). Takođe je moguća i kombinacija analognih i digitalnih pokazivača.

Analogni pokazivači

- Istraživanje svojstava i unapređivanje karakteristika analognih vizuelnih pokazivača traje više od pola veka. Ova istraživanja su uslovia pojavu prvih preporuka vezanih za dizajn pokazivača, koje su dalje dovele do formiranja standarda koji se odnose na pokazivače (kao što je recimo britanski standard BS 3693).
- Primer analognih vizuelnih pokazivača koji se koriste u automobilu prikazan je na slici 1.



Slika 1. Analogni vizuelni pokazivači korišćeni u automobilu.

- Prilikom oblikovanja pokazivača, neophodno je uzeti u obzir dve veoma važne osobine koje treba da poseduje svaki pokazivač. To su lakoća (brzina) i tačnost očitavanja.
- Dimenzije broјčanika treba da budu takve da omoguće komforno i jednostavno očitavanje sa određene udaljenosti (distance očitavanja).
- Česte su situacije gde se primenjuje veliki broj analognih vizuelnih pokazivača, pri čemu je od posebnog značaja izvršiti njihovo pozicioniranje na odgovarajući način. Na slici 2 je prikazan raspored analognih vizuelnih pokazivača korišćen u nuklearnoj podmornici.



Slika 2. Konzola sa analognim pokazivačima u nuklearnoj podmornici.

- Pokazivači su na ovom primeru klasifikovani u tri grupe. U prvoj grupi (levi deo konzole) locirani su pokazivači vezani za prikazivanje stanja propulzionog sistema. Središnji deo konzole sadrži pokazivače namenjene za praćenje promene stanja reaktorskog postrojenja. U trećoj grupi (desni deo konzole) nalaze se pokazivači namenjeni za praćenje stanja električnog distribucionog sistema.
- U vezi sa veličinom skale je i veličina brojčanika. Za praktične potrebe, britanski standard predviđa da se dužina skale L u odnosu na rastojanje sa kojeg se očitava određuje iz formule $D = 14,4 L$ (primera radi, ukoliko je neophodno da se brojčanik nalazi na rastojanju od 1 m od operatora, potrebno je da rastojanje na skali između minimalne i maksimalne vrednosti iznosi najmanje 7 cm).
- Rastojanje između oznaka (crtica) na skali predstavlja jedan od fundamentalnih faktora koji utiče na čitljivost. Ovo rastojanje je u funkciji od veličine skale i broja oznaka na njoj.
- Ukoliko se rastojanje između dve susedne oznake na skali smanji, tada se menja i vidni ugao pod kojim se uočava rastojanje između oznaka, što uzrokuje pojavu većeg broja grešaka u očitavanju.
- Frekvencija grešaka u očitavanju sa pokazivača raste linearno sa logaritmom opadanja vidnog ugla.
- Murrell je pokazao da u većini slučajeva vidni ugao od 2 lučne minute predstavlja kritičnu tačku za očitavanje. Međutim, u slučajevima kada je osvetljenje nedovoljno, kritična vrednost vidnog ugla raste, tako da je neophodno dodatno povećati razmak između oznaka skale (Oborne).
- Glavne oznake na skali (tj. one koje su povezane sa određenim numeričkim vrednostima) treba da budu naglašene i dvostruke dužine u odnosu na najmanje oznake skale.
- Morgan preporučuje debljinu oznaka od 0,125 do 0,875 mm, zavisno od uslova osvetljenja (Oborne). Do istih zaključaka je došao i McCormick u svom istraživanju.
- Većina istraživača predlaže porast numeričkih vrednosti za po 1 ili 10 jedinica (1 .. 2 ...3...., ili 10 ... 20 ... 30, itd.), koje su ujedno najlakše za upotrebu. Sistem obeležavanja kod kojeg postoji porast za po 2 jedinice je nešto manje efikasan, dok se progres za po 4, 8, 25 jedinica (ili decimalni porast) ne preporučuje.
- Najmanje oznake na skali treba da omoguće posmatraču da izvrši interpolaciju između glavnih oznaka, tako da i iz tog razloga podela skale treba da bude dovoljno osetljiva.
- Kazaljka brojčanika treba da bude zašiljena, pri čemu vrh kazaljke može skoro da dodiruje ali ne sme da prekrije donji deo oznake (Oborne).
- Ukoliko se kazaljka postavi na većem rastojanju od površine brojčanika, može se pojaviti paralaksa.
- Veličina alfanumeričkih oznaka na brojčaniku zavisi od većeg broja faktora, kao što su rastojanje očitavanja, kontrast, osvetljenost i dopušteno vreme očitavanja.
- Smith navodi da je za očitavanje najpogodnija veličina alfanumeričkih oznaka između 7 i 24 lučna minuta. To znači da za rastojanje pokazivača od 1 m, veličina oznaka treba da iznosi najmanje 2,5 mm (7 lučnih minuta). U vezi sa tim, čitljivost od 90 % se može postići sa alfanumeričkim oznakama veličine 3,5 mm (10,5 min), a 100 % se postiže ukoliko veličina oznaka iznosi 7 mm (24,5 min).

Digitalni pokazivači

- Digitalni pokazivači se globalno mogu klasifikovati u dve kategorije, mehaničke brojače i elektronske pokazivače.
- Kod mehaničkih brojača, brojevi su štampani na obrtnom valjku, ili na komadićima metala koji se obrću oko valjka.
- Na slici 3 je prikazan mehanički brojač.



Slika 3. Mehanički brojač sa 5 alfanumeričkih mesta.

- Elektronski pokazivači imaju veće mogućnosti za prikazivanje informacija, tako da je i njihova primena raznovrsnija.
- Na slici 4 je prikazan elektronski pokazivač koji se koristi za praćenje radnih aktivnosti i efikasnosti rada operatora u kol centru.



Slika 4. Primer elektronskog pokazivača velikog formata koji je pozicioniran na zidu radne prostorije za praćenje efikasnosti rada operatora u kol centru.

Mehanički pokazivači

- Postoje dva bitna aspekta mehaničkih pokazivača (brojača): kako se brojevi menjaju i dizajn samih brojeva.
- Ukoliko se brojevi ne menjaju dovoljno brzo pri okretanju oko valjka, mogu se pojaviti neželjene situacije u kojima je samo jedan deo broja prikazan, na primer donji deo broja 8 i gornji deo broja 9. Ovo svakako produžava vreme očitavanja i povećava mogućnost pravljenja greške (Oborne).

Elektronski pokazivači

- Elektronski pokazivači obuhvataju vizuelni displej za čiju izradu mogu biti korišćena različita tehnološka rešenja, koji je najčešće povezan sa kompjuterskom jedinicom.
- U zavisnosti od tehnologije koja je korišćena za izradu displeja, elektronski pokazivači se mogu podeliti u četiri osnovne grupe. To su LED pokazivači koji koriste diode koje emituju svetlost, CRT pokazivači sa katodnom cevi, LCD pokazivači koji koriste tečni kristal i plazma pokazivači.

Led pokazivači

- LED pokazivači su matični pokazivači na kojima se alfanumerički simboli ispisuju pomoću dioda koje emituju svetlost. Ova tehnologija se bazira na hemijskim karakteristikama nekih poluprovodničkih materijala da emituju svetlost različite talasne dužine (boje), koja zavisi od materijala koji se koristi kada se električna energija propusti kroz njega.
- LED tehnologija se u početku zasnivala na korišćenju crvene svetlosti kojom su bile ispisivane poruke, uz mogućnost kreiranja jednostavnijih animacija. Zatim je 1994. godine NICHIA kompanija iz Japana izumela plavu diodu, koju danas u svetu proizvodi svega nekoliko firmi. Godinu dana kasnije, pomenuta kompanija je proizvela i diodu koja je mogla da emituje čistu zelenu svetlost. Na taj način je omogućeno dobijanje RGB signala kao kod televizijskih prijemnika, odnosno dobijanje realne slike prikazanih objekata. Na taj način je ostvaren prirodni prikaz 16 miliona boja sa dubinom od 10, 12 ili 16 bita po boji.



Slika 5. Fleksibilni LED ekran korišćen kao video zid.

- LED pokazivači su široku primenu našli u radnim prostorijama, ali i na otvorenim prostorima za prikazivanje raznovrsnih informacija, čemu su upravo doprinele izuzetne karakteristike vezane za kvalitet svetlosti koju proizvode LED diode. Ovi pokazivači se u mnogim zemljama sveta uobičajeno koriste za pružanje različitih informacija vezanih za transport, kao što su tekstualni natpisi na autoputevima koji ukazuju na gužvu u saobraćaju i alternativne pravce kretanja. Aerodromi, željezničke i autobuske stanice najčešće sadrže ovu vrstu pokazivača. U prevoznim sredstvima gradskog i međugradskog autobusnog saobraćaja često se primenjuju ovi pokazivači, koji putnicima pružaju bitne informacije u vidu pokretnih poruka. Stadioni i sportske hale se najčešće opremaju ovom vrstom pokazivača. LED pokazivači velikih dimenzija se često postavljaju na zgradama za praćenje određenih manifestacija od značaja uživo, kao i za prikazivanje reklama i drugog informativnog materijala.
- Dodirni ekran tehnologija (touch screen) je takođe povezana sa upotrebom LED pokazivača.
- LED pokazivači imaju mogućnost jednostavnog umrežavanja, tako da mogu biti upravljani iz jednog centra.
- Multimedijalni LED displeji pokazuju minimalnu zavisnost od uticaja spoljašnje svetlosti, usled mogućnosti regulisanja osvetljenosti pomoću kompjuterske jedinice sa kojom su povezani i visokog nivoa osvetljenosti koji može biti osvaren pomoću LED dioda.
- U stonim varijantama, horizontalni i vertikalni ugao gledanja ovih pokazivača iznosi obično 75° , odnosno 120° .
- Izrađuju se sa frekvencijom osvežavanja najčešće od 50 Hz i 100 Hz.

CRT pokazivači

- CRT pokazivači se zasnivaju na korišćenju katodne cevi. Iako je ova tehnologija koncipirana još 1897. godine od strane nemačkog naučnika Brauna, ona je svoju prvu praktičnu upotrebu našla kod televizijskih prijemnika kasnih četrdesetih godina prošlog veka.
- Površina CRT pokazivača (prednji deo katodne cevi) pokrivena je fosfornim tačkama. Na zadnjem kraju katodne cevi nalaze se tri elektronska topa za crvenu (R), zelenu (G) i plavu (B) boju, koji šalju elektronske snopove u pravcu pojedinih tačaka.



Slika 6. CRT pokazivač.

- U zavisnosti od intenziteta zraka, dobija se svetlija ili tamnija tačka date boje na ekranu. Kombinovanjem intenziteta samo pomenute tri boje (takozvani RGB sistem) dobija se bilo koja željena boja.
- Elektronski snop se usmerava pomoću elektromagneta promenljive jačine koji se nalaze na bočnim delovima katodne cevi.
- Ekranški fosfori su hemijske supstance koje emituju svetlost kada se pobude mlazom elektrona. Različiti fosfori emituju svetlost različitih boja. Svaka tačka se sastoji od tri fosforne čestice, koje su ponaosob namenjene za proizvodnju crvene, zelene ili plave boje. Ove grupe od po tri fosfora sačinjavaju jedan piksel (osnovni element slike).
- Analogno trihromatskoj teoriji koja se zasniva na postojanju tri tipa receptora osetljivih na svetlost crvene, zelene i plave boje pomoću kojih se formira određena slika na kognitivnom nivou kod čoveka, monitori sa katodnom cevi koriste RGB sistem za formiranje slike objekta na ekranu, na osnovu generisanja samo tri pomenute boje.
- Kada se elektronski ekscitira crveni, zeleni i plavi fosfor piksela u određenoj proporciji, dobijaju se različite boje vizuelnog spektra. Ukoliko se ekscitacija crvenog, zelenog i plavog pigmenta izvrši maksimalnim intenzitetom, dobija se bela svetlost.
- Generisanjem talasnih dužina crvene (R), zelene (G) i plave (B) boje u određenoj proporciji dobija se bilo koja boja (C), što se može izraziti sledećom jednačinom (Schiffman)

$$C = xR + yG + zB$$

gde su sa x, y i z označeni koeficijenti proporcije tri talasne dužine koje se mešaju da bi se dobila određena boja.

- Rezolucija CRT monitora predstavlja broj piksela na radnoj površini, izražena u vidu proizvoda broja piksela u horizontalnom i vertikalnom pravcu.
- Maksimalna rezolucija CRT monitora, odnosno maksimalni nivo reprodukcije detalja prikazane slike ne zavisi samo od najviše frekvencije skeniranja. Drugi činilac koji utiče na rezoluciju je rastojanje između susednih fosfornih tačaka iste boje na unutrašnjoj površini katodne cevi (što je rastojanje manje, jasnije se mogu uočiti detalji).
- Nedovoljno rastojanje između tačaka može dovesti do toga da pojedini detalji postanu zamagljeni (kao što je na primer sitniji tekst).
- Fliker predstavlja brze vidljive fluktuacije slike na ekranu koje se zapažaju kao treperenje slike.
- Pojava flikera na ekranu se može negativno odraziti na vidljivost. Ova pojava nema negativnih efekata na vidljivost ukoliko je osvežavanje ekrana na nivou od 50 do 60 puta u sekundi, jer vizuelni sistem čoveka takve promene ne zapaža. Pojedini standardi (kao što je VESA) povećavaju frekvenciju osvežavanja na 75 ili 80 Hz kako bi se izbegla pojava flikera.
- Osnovni nedostatak CRT pokazivača se vezuje za problem njihovih velikih dimenzija (gabarit je uslovljen dužinom katodne cevi, koja je utoliko duža ukoliko je površina ekrana veća). Usled toga, CRT monitori zauzimaju relativno veliki deo radne površine. Pored toga, visokonaponska kola i jaka magnetna polja predstavljaju izvor elektromagnetnog zračenja.
- Spektar zračenja koji potiče od CRT monitora je veoma širok. Pored vidljivog dela spektra, CRT ekrani emituju jonizujuće, nejonizujuće, infracrveno, mikrotalasno, radifrekventno, veoma i ekstremno niskofrekventno zračenje. Brojna istraživanja su pokazala da zračenje koje proizvode CRT ekrani nema štetnih posledica na operatora (OSHA 1995 i 1997, Osborne, Ho). Postoje takođe i stavovi (OROSHA) da u pogledu nejonizujućeg zračenja nema još uvek nedvosmislenih potvrda da CRT ekrani proizvode bezbedan nivo zračenja.
- U pogledu zdravlja, posebno se ističe problem vezan za potencijalne posledice na trudnoću. U tom smislu se navodi mogućnost štetnog dejstva ekstremno niskofrekventnog CRT zračenja (OSHA 1995). Smatra se da ova vrsta zračenja može imati negativne biološke efekte kroz dejstvo na tkivo, zagrevajući ga slično kao što to čini mikrotalasna pećnica (ali u znatno manjoj meri).
- Atsumi i saradnici su ispitivali dejstvo statičkog elektriciteta na operatora (Nishiyama). U slučaju kada je statičko naelektrisanje VDT ekrana iznosilo 6 – 10 kv, ovi autori su zabeležili pritužbe operatora koje su se odnosile na osećaj prisustva stranog tela u očima, suzenje, pri čemu je zapažena i pojava crvenila u očima. Kada je statičko naelektrisanje CRT ekrana eliminisano, prethodno navedeni simptomi su nestali.
- U cilju smanjenja negativnog dejstva statičkog elektriciteta OROSHA preporučuje korišćenje anti – statičkih podnih obloga.
- Pored pomenutog, u cilju smanjenja štetnog dejstva elektromagnetnog zračenja CRT monitora, u čestoj su praktičnoj upotrebi zaštitni ekranski filteri. Ovi filteri se postavljaju na površinu ekrana monitora. Zaštitni ekranski filteri imaju osobinu da redukuju i štetno dejstvo blještanja, kako od prirodnih, tako i od veštačkih izvora svetlosti.

- U cilju sprečavanja blještanja na CRT ekranima primenjuje se tehnologija koja se zasniva na obavijanju svake fosforne tačke ponaosob sopstvenim filterom.

LCD pokazivači

- Pronalaženje tečnih kristala se vremenski vezuje za kraj devetnaestog veka, ali se sa njihovom primenom za izradu displeja počelo sedamdesetih godina dvadesetog veka.
- Tečni kristali su gotovo providne supstance, koji imaju osobine i čvrste i tečne materije. Kada svetlost prolazi kroz tečni kristal, struktura njihovih čestica pokazuje karakteristike koje su identične prolasku svetlosti kroz čvrste materijale.
- Naelektrisavanjem tečnih kristala menja njihov molekularni poredak (što je inače odlika tečnih supstanci), a samim tim se menja i način na koji svetlost prolazi kroz njih.
- Pokazivači sa tečnim kristalima su višeslojni, pri čemu svaki sloj ima odgovarajuću funkciju. Pored sloja sa tečnim kristalom, jedan od najbitnijih slojeva je kolorni filter sa crvenom, zelenom i plavom bojom koji omogućava kreiranje obojenih objekata na ekranu.
- Osnovna uloga tečnog kristala se sastoji u tome da u zavisnosti od orijentacije molekula (koja se menja promenom napona) propusti odgovarajuću količinu izvora bele svetlosti.
- LCD pokazivači najboljih performansi su oni koji koriste tehnologiju tranzistora tankog filma (TFT). Kod ovih displeja je za svaku boju piksela namenjen po jedan tranzistor, koji poboljšava performanse rada u smislu skraćanja vremena odziva, povećanja luminancije i kontrasta.
- S obzirom da se svaka ćelija LCD pokazivača uključuje i isključuje pojedinačno, problem flikera je izražen u znatno manjoj meri nego kod CRT monitora. LCD monitori mogu raditi i sa brzinom osvežavanja ispod 50 Hz a da pri tome ne ostvaruju lošiji kvalitet slike od CRT monitora koji rade na 75 Hz.
- LCD monitori imaju određene nedostatke. Pre svega, može se pojaviti problem neujednačene osvetljenosti u pojedinim delovima ekrana. Ugao gledanja je daleko manji nego kod CRT displeja. Dešava se takođe da pojedini pikseli na ekranu otkažu. Kod DSTN displeja (dual - scan twisted nematic) sa tečnim kristalima koji koriste tehnologiju pasivnih matrica pojavljuje se efekat razmazane slike kada se prate brzo promenljivi sadržaji (slično se dešava i u slučaju brzih pokreta sa kompjuterskim mišem). Takođe je na CRT pokazivačima moguće ostvariti veći kontrast nego na DSTN pokazivačima koji koriste tečni kristal.
- Osnovna prednost pokazivača sa tečnim kristalima (posebno onih koji se koriste na VDT radnim mestima) je u njihovim malim dimenzijama po dubini. Usled toga, oni zauzimaju znatno manji prostor na radnoj površini od CRT monitora. Ovi pokazivači praktično ne emituju zračenje. Blještanje je svedeno na minimum, tako da je u tom smislu manje zamaranje vizuelnog sistema.
- Na slici 7 prikazan je LCD pokazivač koji se koristi za rad sa personalnim kompjuterom.



Slika 7. LCD pokazivač koji se koristi za rad sa kompjuterom.

- LCD pokazivači se takođe primenjuju kod digitalnih foto aparata i kamera, satova, prenosivih kompjutera, GPS sistema, za potrebe u medicini i industriji.

Plazma pokazivači

- Prvobitni pokazivači sa plazmom su dizajnirani još 1964. godine od strane Bitzera i Slottowa na univerzitetu Illinois. Nakon dužeg perioda proizvodnje monohromatskih plazma pokazivača, firma Fujitsu je 1992 godine dizajnirala prvi plazma displej koji je emitovao slike objekata u punom koloru.
- Plazma pokazivači su svetlosno emisivni displeji kod kojih se svetlost formira pomoću fosfora, koji se pobuđuje pražnjenjem plazme između ravnih staklenih ploča. Ovi pokazivači sadrže mešavinu inertnih gasova kao što su argon, neon ili ksenon koji se pri visokom naponu jonizuju i prelaze u stanje plazme.
- Svaki piksel ili ćelija plazma pokazivača se sastoji od malog kondenzatora sa tri elektrode. Električnim pražnjenjem pomoću elektroda postiže se jonizacija inertnih gasova u ćeliji i njihov prelaz u stanje plazme. Ćelije plazme tada počinju da emituju ultraljubičastu svetlost koja udara u crveni, zeleni i plavi fosfor sa prednje strane, što dovodi do kreiranja boje piksela. Svaka ćelija je podeljena na tri podćelije, koje ponaosob sadrže kao i CRT pokazivači crveni, zeleni i plavi fosfor.
- Plazma displeji omogućavaju kreiranje 256 intenziteta svake boje. Emisivna sposobnost ovih pokazivača im omogućava izvanredne performanse boja i širok vidni ugao.

- Osnovni nedostatak plazma pokazivača je u tome što su njihovi pikseli krupni, tako da se još uvek ne upotrebljavaju za rad sa personalnim kompjuterima. Pored toga, njihov relativno kratak radni vek koji je do skoro iznosio svega 10000 sati nije omogućavao njihovu masovnu upotrebu za obavljanje svakodnevnih radnih aktivnosti (s obzirom na visoku tržišnu cenu ovog proizvoda).
- Plazma pokazivači se najčešće koriste za multimedijalne prezentacije namenjene većem broju ljudi.
- Mogu se ostvariti visoke rezolucije kao i kod CRT i LCD pokazivača, kao i visok nivo kontrasta.
- Izrađuju se sa velikim dimenzijama površine za prikazivanje (dijagonala može da iznosi preko 200 cm). Ukupna debljina displeja obično iznosi manje od 10 cm.



Slika 8. Zakrivljeni plazma displej veoma male debljine.

- U praksi je veoma čest slučaj da se za upravljanje i kontrolu rada sistema kombinuju analogni i digitalni pokazivači.
- Primer kombinovanja analognih i digitalnih pokazivača u borbenom avionu prikazan je na slici 9.



Slika 9. Kombinovana primena analognih i digitalnih pokazivača na primeru kokpita borbenog aviona F4.

Kvalitativni pokazivači

- Kvalitativni pokazivači se primenjuju u cilju prikazivanja orijentacione vrednosti promenljive veličine čije se stanje prati, odnosno njenog trenda, brzine ili nivoa promene. Oni prikazuju status određene varijable tako što diferenciraju određen broj kritičnih oblasti u kojima posmatrana veličina može da se nalazi (kao recimo kod temperaturnog pokazivača motornog vozila koji najčešće sadrži oblasti hladno, normalno i toplo). Koriste se i za kontrolu posmatrane veličine u okviru određene dozvoljene oblasti (kao recimo održavanje brzine kretanja motornog vozila ispod 120 km/h), odnosno za utvrđivanje pozicije veličine koja se posmatra.
- Kao u slučaju kvantitativnih pokazivača, oblik kvalitativnih pokazivača takođe ima uticaja na očitavanje. Međutim, ukoliko je za dati oblik pokazivača kvantitativno očitavanje zadovoljavajuće, isti takav oblik pokazivača se može pokazati nezadovoljavajućim za kvalitativnu vrstu očitavanja.
- U eksperimentu Elkina prosečno vreme kvantitativnog očitavanja je bilo najkraće kada je korišćen analogni pokazivač sa prozorčedom, dok se ovaj oblik pokazivača pokazao najnepovoljnijim za kvalitativno očitavanje. Slično tome, prosečno vreme kvantitativnog očitavanja je bilo kraće kod kružnih nego kod vertikalnih pokazivača, dok je uslučaju kvalitativnog očitavanja prosečno vreme očitavanja kod kružnog oblika pokazivača bilo duže nego kod vertikalnog oblika pokazivača (Sanders i McCormick).
- Oblik kvalitativnih pokazivača se često koristi u cilju kodiranja informacije, kako bi ona mogla lako biti prepoznata.
- Od različitih metoda kodiranja koji su konstruktoru dostupni, boje se primenjuju kao najefikasniji kodni sistem. Ovo se neposredno reflektuje u činjenici da najveći broj pokazivača za kvalitativno očitavanje sadrži kolorni kod. Takvi pokazivači se nazivaju pokazivači sa kolornim kodiranjem.
- Maksimalni broj boja koje treba koristiti za kolorno kodiranje iznosi približno 10.
- Nakon određivanja potrebnog broja boja za kodiranje, pristupa se određivanju vrste boja koje će se koristiti za određenu namenu. Neophodno je da izabrane boje budu kompatibilne sa operatorovim shvatanjem šta one predstavljaju.
- U slučaju pokazivača koji se koriste za rad kontrolnih prostorija, primenjuju se pored već pomenutih vrsta kodiranja još i kodiranje alfanumeričkim oznakama, osvetljenošću, blinkanjem, kao i lokacijsko kodiranje.
- Neophodno je pridržavati se sledećih preporuka prilikom izbora načina kodiranja:
 - potrebno je da postoji konzistentnost bilo kojeg odabranog koda na svim pokazivačima koji se primenjuju u kontrolnoj prostoriji ili za rad određenog uređaja, čije se stanje prati tokom vremena
 - kodovi treba da budu laki za učenje i da su u saglasnosti sa bilo kojim konvencijama ili stereotipima koji važe za određenu populaciju korisnika
 - neophodno je obezbediti lako razlikovanje pojedinih elemenata koji sačinjavaju kodni sistem
 - ako se koristi, primenjeni alfanumerički kod ne treba da bude dugačak
 - ukoliko se istovremeno primenjuju dva ili više različitih vrsta kodova za isti sistem, tada primenjeni kodovi ne smeju da dovedu do bilo kog vida konfuzije kod operatora

- niže zasićene boje treba da se koriste za kodiranje informacija koje su manje bitne, odnosno koje nisu kritične za operaciju ili zahtevaju hitno reagovanje (Wilson i Rajan).

Mimički i devijacioni pokazivači

- Mimički pokazivači služe za grafičku prezentaciju određenog sistema. Ova prezentacija može da odražava ili funkcionalne veze između elemenata sistema (na primer šematska prezentaciju toka procesa) ili geografski, odnosno topografski raspored elemenata sistema (na primer fizički razmeštaj elemenata postrojenja procesne industrije).



Slika 10. Mimički pokazivač koji se koristi u aplikacijama za vatru i gas. Ovaj panel prikazuje geografski raspored instalacije i opreme koji omogućava brzu vizuelnu procenu opasnosti od požara i gasa.

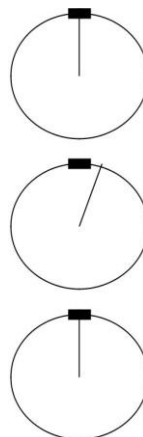
- U slučaju automatizovanog procesa proizvodnje, neophodno je da operator poznaje stanje procesa koje je u nekom trenutku dostignuto, kako bi mogla biti ostvarena rana detekcija bilo kog neuobičajenog događaja koji zahteva intervenciju manualnog ili poluautomatskog karaktera, odnosno otkrivanje mesta u automatizovanom sistemu gde se pojavila greška. Sekvencijalni pokazivači mogu ovakvu vrstu informacije obezbediti na eksplicitan način.
- Devijacioni pokazivači služe za otkrivanje grešaka u izvršenju zadatka koji se kontroliše. Ovi pokazivači ukazuju kada nivo varijable čija se promena prati dostiže granični nivo, ili zalazi u područje izvan predviđene granice. Devijacioni pokazivači takođe prikazuju stepen devijacije. Izrađuju se najčešće u formi histograma, pri čemu je svaka varijabla predstavljena u formi stubića čija visina ukazuje na dimenziju devijacije u odnosu na granični nivo. Na ovim pokazivačima mogu biti predstavljena kako pozitivna, tako i negativna odstupanja. Osobine devijacionih pokazivača omogućavaju brze intervencije u sistemu, ukoliko je to potrebno.



Slika 11. Primer devijacionog pokazivača koji se koristi za indikaciju devijacije kursa aviona.

Pokazivači za kontrolna očitavanja

- Kontrolno očitavanje se odnosi na upotrebu pokazivača sa ciljem da se utvrdi da li je očitana vrednost u području koje je karakteristično za normalan rad mašine.
- Iako pokazivači za kontrolna očitavanja mogu sadržati i alfanumeričke vrednosti, oni po svojim karakteristikama spadaju u grupu kvalitativnih pokazivača posebne namene.
- Ova vrsta pokazivača sadrži informacije u kodiranom obliku.
- Ukoliko se dva ili više instrumenata za kontrolno očitavanje koriste na panelima, njihovo pozicioniranje treba da bude takvo da se pojava bilo koje devijantne vrednosti na nekom od njih može brzo i lako uočiti. U tom cilju, često se primenjuje konfiguracija pokazivača u nizu, kod kojih su područja karakteristična za normalno stanje varijabli orijentisana u istom pravcu, recimo kao položaj kazaljke na 12 ili 9 časova.
- Na slici 12 prikazano je poziciono kodiranje pokazivača za kontrolno očitavanje.



Slika 12. Primer adekvatnog pozicioniranja grupe pokazivača za kontrolno očitavanje, koje omogućava jednostavno uočavanje pojave devijantne vrednosti (kao što je to u slučaju središnjeg pokazivača iz niza).

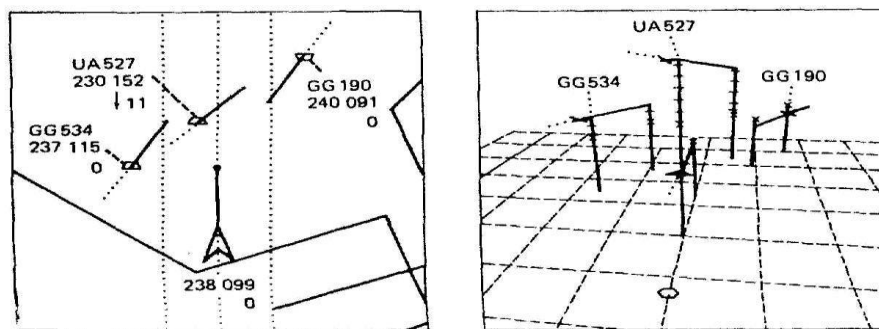
- Kurke je predložio interesantan dizajn brojčanika, koji je prvenstveno namenjen za kontrolna očitavanja. Osnovna konstrukciona karakteristika tog brojčanika se sastoji u tome što se klinasto oblikovana zastavica visokog kontrasta u odnosu na osnovu pojavljuje u trenutku kada kazaljka dostigne određeni nivo, kao što je opasnost. Zastavica nije vidljiva kada mašina radi u bezbednom ili normalnom stanju. Kurke je dokazao da se upotrebom takvog pokazivača značajno redukuju greške, a vreme očitavanja smanjuje u poređenju sa pokazivačem baziranom na kolornom kodiranju, kod koga je kolorno područje neprekidno vidljivo.

Statusni pokazivači, signalna i upozoravajuća svetla

- Ukoliko se kvalitativni pokazivači striktno koriste za identifikaciju određenog statusa sistema (a ne i u druge svrhe kao recimo za praćenje trenda), onda se takvi pokazivači nazivaju statusni.
- Ovi pokazivači prikazuju separata, diskretna stanja kao što su uključeno ili isključeno, stop ili kreni (kao kod saobraćajnih semafora), oprez i slično.
- Kao najčešće primenjivani statusni indikator koristi se svetlosna signalizacija.
- Ovi pokazivači su takođe kodirani, najčešće bojom i lokacijom (na dnu, u sredini, na vrhu).
- Trepćuća ili konstantno upaljena svetla se koriste u različite svrhe, kao što je ukazivanje na opasnost, pomoć u navigaciji ili za privlačenje pažnje na određene lokacije (kao recimo na panelu sa instrumentima).
- U slučaju kada se koriste trepćuća svetla, frekvencija treptanja treba da bude znatno ispod onog pri kojem se trepćuće svetlo zapaža kao kontinualna svetlost. Ovaj nivo se naziva kritična fuziona frekvencija i približno iznosi 30 treptaja u sekundi.
- Woodson i Conover preporučuju nivo treptaja od 3 do 10 puta u sekundi, sa trajanjem od najmanje 0,05 s. Markowitz navodi da se mogu uspešno primeniti i nešto niže vrednost treptaja od 1 do 2 puta u sekundi, što je u skladu sa mogućnostima vizuelne diskriminacije kod čoveka.
- Neke od preporuka za korišćenje signalnih i upozoravajućih svetala (Heglin) su:
 - signalna, odnosno upozoravajuća svetla treba koristiti u slučaju potrebe ukazivanja na neko potencijalno opasno stanje
 - ukoliko se svetlosna signalizacija koristi za to da se ukaže na neko postojeće stanje koje se tokom vremena ne menja, tada se kontinualna svetlost može koristiti sve dok uslovi ne postanu kritični za bezbedno funkcionisanje sistema
 - za predstavljanje urgentnih stanja ili ukazivanje na promenu stanja takođe treba koristiti trepćuću svetlost
 - u slučaju kada se različite frekvencije treptaja koriste za ukazivanje na različite nivoe neke varijable, tada ne treba koristiti više od tri nivoa treperenja svetlosti
 - osvetljenost koju proizvodi trepćuće svetlo treba da bude najmanje dva puta veća od osvetljenosti neposrednog okruženja
 - upozoravajuće svetlo treba da bude u granicama od 30° u odnosu na normalnu liniju gledanja operatora
 - za boju upozoravajućeg svetla uobičajeno treba izabrati crvenu, jer ona kod većine ljudi simbolizuje opasnost
 - upozoravajuće svetlo treba da obuhvata najmanje 1° vidnog ugla.

Reprezentacioni pokazivači

- Većina reprezentacionih pokazivača se primenjuje za predstavljanje promenljivih uslova i stanja (pre svega u grafičkoj formi).
- Osnovni elementi koji se na njima prikazuju pokazuju tendenciju promene pozicije (konfiguracije), koja je prikazana na pozadinskom okruženju displeja.
- Kao primer ove vrste pokazivača može se navesti pokazivač u avionu koji prikazuje poziciju drugog aviona na nebu ili pozicije na kopnu.
- Reprezentacioni pokazivači šematski prezentuju određenu situaciju, omogućavajući operatoru da je realnije sagleda i predvidi moguće ishode.
- Prilikom upravljanja avionom pilot treba da asimilira i integriše informacije prikazane na dvodimenzionalnom pokazivaču (2 - D) u koherentnu trodimenzionalnu (3 - D) sliku, to jest da kreira mentalni model okruženja (drugim rečima, pilot treba da stvori predstavu o tekućoj situaciji u 3 - D).
- Jedna od metoda koji se koristi za predstavljanje 3 - D informacija na 2 - D pokazivaču sastoji se u primeni određenih tehnika iz domena umetnosti, kako bi se dobila iluzija postojanja dubine. Takvi pokazivači koji predstavljaju trodimenzionalnu sliku okruženja nazivaju se 3 - D pokazivači perspektive.
- Ispitujući razlike u primeni 2 - D i 3 - D pokazivača perspektive za izbegavanje situacije kolizije aviona, Ellis, McGreevy i Hitchcock su našli da je u najvećem broju slučajeva primena 3 - D pokazivača skratila vreme odlučivanja pilota za 3 - 6 sekundi u odnosu na 2 - D pokazivač.
- Na slici 13 prikazani su 2 - D i 3 - D pokazivač perspektive.



Slika 13. 2 - D i 3 - D pokazivač perspektive koji prikazuju položaj pilotovog aviona u odnosu na tri druga aviona (Sanders i McCormick).

HUD pokazivači

- HUD pokazivači (head - up displays) su takva vrsta pokazivača koja omogućava očitavanje informacije sa displeja bez potrebe za skretanjem pogleda usmerenog na praćenje tekuće situacije, odnosno bez potrebe za povijanjem glave na dole ili u stranu kako bi pokazivač bio u vidnom polju.

- HUD je tehnologija koja se može primeniti za prikazivanje bilo koje vrste pokazivača, tj. kvantitativnih, kvalitativnih, kontrolnih ili bilo koje druge vrste displeja.
- HUD pokazivači su inicijalno razvijeni za potrebe vojne avijacije. Bilo je potrebno obezbediti da pilot očitava informacije sa pokazivača a da se pri tome ne ometa praćenje situacije izvan aviona. U borbenoj situaciji svako skretanje pogleda čak i kratkog vremenskog trajanja može uticati na odlaganje pravovremene reakcije pilota sa katastrofalnim ishodom. Danas su skoro svi taktički borbeni avioni opremljeni ovom vrstom pokazivača.
- HUD pokazivači počinju sve više da se primenjuju u automobilskoj industriji, ali se koriste i za druge namene (recimo čak kod personalnih kompjutera).
- Postoje dve osnovne vrste HUD pokazivača. Kod prve vrste HUD pokazivača slika određenog displeja je fiksirana na određeni segmenat šasije i ne može se pomerati pokretom glave, već se položaj slike koriguje u zavisnosti od orijentacije vozila. Ovakvi HUD pokazivači su prevashodno zastupljeni u automobilima i putničkim avionima.
- Kod druge vrste HUD pokazivača slika prikazanog displeja se pomera sa pokretom glave. Ova vrsta HUD pokazivača iziskuje dodatnu opremu, najčešće u vidu kacige sa posebnim sistemom koji prati pogled operatora i u skladu sa tim koriguje poziciju projektovanog pokazivača.
- Osnovna ideja vezana za primenu HUD pokazivača se sastoji u tome da korisnik može gledati sliku spoljašnjeg okruženja i informacije sa HUDa bez promene akomodacije oka.
- Čest je slučaj kod ovakvih sistema da objekti iz spoljašnjeg sveta izgledaju manji i udaljeniji nego što stvarno jesu (Sanders i McCormick), što predstavlja nedostatak ovih pokazivača.
- Na slici 14 prikazan je HUD pokazivač koji se koristi u formuli 1.



Slika 14. HUD pokazivač sa sistemom koji reaguje na pokrete glave, korišćen u formuli 1.

Auditorni, dodirni i olfaktorni pokazivači

- Auditorni pokazivači se prvenstveno primenjuju za davanje određenih informacija u vidu signalnih i upozoravajućih tonova (zvukova).
- Alarmni i upozoravajući auditorni pokazivači treba da ispune određene zahteve u pogledu intenziteta i frekvencije zvukova koji se koriste kao nosioci informacije.
- U pogledu intenziteta zvuka, potrebno je istaći da do izvesne granice zvuk većeg intenziteta može imati pozitivno delovanje na pobuđivanje pažnje i iniciranje pravovremenog odgovora. Ova osobina posebno dolazi do izražaja u uslovima postojanja auditornog šuma. Međutim, signali izrazito visokog intenziteta mogu dovesti do pojave stresne reakcije i na taj način umanjiti performanse izvršenja zadatka. Neophodno je izabrati takav intenzitet upozoravajućeg signala koji će omogućiti njegovo jasno razlikovanje od ostalih ambijentalnih zvukova.
- Doll i Folds su obavili istraživanje frekvencija zvukova koji se koriste za auditorne pokazivače u avionima. Ovo istraživanje je pokazalo disonantne vrednosti za frekvencije zvukova auditornih pokazivača u kokpitima ispitivanih letilica. Primera radi, F - 15 koristi ton od 1600 Hz sa prekidima u trajanju od 1 Hz za određene vrste upozorenja, dok F - 16 koristi konstantni ton od 250 Hz za isto upozorenje. Pored toga, relativno veliki broj negovornih zvučnih signala se koristi u kokpitima aviona. Tako se u F - 15 koristi 11 različitih audio signala, dok se u C - 5A koristi 12 signala koji ukazuju na različita stanja (Sanders i McCormick).
- Prilikom dizajniranja i selekcije auditornih pokazivača, neophodno je pridržavati se sledećih preporuka:
 - koristiti frekvencije između 200 i 5000 Hz, odnosno između 500 i 3000 Hz iz razloga što je čulo sluha najosetljivije u srednjem frekventnom opsegu
 - koristiti frekvencije ispod 1000 Hz kada signal treba da pređe veće dužinsko rastojanje iz razloga što veće frekvencije nemaju veliki domet
 - koristiti frekvencije ispod 500 Hz kada signal treba da krivuda između određenih prepreka ili prolazi kroz pregrade
 - koristiti modulisani signal koji sadrži od 1 - 8 tonskih pulsacija u sekundi jer se takva vrsta zvuka lako može uočiti između ostalih zvukova iz okruženja
 - koristiti uvek različitu frekvenciju od svih ostalih frekvencija iz zvučnog okruženja
 - ukoliko je potrebno koristiti više različitih zvukova namenjenih za opisivanje većeg broja različitih stanja, tada se preporučuje korišćenje različitih tonova srednjeg intenziteta
 - koristiti više različitih zvučnih izvora (trube, zvona, alarmi) kada je potrebno obezbediti razlikovanje zvukova koji istovremeno opisuju različita stanja sistema.
- Iako u svakodnevnom životu veoma često koristimo čulo dodira, dodirni pokazivači se relativno retko upotrebljavaju za prenošenje informacija. Primarna uloga dodirnih pokazivača se u današnje vreme zasniva na zameni drugih vrsta pokazivača, pre svega za potebe slepih i gluvih osoba.
- Najčešće primenjeni tipovi stimulusa koji se koriste kod dodirnih pokazivača su mehaničke vibracije i električni impulsi.

- Osnovni fizički parametri koji se koriste za prenošenje informacija putem vibracija su lokacija vibracije, frekvencija, intenzitet i trajanje.
- Električni impulsi mogu biti kodirani na više načina, putem lokacije elektrode, nivoa pulsacije, trajanjem, intenzitetom ili fazom.
- Primena električnih impulsa ima određenih prednosti u odnosu na mehaničke vibracije iz razloga što je sa elektrodama jednostavno rukovati (mogu se pozicionirati na bilo koju tačku tela). Pored toga, osetljivost na električnu stimulaciju kože nije u zavisnosti od temperature kože, dok je osetljivost na mehaničke vibracije u funkciji od temperature kože (Sanders i McCormick).
- Olfaktorni pokazivači nisu našli širu upotrebu u praksi. Ipak, oni se mogu sa uspehom koristiti u cilju davanja informacija vezanih za određena upozorenja. Tako na primer, kompanije za distribuciju gasa najčešće dodaju poseban miris gasu, kako bi se on lako mogao detektovati ukoliko dođe do njegovog oslobađanja u okolni vazduh.
- Ova vrsta pokazivača se u praksi primenjuje kao suplement drugim vrstama pokazivača, pre svega onim koji služe kao upozoravajući natpisi.

Savremene forme pokazivača

- U nastavku će biti prikazane savremene forme pokazivača, od kojih je jedan deo još uvek u fazi razvoja i u ovom trenutku nije našao masovnu primenu u industriji. Međutim, potencijal ovih pokazivača je izuzetan, tako da je samo pitanje vremena kada će njihova primena postati uobičajena praksa.

Stoni uređaj na dodir (tabletop touch device)

- Stoni uređaj na dodir se bazira na primeni takozvane direktne manipulacije. Koncept direktne manipulacije je u središtu dizajniranja i korišćenja mnogih savremenih i naprednih formi interfejsa, koje nisu primarno dizajnirane za desktop primenu. Interfejs za direktnu manipulaciju je onaj interfejs gde se grafičkim objektima (2d ili 3d) direktno manipuliše pokazivačkim ili komandnim uređajem, kao što je recimo miš, ili se deo tela korisnika upotrebljava kako bi se obavila neka akcija.
- Novija rešenja dodatno proširuju primenu koncepta direktne manipulacije na proširenu stvarnost i druge korisničke interfejse koji su bazirani na opipavanju ili dodiru.
- Sa druge strane, interfejsi bazirani na indirektnoj manipulaciji koriste tekst ili reči kao zamenu za fizičke ili grafičke objekte. Karakteriše ih i kucanje komandi, umesto ukazivanja na objekat. Interfejsi indirektno manipulacije ne koriste metafore kao zamene za objekte.



Slika 15. Na prikazanoj slici tri korisnika rade istovremeno na velikom stonom uređaju na dodir. Oni mogu koristiti svoje ruke za manipulaciju objektima na uređaju. Pri tome, različiti pokreti rukama se koriste za izvršenje korespondentnih funkcija ovog uređaja.

Displeji sa velikim ekranima

- Iako su stone verzije displeja sa ravnim ekranima još uvek najzastupljenije u industriji, u poslednje vreme sve više počinju da se primenjuju displeji koji koriste ekrane velikih dimenzija. Oni po pravilu poseduju visoku rezoluciju, imaju ravan ekran i projektuju sliku veličine nekoliko metara.



Slika 16. Displej sa velikim ekranom.

- Međutim, njihova implementacija ponekad nije jednostavna. Na primer, u konvencionalnim kontrolnim prostorijama nuklearnih elektrana, implementacija ovih velikih displeja je povezana sa brojnim tehničkim poteškoćama, uglavnom zbog nedostatka mesta u prostoru koji je prvobitno bio dizajniran za velike, ožičene konzole i panele. Iz tog razloga, dizajneri novih kontrolnih prostorija su u prednosti, jer imaju mogućnost da palniraju prostor za pozicioniranje displeja velikih dimenzija.
- Proizvođači i prodavci često navode dizajnere da olako pretpostave da će veliki ekrani automatski nadmašiti male. Međutim, pre opremanja kontrolne sobe sa velikim displejima, ergonomi i inženjeri ljudskog faktora bi trebalo da procene pod kojim uslovima povećana veličina ekrana i rezolucija mogu da budu povoljni i kako mogu da doprinesu svesti o situaciji koja se kontroliše. U mnogim slučajevima, određeni broj standardnih prikaza u okviru radnog mesta operatera može biti efektivniji od velikog prikaza na jednom ekranu.

Prenosivi displeji

- Prototipove prenosivih displeja i displeja koji se montiraju na glavu korisnika vojska je napravila i testirala duži niz godina. Ovakvi uređaji se kreću od velikih i teških, displeja, displeja virtuelne realnosti koji se montiraju na glavu u cilju sprovođenja specifične obuke, pa sve do lakih, prozirnih uređaja koji se koriste za aplikacije proširene stvarnosti.
- Ova tehnologija je sada konačno postala komercijalna stvarnost i prisutna je na mnogim tržištima. Uređaji poput Google Glass-a mogu da ponude značajne mogućnosti za pojednostavljivanje uobičajenih zadataka u kontrolnoj prostoriji, poput dostupnosti procedura uskladištenih na kompjuteru jednostavnom glasovnom komandom.
- Primer. DB Schenker je jedan od lidera u upravljanju lancem snabdevanja i logističkim rešenjima. Oni koriste displej koji se montira na glavu (u vidu naočara) i softver iz Picavija da poboljšaju selekciju narudžbina u svojim skladištima. Informacije o proizvodu i narudžbini pojavljuju se direktno na ekranu displeja, omogućavajući radnicima simultan rad (bez angažovanja ruku u druge svrhe). Efikasnost radnika je povećana za 10 % u odnosu na situaciju kada je radnik koristio za istu namenu ručni skener.



Slika 17. Radnik iz kompanije DB Schenker koji koristi pametne naočare dok ne prekida obavljanje primarne radne aktivnosti.

Trodimenzionalni displeji

- Tehnologije koje korisnicima omogućuju gledanje objekata i okruženja u tri dimenzije se kreću od relativno jednostavnih uređaja koji zahtevaju od korisnika da koriste naočare za pregled vizuelne prezentacije, do sofisticiranih volumetrijskih holografskih ekrana.
- 3-D ekrani ili stereo ekrani kako se još nazivaju predstavljaju normalne dvodimenzionalne (2-D) slike pomaknute bočno za malo rastojanje i prikazane odvojeno za levo i desno oko. Obe ove 2 -D ofset slike se zatim kombinuju u mozgu (uz primenu 3-D naočara ili bez njih, zavisno od vrste displeja i primenjene tehnologije) i kreiraju osećaj dubine.



Slika 18. 3-D displej koji ne zahteva upotrebu 3 – D naočara.

- Druga tehnika, nazvana „polarizovani trodimenzionalni sistem“, koristi dve slike koje se postavljaju jedna preko druge i koje se gledaju kroz dva polarizaciona filtera koji su različito orijentisani. Filter propušta samo ono svetlo koje je slično polarizovano, pri čemu blokira različito polarizovanu svetlost, omogućavajući svakom oku da vidi drugačiju sliku. Ovo proizvodi trodimenzionalni efekat projekcijom iste scene u oba oka, ali koje su prikazane iz različitih perspektiva.
- Tehnologija hologrfskog prikaza ima mogućnost stvaranja iluzije trodimenzionalnih objekata u volumetrijskom prostoru angažovanjem sve četiri vizuelne funkcije: binokularnog dispariteta, paralakse kretanja, akomodacije i konvergencije.
- Hologrfski uređaji se brzo razvijaju, ali će još nekoliko godina biti van domašaja prosečnog potrošača. Takođe, sve napredne 3-D tehnologije prikaza i dalje imaju ograničenja, posebno u kvalitetu prikaza i rezoluciji.



Slika 19. 3 – D holografski displej.