

## Stereogrami

so umetni poskus opisovanja prostora, pri čemer za to izkoriščajo naš podvojeni vidni organ, v glavnem tako, da vsakemu očesu prikažejo svojo sliko. Obstaja več tehnik, ki jih delimo na stereoskopijo, pri kateri moramo za gledanje slik uporabljati posebna pomagala, in avtostereografe, ki za svoj prikaz tega ne potrebujejo.

### Stereograf

se izdelata iz iste fotografije, poslikane v istem trenutku z enako tehnično konfiguracijo, z rahlo drugačnega položaja, in sicer šest centimetrov zamaknjeno po pravokotnici glede na smer gledanja. Za gledanje stereografov moramo fizično ločiti sliki tako, da levo oko vidi levo sliko in obratno. Najpreprosteje to dosežemo s pregrado med obema slikama ali s posebnim pomagalom v obliki daljnogleda.

### Anaglif

je slika, ki je tiskana z barvnim zamikom v dveh nasprotujočih si ali komplementarnih barvah. Ponavadi sta to rdeča (po dogovoru za desno oko) in sinja (za levo oko). Da lahko iz tega razberemo globinsko sliko, potrebujemo posebna očala z barvnimi filtri. Delovanje anaglifa temelji na podobnem principu kot delovanje stereografa. Razlika je v tem, da prvi sistem uporablja barvno ločenost slik, drugi pa fizično.

### Vektograf

deluje po podobnem principu kot anaglif, le da namesto barvne separacije oči uporablja polarizatorje. Svetloba se glede na pravokotnico svoje trajektorije ne premika vzporedno, ampak je zasukana v različne smeri. Polarizatorji so filtri, ki prepuščajo svetlobo v točno določeni smeri. Bolj ko se bo svetloba nagibala k pravemu kotu glede na to usmeritev, manj je bo polarizator prepustil. Vektograf je v optometriki uporabljen kot pomagalo okulistom, saj z njim lahko opazujemo, koliko je bolnikov stereoskopski vid dober. Tudi 3D kino dvorane delujejo na tem principu.

### Metoda mrka

je še tretja varianta stereograma, pri katerem potrebujemo za to prirejena očala. Ta način prikaza 3D slike uporabljajo določene računalniške grafične kartice. Očala imajo na vsakem očesu zaslon s tekočimi kristali, ki se izmenično zatemnjuje. Povezana so z grafično kartico, ki izmenično prikazuje dve sliki. Ko prikazujemo sliko, namenjeno levemu očesu, zatemni steklo očal na desnem očesu in obratno.

### SIRDS

(Single Image Random Dot Stereogram) je vrsta avtostereograma. Za osnovo ima vzorec, ki se horizontalno ponavlja. Druga komponenta je slika v sivinah, ki predstavlja informacijo o globini (bolj ko je temna, bolj predmet v ozadju). S to sliko vplivamo na osnovo s horizontalno ponavljajočim se vzorcem tako, da jo bolj izpostavljeni deli horizontalno bolj zamikajo, manj izpostavljeni pa ne vplivajo nanjo. S finejšim vzorcem izrišemo globinsko informacijo z več detajli. Čeprav SIRDS za ogled ne potrebuje posebnih pomagal, potrebuje posebno tehniko gledanja. Oči moramo sprostiti do te mere, da fokusiramo točko, ki je dvakratne razdalje med glediščem in sliko. To najlažje naredimo, če je slika zastekljena. Tako fokusiramo naš odboj na steklu in s tem dosežemo, da obe očesi odvrnemo od tega, da bi konvergirali na sliko. Za ogled SIRDS-a mora imeti gledalec zdrav vid.

### Lečna slika

Dvojno sliko stereografa razdelimo po vertikali na tanke pasove. Iz ene slike poberemo samo lihe pasove, iz druge pa samo sode. Oboje združimo v eno sliko. Čez dobljeno sliko položimo prozorno plastiko v obliki vzporednih prizem (ali polovičnih valjev) tako, da ena pokriva en par razrezanih pasov. Prizma usmeri sliko tako, da eno oko vidi samo lihe pasove, drugo pa samo sode. Z nagibom lečnih slik lahko animiramo sekvenco zaporedja nekaj slik.

### Hologram

Pri tej tehniki se ne uporablja leč, ampak laserje in polprozorna ogledala in je neprimerno kompleksnejša od vseh zgoraj navedenih tehnik. Holograme delimo na dva tipa: transmisijske in reflektivne. Reflektivne holograme vsakodnevno srečujemo kot garancijske nalepke na kreditnih karticah, zgoščenkah, denarju in podobno. Ogledujemo jih lahko tako na beli kot monokromatski svetlobi. Kompleksnejši so transmisijski hologrami, ki za svoje delovanje potrebujejo enobarvno svetlobo s konstantno frekvenco, saj za zapis in kasneje prikaz uporabljajo fazni zamik svetlobe. Na dnevni svetlobi bi na hologrfskem filmu videli samo temno enakomerno površino.

## Osnovna geometrija

Osnova 3D računalniške grafike je geometričen opis teles, prostora in njihovih medsebojnih odnosov.

Kot dogovor o poziciji geometrijskih teles uporabljamo koordinatni sistem. To je sistem, s katerim določamo umestitev objektov in pojavov v n-dimenzionalnem prostoru. Delimo jih na štiri osnovne: kartezični, polarni, cilindrični in sferični.

### Kartezični koordinatni sistem

je pravokotni koordinatni sistem in je določen z dvema ali tremi med seboj pravokotnimi osmi ( $x$  (abscisa),  $y$  (ordinata),  $z$  (aplikata)). Presečišče med njimi imenujemo koordinatno izhodišče. Točko v 3D koordinatnem sistemu definiramo kot  $T(x, y, z)$ , kjer vsak od teh treh parametrov pomeni projekcijo na eno izmed treh osi. Ta sistem je osnova programom za 3D računalniško grafiko zaradi svoje naravnosti in intuitivnosti, saj je zelo pogosto uporabljen v vsakdanjem življenju. Programi za 3D računalniško grafiko imajo grafični vmesnik urejen tako, da lahko kot uporabniki operiramo s prostorom in objekti v njem s kombinacijo vsaj dveh osi naenkrat ( $xy$ ,  $xz$  in  $yz$ ), lahko pa tudi vseh treh.

### Polarni koordinatni sistem

je ploskovni koordinatni sistem, točko pa ima definirano z oddaljenostjo od koordinatnega izhodišča ( $r$ ) in kotom, ki je določen med premico, ki seka koordinatno izhodišče, in točko ter desnim delom vodoravne osi ( $\varphi$ ). Točka je tako zapisana  $T(r, \varphi)$ . Iz polarnega koordinatnega sistema lahko pretvorimo pozicijo točke v kartezičnega z enačbama  $x=r \cos \varphi$  in  $y=r \sin \varphi$ . Polarni koordinatni sistem je tudi osnova cilindričnemu in sferičnemu.

### Cilindrični (valjni) koordinatni sistem

dobimo tako, da polarnemu dodamo še eno komponento, in sicer višino, ki je pravokotna nanj. Točko zapišemo kot  $T(r, \varphi, z)$ . Prva dva parametra opisujeta projekcijo lege točke na polarno ravnino, tretji pa oddaljenost od le-te. Če želimo valjne koordinate pretvoriti v kartezične, uporabimo za prva dva parametra isti dve enačbi kot pri polarnem koordinatnem sistemu, z pa se samo preprišemo in ga ni potrebno drugače pretvarjati.

### Sferni (krogelni) koordinatni sistem

je še en prostorski koordinatni sistem, ki ima točko definirano  $T(r, \theta, \varphi)$ .  $r$  je razdalja točke od izhodišča.  $\theta$ , imenovani tudi polarni kot, je kot med pozitivnim delom osi  $z$  in premico, ki je locirana med izhodiščem in točko. Njegov rang poteka med  $0$  in  $\pi$ .  $\varphi$  ali azimutni kot je kot med osjo  $x$  in projekcijo zgoraj omenjene daljice, torej tiste med koordinatnim izhodiščem in točko  $T$ . Rang azimutnega kota je med  $0$  in  $2\pi$ . Sferni koordinatni sistem je tudi osnova še dvema specifičnima koordinatnima sistemoma: geografskemu in nebesnemu.

### Rotacije in nagibi

Obe operaciji, tako rotacije kot nagibi, sta neobhodni pri pozicioniranju, modeliranju in animiranju predmeta. Npr. pri dvodimenzionalnem kartezičnem koordinatnem sistemu je prva ravnina je definirana tam, kjer sta obe osi pozitivni, druga je tam, kjer je  $x$  negativen in  $y$  pozitiven in tako naprej. Glede na zaporedje štetja ravnin imamo s tem definirano tudi pozitivno rotacijo.

### Trigonometrične funkcije

ali kotne funkcije so osnova vsem periodičnim pojavom. V različnih kombinacijah se lahko uporabljajo za animiranje (npr. valovanje vode, nihanje, motnje) pa tudi za proceduralno modeliranje in teksturiranje.

### Verteksi

so točke, ki definirajo robove objektov. Verteksi so točke, ki zadržujejo informacije o povezanosti z drugimi točkami. So neskončno majhen element, ki mu ne moremo spreminjati velikosti ali nagiba, lahko pa spreminjamo njegovo pozicijo. Model objekta lahko prikažemo tudi samo z verteksi, kar je nazorno in hitro.

## Primitivni objekti

ali primitivi so tisti objekti, s katerimi program nativno deluje, prepozna jih kot osnovne forme. Večinoma so to pravilna preprosta telesa, ni pa nujno. Lahko jih poljubno deformiramo ali sestavljamo v kompleksnejše združbe, imenovane kompozitni objekti. Lahko jih generično razdelimo na:

- ploskovna telesa,
- platonska telesa,
- piramide,
- kroglo, elipsoid in torus,
- valj, stožec in prisekani stožec.

Ta razdelitev je splošna in približna, saj vsako programsko orodje interno deluje po drugačnem principu in ima zatorej svoj nabor primitivnih objektov.

**Ploskovna telesa** (krog, disk, kvadrat, šestkotnik,...)

so na različne načine omejene ravnine. Zanje je značilno, da imajo ploskovno formo, nimajo pa višine. Z množenjem ploskovnih teles se da izdelati prostorska telesa.

**Platonska telesa** (tetraeder, kocka, oktaeder, dodekaeder, ikozaeder) ali pravilna telesa so tista prostorska telesa, katerih površina je sestavljena iz enakih pravilnih ploskih površin in imajo lastnost, da se v vsakem oglišču stika enako število ploskev.

**Piramide** (piramida z osnovo trikotnika (tetraeder), kvadrata in petkotnika)

so prostorska telesa, ki imajo za osnovo večkotnik. Nanj so z eno stranico vezani trikotniki, njihovi ostali dve stranici pa sta vezani na sosednja trikotnika.

**Krogla, elipsoid in torus**

Ta tri telesa združuje sekundarni princip modeliranja. V kolikor program ne bi imel teh teles kot primitivov, bi se jih lahko naredilo z rotacijo kroga (za  $180^\circ$  okoli svoje osi - krogla, za  $360^\circ$  okoli osi, ki leži izven krožnice - torus) ali elipse (za  $180^\circ$  okoli njene vertikalne ali horizontalne osi - elipsoid).

**Valj, stožec in prisekani stožec**

Valj ali cilindar je geometrijsko telo, katerega površina je sestavljena iz dveh enakih vzporednih krogov in plašča, ukrivljenega kvadra, ki ju enakomerno povezuje. S sekundarnim modeliranjem lahko valj dobimo na dva načina: disk izrinesmo v višino ali kvader zarotiramo za  $360^\circ$  okoli enega izmed njegovih robov.

Stožec ima podobno definicijo kot valj, le da ima namesto enega kroga točko, plašč ni več valj, ampak izsek kroga. Sekundarno ga lahko dobimo z rotacijo pravokotnega trikotnika za  $360^\circ$  okoli ene izmed dveh katet.

Prisekani stožec je valj, pri katerem je eden izmed krogov večji od drugega.

**Dodatni osnovni elementi** (preluknjani valj, kapsula, kubični oktaeder, zobnik, tuljava, diamant)

so sicer sekundarnega pomena in uporabe, a vendar dobrodošlo orodje. Nabori se razlikujejo med programi in ni rečeno, da so to elementi, vgrajeni s strani proizvajalca. Lahko so samo hitro dostopne variacije primitivnih elementov, procedure sestavljanja in manipuliranja osnovnih oblik ali parametrične narave (definicija objekta z enačbami).

**Testni objekti**

so uporabni za testiranje materialov, luči in ostalih nastavitev. So kompleksnejši od primitivnih objektov, saj imamo tako večji pregled nad tem, kako razgibane oblike vplivajo na testiranje. Priporočljivo je, da kljub temu testni objekti niso preveč kompleksni, s čimer bi izgubili na nazornosti in podaljšali čase upodabljanja.

Newellov čajnik: primeren zaradi svoje mehke oblike ter elementov, ki lahko mečejo senco na sam čajnik. Še danes je ta model pogosto uporabljen. V Blenderju je testni objekt glava šimpanza, Suzanne.

## Barvni modeli

so nazorna upodobitev množice barv z določenim številom opisljivih dimenzij in vključujejo numerično vrednotenje ter vizualni opis barv. Vloga in pomen barvnih modelov v znanosti o barvi in umetnosti je:

- sistematično in/ali nesistematično razporejanje inoznačevanje barv,
- uporaba logične nomenklature barv,
- uporaba percepcijsko pomembnih dimenzij,
- vključevanje merilnih (številčnih) lestvic, ki so poenotene in percepcijsko enotne.

Pojav barve je posledica detekcije svetlobe določenih valovnih dolžin vidnega dela elektromagnetnega valovanja v človeškem očesu, medtem ko zaznavanje barve nastane v možganskih centrih. Pri tem sodeluje kompleks procesov, ki vključuje kemijske, fizikalne, fiziološke in psihološke pojave. V sodobni znanosti o barvi velja, da so za percepcijo barve potrebni trije osnovni dejavniki. To so svetlobni vir, objekt in opazovalec.

- Svetlobni vir omogoča izvor svetlobnega sevanja in ustvari možne pogoje opazovanja za človeški vidni sistem.
- Objekt omogoča selektivni odboj vpadle svetlobe določenih valovnih dolžin.
- Opazovalec je s celotnim vidnim sistemom receptor svetlobnih žarkov, ki se odbijajo od objektov. Opazovalec glede na svoje fizikalno-optično, kemijsko, psihološko in fiziološko delovanje obdela svetlobo in spremlja živo živčne in psihofizične impulze ter jih pretvori v informacijo o barvi.

**Problematika barvnega prikazovanja v računalniški grafiki**

Kot prvo lahko na tem mestu omenimo problematiko prikazovanja barve s pomočjo izhodne naprave za vizualizacijo računalniško generiranih slik. Uspešnost predstavitve barv je odvisna od vrste izhodne naprave, od vrste njene tehnologije. Priporočljivo je že pred začetkom računalniško podprte izdelave grafičnega izdelka vedeti, na kakšnem prikazovalniku bo ta izdelek predstavljen. Poleg tega je potrebno predvideti ali bo izdelek v nadaljevanju predstavljen tudi na drugačnem mediju (na primer tisk na papir), saj se za različne medije uporabljajo različni barvni modeli.

Največja izziva barvnega prikaza sta gotovo načina, kako v eni slikovni točki izraziti zeleno barvo ter kako v množici slikovnih točk, ki ležijo druga poleg druge na ploskem prikazovalniku, izraziti iluzijo 2D in 3D objektov.

Pri iluziji 2D in 3D objektov je potrebno upoštevati:

- interakcijo objektov s svetlobo (sence, refleksija, transmisija in drugi pojavi),
- prikazovanje slik na takšen način, da so čim bolj ustrezne vizualizaciji, ki jo omogoča mehanizem človeškega vidnega sistema (z upoštevanjem tudi psiho-fizičnega dojetanja ter psihologije barv),
- fotorealističnost predstavitev v aplikacijah, ki zahtevajo popolno primerljivost z realnimi objekti,
- volumensko predstavitev objektov in iluzijo perspektive, kjer je tretja dimenzija ključnega pomena za dober prikaz,
- zahteve po objektivni in natančni predstavitvi barv na določenih aplikativnih področjih, kjer so barve objektov numerično vrednotene,
- kompleksnost prikazovanja posebnih barvnih efektov in posebnosti materialov (na primer metalni in prosojni objekti).

**Izbira barvnega modela**

Možnost izbire barvnega modela je največkrat omejena s strani programa, ki ga uporabljamo, saj ima slednji privzeto ponudbo barvnih modelov. Ne glede na izbiro barvnega modela je potrebno poznati in upoštevati še problematiko neujemanja barvnih obsegov različnih barvnih modelov. Računalniško generirane barve in barvni obseg prikazovalne izhodne naprave so manjše od barvnega obsega človeške percepcije.

**Dimenzije barvnih modelov**

Osnova vsakega barvnega modela je število dimenzij, s katerimi opišemo barvo, in vpliva na natančnost opisa barv. Za popoln opis barve objekta bi bila potrebna informacija o odboju svetlobe po celotnem vidnem delu elektromagnetnega valovanja, torej opis optičnih (odbojnih) lastnosti objekta pri valovnih dolžinah od 400 do 700 nm.

Zaradi kompleksnosti takega vrednotenja pa se v praksi uporablja poenostavljene modele, ki vključujejo manjše število informacij o barvi. Vendar je v računalniški grafiki, kot tudi na drugih uporabniških področjih, najbolj uporabljen tridimenzijski (triparametrični) opis barv. Število dimenzij izhaja iz zgradbe človeškega očesa in delovanja celotnega vidnega sistema. V mrežnici očesa se nahajata dve vrsti fotoreceptorjev, katerih odziv na svetlobno valovanje ni linearen, temveč logaritemski.

## Barvni modeli v računalniški grafiki

V računalniški grafiki se najpogosteje uporabljata dva tridimenzijska načina sistematiziranja barv. Prvi način v eni dimenziji vključuje svetlost barve, torej povprečno intenziteto spektra, v ostalih dveh dimenzijah pa podatek o

barvnem tonu in nasičenosti barve. Takšno sistematiziranje je za uporabnika bolj intuitivno. Drugi način vključuje v treh dimenzijah barve podatke o zastopanosti nizkih (modrih), srednjih (zelenih) in visokih (rdečih) valovnih dolžin.

Za razporejanje barv se kot barvni modeli najpogosteje uporabljajo enostavno opisljiva geometrijska telesa kot so kocke, kvadri, krogle, stožci ali večstrane piramide. Naprednejši modeli, ki temeljijo na percepciji človeškega vidnega sistema, pa barve vključujejo v nehomogena telesa.

### Barvni model RGB teoretični

je enotska kocka, ki je definirana v pozitivnem oktantu kartezičnega koordinatnega sistema. Celotni barvni obseg tega barvnega modela vključuje barve, ki nastanejo z aditivnim mešanjem primarnih svetlob.

### Barvni model RGB prikazovalnika

in aditivno barvno mešanje se uporabljata za prikazovanje barv na barvnih izhodnih napravah za vizualizacijo slik (prikazovalnikih, zaslonih). Ta barvni model je odvisen od prikazovalnika in se tako razlikuje med napravami.

Temelji na teoretičnem barvnem modelu RGB, vendar zaradi neidealnih svetlobnih virov različnih tehnologij ne omogoča idealnega aditivnega barvnega mešanja.

Zaradi povezave s tehnologijami prikazovalnih naprav je v praksi najbolj uporabljen in razširjen barvni prostor. Ne glede na to lahko njegova uporaba povzroča marsikatero omejitev določanja in izbora barv.

### Barvna modela HSV in HSL

Uporabniški pomanjkljivosti barvnega modela RGB – da ni intuitiven in da njegove dimenzije niso percepcijsko razumljive – sta v računalniški grafiki vodili v vpeljavo barvnih modelov HSV in HSL. Svetlost barve obravnavata kot ločeno barvno dimenzijo. Oba izhajata iz modela RGB, med njima pa so nekatere pomembne razlike.

HSV vključuje dimenzije: barvni ton H, nasičenost S in svetlost V. Izhaja iz polarnega koordinatnega sistema in je geometrijsko šeststrana piramida, z osnovno ploskvijo v obliki enakostranega šestkotnika, ki stoji na vrhu barvnega modela.

HSL vključuje: barvni ton H, svetlost L in nasičenost S. V geometrijskem smislu je to deformacija barvnega modela HSV tako, da točko, ki predstavlja belo barvo, potegnemo navzgor iz osnovne ploskve – šestkotnika.

### Barvna modela YUV in YIQ

se uporabljata za posebne aplikacije v računalniški grafiki. Včasih sta bila definirana za standarde črno-bele televizijske tehnologije. Danes se uporabljata v televizijskih standardih (PAL, NTSC, SECAM) ter v računalniški industriji.

Oba barvna modela predstavljata transformacijo barvnega modela RGB. Pretvorba iz osnovnega barvnega modela RGB pri tem upošteva nekatere percepcijske lastnosti človeškega vidnega sistema.

### Barvni model CMY

V primerih, ko je računalniška grafika namenjena za predstavitev na drugih medijih, je potrebno upoštevati drugačne zakonitosti reproduciranja slik. Podobno kot barvni model RGB je tudi barvni model CMY enotska kocka, ki je definirana v pozitivnem oktantu kartezičnega koordinatnega sistema, vendar se razporeditev osnovnih in sekundarnih razlikuje.

### Spektralno-percepcijski barvni modeli (barvni modeli CIE)

Z upoštevanjem treh osnovnih dejavnikov za nastanek barvnega dražljaja (svetlobni vir, objekt, opazovalec) ti modeli vpeljujejo standardizirane svetlobne vire, idealnega – standardiziranega opazovalca, numerično vrednotenje barve, merjenje absorpcijskih in refleksijskih lastnosti svetlobe ter določanje relativne občutljivosti očesa na svetlobo in relativno spektralno občutljivost očesa na barve v celotnem vidnem delu elektromagnetnega valovanja. So tudi neodvisni od naprave prikazovanja – omogočajo prenosljivost barvnih vrednosti med napravami brez zahtevnejših korekcij in transformacij.

### Standardizirane barvne vrednosti XYZ in barvni model CIE Lab

Na podlagi relativne občutljivosti očesa na svetlobo in relativne spektralne občutljivosti očesa na barve v celotnem vidnem delu elektromagnetnega valovanja so bile izpeljane standardizirane barvne vrednosti XYZ. Te vrednosti vključujejo spektralno porazdelitev

sevanja svetlobnega vira  $E_\lambda$  pri določenih valovnih dolžinah  $\lambda$ , spektralno občutljivost očesa na visoke, srednje in nizke valovne dolžine ter refleksijo predmeta  $R_\lambda$ .

## Uporaba kanalov in histogramov barv

### Barvni kanal

nudi vpogled v prisotnost določene barvne dimenzije (primarne barve) izbranega barvnega modela po celotni sliki. Posledično je možno natančnejše upravljanje in korigiranje vrednosti posamezne barve dimenzije v neodvisnosti od ostalih dimenzij. Glede na število dimenzij, ki jih uporabljamo za opis barve, zavisi tudi število kanalov. Grafika, ki vsebuje le eno barvno dimenzijo (na primer sivinska slika), je sestavljena iz enega kanala, medtem ko je grafika v barvnem modelu RGB sestavljena iz treh barvnih kanalov.

### Alfa kanal

nosi informacijo o transparentnosti slike. To je ločen kanal, v takšni barvni globini kot ostali kanali (največkrat 8 bitov). Uporabljamo ga v primerih, ko želimo kombinirati sliko z določenim ozadjem na takšen način, da izgleda zgornja slika na zelenih mestih transparentna in tako omogoči vidno ozadje. Na mestih slike, kjer slikovne točke alfa kanala ne vsebujejo informacije o barvi, je prisotna transparentnost slike, kar posledično omogoča vizualiziranje slikovnih točk ozadja. Kjer slikovne točke alfa kanala vsebujejo informacijo o barvi, pa je glede na sivino slikovne točke alfa kanala bolj ali manj prisotna slika.

### Histogram

je grafični prikaz števila (frekvence) slikovnih točk s točno določenimi vrednostmi izbrane barvne dimenzije (vrednosti, koordinate). Na abscisni osi ima diagram vse vrednosti, ki jih lahko barvna dimenzija obsega (v primeru 8-bitnega barvnega modela RGB so to vrednosti od 0 do 255 za vsak kanal vsake primarne barve R, G in B), na ordinatni osi pa število (frekvenco) slikovnih točk, ki imajo določeno barvno vrednost. Najpogosteje se histogram uporablja ločeno za posamezne barvne kanale, kar omogoča lažje upravljanje s posameznimi dimenzijami, lahko pa velja tudi za pregled celotne slike.

## Minimalna konfiguracija scene

Za upodobitev slike v programih za 3D grafiko potrebujemo minimalno konfiguracijo scene, ki je sestavljena iz objektov (zmodelirani ali proceduralni), svetlobnega vira in kamere oziroma gledišča. Naštete tri komponente so nujni pogoj za upodobitev slike.

Objekti so centralna pozornost slike. Dobimo jih lahko z modeliranjem ali parametrično z enačbami (proceduralni objekti). Modeliranje samo jim da obliko, vendar jim moramo poleg forme določiti še ostale optične lastnosti, kot so materiali in po potrebi teksture. Tako v naravi kot v navideznem prostoru vlada popolna tema, če nimamo na voljo luči oziroma svetlobnega izvora. Z lučjo definiramo intenziteto, barvo in tip svetlobe, ki bo osvetljevala sceno.

Kamera je definicija gledišča. Parametri kamere so analogni kameram iz fizičnega sveta, v nekaterih primerih pa se lahko uporabljajo tudi nastavitve, ki se ujemajo s karakteristikami človeških oči.

Na osnovi omenjenega pravila imamo nakazan potek izdelave scene. Prične se z modeliranjem objekta, procesom s katerim modelu dodamo formo. Sledi definicija materialov: barva, odbojnost, prozornost in podobno. Teksturiranje je proces nanašanja neenakomernih postavitev materialnih lastnosti. Sledi postavitve scene, v katero dodamo predhodno zmodelirane objekte, luči in kamere, zadnja faza pa je upodabljanje. Preden pošljemo sliko v izračun, je potrebno opraviti še zaključne nastavitve: velikost slike, način upodobitve, post procesiranje, kvaliteta slike, itd. Faze niso definitivne in ireverzibilne. Fazi definicije materialov in teksturiranja lahko preskočimo, če ju ne potrebujemo, lahko se pa nanju vrnemo po potrebi.

## Vrste objektov po principu modeliranja

- Poligoni
- NURBS
- DEM
- Opisne krogle
- Proceduralni objekti

### Poligoni

so osnovni gradniki objekta, ki definirajo njegovo površino. Poligon je z daljicami omejena ravnina, ki ima lahko poljubno število robov (3-triset, 4-kvadrisset). So upodobljivi, saj so omejene površine, točno določeno postavljene v prostor. Z združevanjem tako, da se robovi stikajo, lahko zmodeliramo poljubno kompleksna telesa, ki jih delimo na površinska in prostorska.

Poligoni so z najmanj tremi stranicami omejene ploskve. Definirani so z:

- velikostjo,
- številom stranic, ki je enako številu robov oziroma verteksov,
- postavitvijo stranic,
- postavitvijo celotnega poligona v prostoru in
- povezavo z ostalimi poligoni v objektu.

Poligoni definirajo ločljivost objekta. Iz manj poligonov, kot je sestavljen, bolj grobo deluje, in obratno: iz več kot je sestavljen, večjo ima definicijo. Izbrati moramo pravo razmerje med številom poligonov na objektu in namenom, saj se s številom poligonov povečujeta tudi čas upodabljanja in poraba pomnilnika. Če izdelujemo ilustracijo za tisk, si lahko privoščimo kompleksnejše objekte, saj gre samo za eno sliko, kjer čas upodobitve ni tako ključnega pomena.

### NURBS

(Non-Uniform Rational Basis Spline) so matematično definirane krivulje, sestavljene iz krivulje same in kontrolnih točk. Za razliko od Bezierjevih krivulj, ki imajo kontrolne točke na krivulji, jih imajo NURBS-i izven te. Z njimi lahko definiramo ukrivljene linije, ploskve in objekte. Za razliko od poligonov so matematično definirane, kar pomeni, da je njihova kvaliteta linearna, imuni so na približevanje.

### DEM

(Digital Elevation Model) je model, ki je baziran na ploskovno-slikovni informaciji. Ta princip je večinoma uporabljen v topografiji ter ostalih simulacijah in generacijah terenov. Slika v svininah deformira ploskev tako, da njen najsvetlejši del pomeni največjo izbočenost, najtemnejši pa ne povzroči reliefne razlike.

V topografiji se uporablja tehnika oddaljenega zajemanja terena. Z različnimi pristopi se brez fizičnega kontakta zajemajo informacije o terenu z ultrazvokom, radijskimi valovi, magnetno resonanco, rentgenom, itd.

### Opisne krogle

so preprost primer proceduralnih objektov. Začetno so definirane s pozicijo težišča in polmerom. Določiti jim je potrebno tudi medsebojno interakcijo. Dve pozitivni opisni krogli se z bližanjem ena drugi pričneta povezovati v blob, dokler se težišči obeh ne združita in tako generirata novo, večjo. V primeru približevanja pozitivne in negativne opisne krogle, negativna vdira površino pozitivne. Ta princip je zelo primeren za opisovanje organskih form in tekočin.

### Proceduralni objekti

predstavljajo korak dalje v primerjavi z opisnimi krogli. Definirani so s:

- težiščem (informacija o poziciji),
- polmerom (velikost) in
- volumetrično in/ali reliefno teksturo.

Težišča so definirana s točko - informacijo o poziciji. Te objekte se lahko uporablja posamično, vendar je to redkost. Pogosteje se namreč uporablja gruče točk, ki jih kontroliramo po določenih zakonitostih: gravitacija, zlepljenost, medsebojna interakcija, odboji od določenih predmetov, rojstvo in smrt točk ter podobno.

Proceduralni objekti imajo primarno krogelno obliko. Deformacija te oblike je speljana z volumetrično ali reliefno teksturo, ki sta proceduralne narave (se obnašata vektorsko). Glede na to, da se ti objekti večinoma uporabljajo v gruči, nam večkrat bolj pride prav rang velikosti kot pa fiksna velikost. To pomeni, da si izberemo minimalni in maksimalni polmer, program pa ga naključnostno dodeli vsakemu proceduralnemu objektu posebej.

## Modelirne operacije

nam dovoljujejo različne posege na objekte, naj si bodo to primitivni, kompozitni ali krivulje. S kombinacijo različnih pristopov in njihovih zaporedij nam programi predstavljajo močna modelirna orodja.

### Osnovni operatorji na objekt in njegove komponente

Izvedemo jih lahko na celotnem objektu ali njegovih posameznih gradnikih: poligonu, robu ali verteksu. Tri najbolj osnovne operacije so:

- **spreminjanje položaja:** objektu spremenimo koordinate težišča in ga s tem umestimo na poljubno lokacijo v prostoru. Isto operacijo lahko izvedemo na ostalih treh gradnikih objekta. Kadarkoli vplivamo na te gradnike, so vedno del objekta in se ne ločijo od njega.
- **spreminjanje velikosti:** na vseh treh oseh hkrati ali za vsako os posebej. Velikost lahko spreminjamo tudi posameznemu poligonu ali robu, medtem ko je verteksu ne moremo.
- **nagib:** v katerikoli osi za poljuben kot. Enako lahko storimo tudi s posameznimi poligoni ali robovi, medtem ko na verteks, tako kot pri spreminjanju velikosti, ne moremo vplivati z nagibom.

### Booleove operacije

so samo izsek iz mnogo obsežnejše Booleove algebre, temelj digitalne logike. V modeliranju nas zanimajo množice in njihovo medsebojno obnašanje. Trije osnovni operatorji, katere lahko medsebojno kombiniramo, so IN, ALL in NE. ALL združi obe množici in ju tako sešteje. IN predstavlja presek dveh množic. V kolikor se dva objekta prekrivata, bo IN prikazal prostor, ki ga skupno pokrivata. NE je tisti operator, ki je v modeliranju še najbolj pogost in predstavlja odštevanje ene množice od druge.

### Modeliranje z množenjem

Iz krivulje ustvarimo ploskev oziroma iz ploskve polno telo, po vnaprej določenih prijemih. Koncept množenja tukaj uporabljamo zato, ker se s temi prijemi modelira objekte z večanjem števila poligonov v določeni smeri ali po prednastavljeni poti.

- **Rotacija okoli osi** - polarno množenje krivulje ali ploskega objekta okoli poljubno postavljene osi za 180° ali 360°. Uporablja se za vse vrste vrtenin.
- **Izrinjanje** - krivuljo ali ploski predmet razširimo v novo dimenzijo, bodisi linearno ali po vnaprej določeni poti. Pri linearnem izrinjanju se predmetu doda samo debelino, medtem ko se mu pri izrinjanju po poti, poleg debeline, doda še ukrivljenost.
- **Množenje več krivulj** - pri tej operaciji potrebujemo najmanj tri krivulje, katerih ekstremi sosednjih krivulj se stikajo skupaj. Ta tehnika je ugodna za modeliranje ukrivljenih ploskih predmetov.
- **Razdeljevanje obstoječih poligonov** - pričnemo s primitivnim objektom z majhnim številom poligonov, ki je podoben formi končnega izdelka. Postopoma ta primitivni objekt deformiramo in mu dodajamo nove poligone na mestih, ki jih želimo razširiti in kasneje dodatno obdelovati. Rez je najpreprostejši primer množenja poligona. Zaokroževanje robov uporabljamo tudi za izrinjanje posameznih poligonov. Množenje poligonov celotnega objekta se uporablja, kadar želimo enakomerno pomnožiti vse poligone naenkrat. To lahko poteka na vsaj tri načine: linearno, z interpolacijo in z motnjo. Simulacija krivulj s poligoni je sicer način, ki je zelo specifičen za določene programe, vendar je boljša alternativa množenju poligonov celotnega objekta.

### Med poligoni in NURBS-i

Glede na to, da so NURBS-i matematično definirani in torej neskončno natančno zaobljeni, ne predstavljajo nobenega problema za pretvorbo v poligone. Pri tej pretvorbi si moramo izbrati natančnost te operacije: lahko je zelo groba (manj poligonov) ali pa izredno natančna (več poligonov). Nastavitve naravnamo po naših potrebah. Konverzija v obratni smeri je manj očitna in zna biti celo problematična. Edini način je predhodno omenjeni, torej pretvorba verteksov v kontrolne točke krivulj.

### Grafični vmesnik

Različne grafični vmesniki imajo različno razporeditev in grupiranje orodij. Kar je vsem enotno, je pogled. Večinoma je delovno okolje razdeljeno na štiri dele, ki jih na zaslonu vidimo naenkrat: oris, stranski ris, tloris in perspektiva. Če želimo detaljneje obdelovati model ali sceno, lahko po potrebi razširimo en pogled čez cel zaslon ali na kakšen drugi način. Poleg predhodno omenjenih pogledov imamo lahko tudi tiste, narejene po meri, kot je na primer pogled iz zornega kota kamere ali luči.

Plasti so podgrupe nekega objekta. Včasih se nam pri modeliranju objekt izredno razčleni in postane težaven za obdelavo. Z uporabo

plasti lahko posamezne od teh brez težav modificiramo. Ko naš model pripeljemo do zaključka, jih lahko zlepimo skupaj v enotno plast ali pa ga pustimo kot je in vsaki plasti določimo posebno funkcijo, kot je to na primer hierarhija v animaciji.

### Načini prikaza modela

V kolikor delamo s kompleksnimi objekti, z velikim številom poligonov, je včasih boljše, da izklopimo tiste ploskve modela, ki niso vidne z našega trenutnega gledišča, saj si s tem poenostavimo prikaz, ki bi lahko bil sicer zelo nepregleden. Včasih nam je ugodneje imeti popoln nadzor, tako nad vidnimi, kot nevidnimi ploskvami in je zato pogled vidnih in nevidnih robov hkrati bolj primeren. Nekatere vrste pogledov so zelo "požrešne" glede procesorske moči.

- **z žičnim modelom** - najosnovnejša oblika prikaza objekta, ki ga modeliramo oziroma postavljamo v sceno. Ta način prikazuje robove objekta in vertekse. Osnovni žični model prikazuje tako vidne kot nevidne ploskve, lahko pa si izberemo opcijo prikaza samo vidnih ploskev, če nam to program dovoljuje.

- **z objemajočim kvadrom** - kadar imamo opravka z izredno velikim številom poligonov. Ta model izriše kvader, ki je velikosti prikazanega objekta. Tako lahko kakršnokoli število poligonov v poglednem oknu zreduciramo na število šest. Ta način je najhitrejši in najmanj zahteven, a hkrati tudi najmanj nazoren.

- **z verteksi** - verzija žičnega modela. Tukaj so prikazani samo verteksi, ne pa robovi modela, ki te povezujejo. Tudi ta prikaz je hitrejši od žičnega modela in hkrati bolj nazoren kot prikaz z objemajočim kvadrom.

- **s polnim modelom brez tekstur** - že vidimo objekt z zapolnjenimi vidnimi in skritimi, nevidnimi poligoni. Modeli so barvno prikazani, lahko pa se tudi opazi preprostejši odsev luči. Barva in polnost definirata obliko prikazanega modela, ki je zato lepše viden pri hitrem predogledu. Ostale materialne lastnosti so izklopljene, tako da je prikaz na zaslonu hitrejši. Obstajata dva načina prikaza polnega modela: z mehkim senčenjem in brez njega.

- **s polnim modelom s teksturami** - najnazornejši, a hkrati tudi najpotratnejši način prikaza, prikaže tudi texture. Nekateri programi lahko v tem načinu prikazujejo tako rasterske kot proceduralne texture, nekateri pa samo prve. Če nam programska in strojna oprema to dovoljujeta, imamo v tem načinu tudi dodatne možnosti prikaza, kot je na primer odsev okolice.

- **z ožičenim polnim modelom z ali brez tekstur** - kadar se pojavi potreba po nazornem prikazu in hkrati nadzoru nad verteksi in robovi, lahko zadnja dva načina, prikaza polnih modelov, kombiniramo z žičnim prikazom. Tako imamo na voljo obe zahtevi: nazornost in nadzor.

### Fraktali

so samopodobnostne funkcije – del funkcije je podoben celoti. Te funkcije so močno povezane s teorijo kaosa, ki ga v vsakdanjem življenju asociiramo z neredom in zmedo, v matematiki pa imajo drugačen pomen. Njegove tri pglavitne lastnosti so:

- nelinearnost,
- izjemna občutljivost na začetne pogoje,
- vzrok in posledica nista sorazmerna.

Nelinearnost je nasprotje linearnosti. Za razliko od linearnih funkcij, ki potekajo zvezno in predvidljivo, nelinearnih funkcij ne moremo diferencirati: na nelinearno krivuljo ne moremo zarisati tangente.

Fraktali so doživeli svoj razvoj v zadnjih petdesetih letih, skupaj z razvojem računalnikov. Te funkcije so izredno kompleksne za računanje, saj medtem ko jih računalnik izračuna že v nekaj sekundah, bi človek za to potreboval nekaj let. Eden najbolj uporabljenih fraktalov v računalniški grafiki je plazma ali fraktal z naključnim premeščanjem sredinske točke. Včasih ga srečamo tudi pod nazivom fraktalni oblak. Z generatorjem plazme lahko tudi izdelamo DEM - informacijo o reliefnosti.

### Materiali

Po modeliranju - definiranju fizične oblike objektu navadno dodelimo tudi optične lastnosti - lastnosti materiala. Določene parametre lahko zaradi kompleksnosti v naravi samo grobo opišemo. Da bi z njimi dosegli čim bolj zadovoljiv rezultat, je večkrat potrebno poseči še po dodatnih tehnikah.

#### Senčenje

je najnostavnejša izmed funkcij. Senčenje je proces alteracije objekta, utemeljen na kotu, oddaljenosti od objekta in tipu luči.

**Plosko senčenje:** osnova za objekte, sestavljene iz poligonov. Da zmanjšamo vidljivost poligonov, je na tej stopnji edina rešitev povečanje števila poligonov na objektu.

**Gourardovo senčenje:** barvno interpolira ploskve. Sicer se ostre meje med njimi izbrišejo, vendar je odsev svetlobe nenaraven in še vedno nakazuje na ploske gradnike objekta. Tudi potem, ko je objekt osenčen, so njegovi robovi oglati, saj senčenje deluje le na njegovo notranjost. Prednost tega načina je v hitrosti, saj je algoritem dokaj preprost.

**Phongovo senčenje:** normala se na poligon spreminja zvezno po navidezni krivulji, ki zaobjema poligone, za razliko od predhodno omenjenih senčenj, pri katerih normala ostaja pravokotna na vsak poligon posebej. Ta metoda nam dodeli znatno boljše rezultate, je pa vseeno veliko bolj počasna od ostalih dveh. Tudi pri Phongovemu senčenju ostane rob objekta oglat.

#### Barva

je poleg senčenja najbolj preprost opisni element nekega materiala. Barva objekta v naravi je pogojena s tem, kateri del svetlobnega spektra je ta sposoben odbiti od svoje površine. Barva in material sta osnovna parametra, ki bosta definirala, kako se bo predmet obnašal v sceni.

#### Reflektivnost in difuznost

sta dva nasprotujoča si, a vendar povezana parametra: kadar je eden na svoji maksimalni vrednosti, drugega ni in obratno. Tudi za vmesne faze velja enako: če je eden na dveh tretjinah svoje vrednosti, bo drugi na eni tretjini.

Ta dva parametra nam določata, kako se bo svetloba odbijala od objekta. Material, ki ima zelo difuzno površino, bo svetlobo, ki pade nanj, razpršil na vse strani.

Pri reflektivnih materialih (kovine, polirane površine) je odboj svetlobe zelo usmerjen in zato vidimo ta odboj zelo zgoščen na tistem delu predmeta, ki je najbolj direktno osvetljen. Biti moramo previdni pri osvetljevanju, saj lahko površine kaj kmalu zaidejo v nasičenost, neprepoznavnost oblike. Pri reflektivnosti imamo lahko opcijski parameter definicije njene velikosti, torej kolikšen procent površine bo pokrivala. Reflektivnost lahko po svojem obnašanju razdelimo še na kovinsko (barva odseva enaka barvi površine) in bleščečo nekovinsko (barva odseva enaka luči).

#### Odsevnost

je sposobnost materiala za odboj okolice na svoji površini. V naravi je z reflektivnostjo in difuznostjo v tesnem razmerju. Ker imamo v 3D računalniški grafiki opravka z grobimi približki optično-fizikalnih pojavov, je ta parameter ločeno postavljen v nastavitvah materiala. Površina materialov, definirana z mikro reliefno teksturo, nam tudi določa način odsevnosti. Če imamo opravka z ogledalom ali polirano kovino, je odbojnost skoraj popolna in od te površine odbita okolica je zelo ostro definirana. Pri plastiki ali aluminiju, to odsevnost zaznamo kot zamegljeno. To se zgodi pri površini materiala, ki se nagiba proti difuznosti.

#### Prozornost

je lastnost materiala, ki prepušča določen del svetlobe skozi objekt, na katerega je nanešena. V naravi velja Fresnelova enačba, kjer se žarek, ki pada na površino prozornega objekta, razdeli na dva dela: tistega, ki gre v notranjost objekta, in tistega, ki se od njega odbije. Uporabljamo večinoma samo dva parametra: nivo prozornosti, ki ga lahko nastavimo od popolnoma neprozornega do popolnoma prozornega, in lomni količnik. Ko žarek prihaja iz ene snovi v drugo, ki nima enakega lomnega količnika kot prva, se ukrivi. Pri prehodu iz drugega materiala nazaj v prvega se zopet ukrivi tako, da je vzporeden vhodnemu žarku.

#### Svetlost

S svetlostjo določimo nekemu materialu lastnost žarenja. Ta pri materialih nima direktne povezave z osvetlitvijo. Ima samo lastnost osvetljevanja svoje lastne površine, ne pa tudi okolice. Ta parameter pride v poštev, ko je svetlost materiala veliko nižja od zunanje osvetlitve. V sceni imamo na primer elektronsko napravo, ki ima osvetljene kontrole (LED diode). V praksi imajo te kontrole zelo nizko

svetlobno intenziteto, torej je zunanja osvetlitev veliko višja od žarenja objekta.

### Reliefnost

je opcija senčenja. Uporablja se za nižjo nagrbančenost, torej tako, kjer ni potrebne deformacije objekta. Reliefnost se doseže s sivinsko teksturo, ki jo apliciramo na površino objekta. Tekstura se obnaša podobno kot DEM: temnejši deli predstavljajo vbočenost, svetlejši pa izbočenost in pri senčenju objekta ukrivlja normale glede na svojo vsebino. Čeprav nam objekt da izgled nagrbančenega predmeta, bomo na robovih videli, da se mu geometrija ne spreminja, zato je lahko uporabljamo tam, kjer je ta deformacija veliko manjša od celotne geometrije. Če potrebujemo tudi deformacijo geometrije, uporabljamo tako imenovano tehniko mapiranja predstavitev.

### Teksture

so informacije o nepravilnosti v komponentah materiala in jih v glavnem delimo na slikovne in parametrične. Pri slikovnih teksturah uporabimo rastersko sliko za osnovo in njene določene komponente izrabimo kot informacijo o nepravilnosti. Najbolj pogosto se teksture uporabljajo za informacijo o barvi in reliefnosti, čeprav teksturiranje podpira vsak od parametrov materiala.

### Mapiranje

je način aplikacije teksture na objekt in predstavlja njen način projekcije. Tipi mapiranja so v glavnem odvisni od oblike površine predmeta in nivoja dovoljene deformacije teksture. Delimo ga na:

- ploskovno
- krogelno
- cilindrično
- kubično
- UV mapiranje.

Poleg mapiranja teksture dovoljujejo tudi ostale nastavitve, kot so orientiranost (nagib), velikost, intenziteta, način ponavljanja (v kolikor je tekstura po velikosti manjša od površine predmeta), način mešanja z ostalimi teksturami, itd.

**Ploskovno mapiranje** - kadar teksturo direktno nanašamo na neko površino. Podobno je projekciji na neko površino (ploska - uspešna, nepravilne oblike - deformirana). Bolj kot se površina nagiba proti normali, večja bo deformacija.

**Krogelno mapiranje** - za mapiranje okroglih oziroma krogli podobnim objektom. Vir projekcije je izhodišče sferičnega koordinatnega sistema. Ta vir projicira teksturo navzven po enakomernih vodilih v vse smeri enako okoli te točke. Izhodišče tega koordinatnega sistema je hkrati tudi težišče nekega objekta.

**Cilindrično mapiranje** - osnova cilindrični koordinatni sistem. Os z je izvor projekcije in jo projicira okoli sebe v vseh smereh normale vertikale. V kolikor mapiramo cilindričen objekt, bo njegov plašč pravilno mapiran, njegovi osnovni ploskvi pa bosta imeli ekstrem teksture deformiran v obliki eksplozije. Če želimo, da bosta tudi ti dve ploskvi pravilno mapirani, se bo potrebno poslužiti drugih ali dodatnih metod teksturiranja.

**Kubično mapiranje** - podvrst ploskovnega mapiranja, le da je v tem primeru tekstura projicirana na vsako izmed šestih ploskev posebej. Primerna za kockam ali kvadrom podobne predmete, ki jih želimo teksturirati enakomerno po več straneh.

**UV mapiranje** - za kompleksnejše modele. S pomočjo programa raztegnemo model tako, da njegovo celotno površino v tridimenzionalnem prostoru ( $x, y, z$ ) razgrnemo in tako dobimo dvodimenzionalno ploskev ( $u, v$ ). Tako raztegnjena površina ali plašč nam je osnova za risanje teksture, ki se bo kasneje uporabila na objektu. Tekstura se popolnoma prilagodi površini objekta, ter se z njim tudi deofirmira, saj ima pri tej metodi vsak poligon na objektu svojo točno določen del teksture. Ploskovno, krogelno, cilindrično in kubično mapiranje tega ne morejo nuditi, ker so projicirana na celotni objekt oziroma del teksturiranega objekta.

### Proceduralne teksture

Fraktale ali njihove kombinacije lahko uporabimo za teksturo, ki jo program izračuna v fazi upodabljanja. Ker nam program računa teksturo vedno sproti, v fazi upodabljanja, in glede na to, da je za nelinearne funkcije značilna razvejanost v neskončnost, je pri proceduralnih teksturah prednost ta, da so imune na povečevanje ali manjšanje – obnašajo se vektorsko. Medtem ko pri približevanju predmeta, ki je teksturiran z rastersko sliko na neki točki zaznamo kockasto strukturo le-te, se ta pojav pri proceduralnih teksturah ne zgodi. Nelinearne funkcije niso edina osnova algoritmov za

proceduralno teksturiranje. Lahko jih generiramo tudi s preprostejšimi, končnimi formami, kot so na primer enakomerna mreža, vzorec ponavljajočih se opek, šahovnica in tako dalje.

### Svetloba

je vidni del elektromagnetnega (EM) sevanja, ki obsega valovne dolžine od 380 do 760 nm (normalno delujočega očesa). Elektromagnetno sevanje omogočata električno in magnetno polje, ki z določeno fazo nihata pravokotno drug na drugega in se vzajemno vzdržujeta. Sestavljeno je iz različnih tipov valovanj, ki se razlikujejo po valovni dolžini in frekvenci valovanja. V smislu snopa delcev svetlobo imenujemo tudi fotoni ali kvanti svetlobe. Svetloba kot valovanje je motnja, ki se širi v prostoru in času. Pri tem je valovanje sestavljeno iz električnega in magnetnega polja, ki ju lahko opišemo z vektorjema. Ker je magnetno polje v tem poglavju sekundarnega pomena, bo obravnavano le električno polje.

### Interakcija svetlobe z materijo

Ne glede na to, da sta za nastanek pojava svetlobe soodgovorni obe opisani naravi, izkorišča računalniška grafika predvsem naravo valovanja, ki jo opisuje kot interakcijo svetlobe z materijo v obliki različnih fizikalno-optičnih pojavov: refleksija in difuzija, lom, transmisija, difrakcija, interferenca, sipanje, absorpcija, polarizacija in disperzija.

Večina omenjenih interakcij lahko v 3D programih opišemo z določenimi nastavitvami. Računalniški algoritmi učinek generirajo tako, da je možna po upodabljanju vizualizacija na zaslonu. Nekateri učinki so pri tem zelo kompleksni in jih moramo ustvariti z "zvižajo", tako da preko posrednih funkcij dosežemo enako vizualno iluzijo svetlobnega učinka. Velikokrat je potrebno računalniško ustvarjene učinke korigirati, zato je pomembno, da razumemo obnašanje svetlobe v odnosu z materijo v realnem svetu.

### Refleksija in difuzija

Refleksija je selektivni odboj svetlobe od površine materije. Pojav refleksije je poleg absorpcije, sipanja in transmisije odgovoren za to, ali je interakcija svetlobe omejena le na površino objekta, ali pa se pri tem vključijo tudi njegova notranjost. Celotna količina vpadne svetlobe se porazdeli na odbito, absorbirano, sipano in prepuščeno svetlobo.

Refleksija svetlobe ima dve komponenti: zrcalno in difuzno. Slednja je razpršeni del odbite svetlobe, ki variira glede na lastnosti površine in njeno reliefnost. Gladke površine imajo večji del zrcalnega odboja, negladke pa večji difuzni del odbite svetlobe. Tako se na delno hrapavi površini del vpadne svetlobe zrcalno odbije, del pa difuzno v vse smeri. Popolnoma difuzni odboj svetlobe v vse smeri je prisoten na popolnoma hrapavi in neenakomerni površini. Izgled površine je odvisen od kota opazovanja samo na gladkih površinah. Razmerje med intenziteto vpadne svetlobe v prvem mediju in odbite svetlobe na površini drugega medija lahko zapišemo kot reflektivnost  $R$  s Fresnelovo enačbo, ki je tudi pogoj za odboj svetlobe na površini določenega medija.

### Lom

je navidezen upogib ali sprememba smeri svetlobe pri prehodu iz enega medija v drugega, pri tem pa morata biti medija vsaj delno transparentna, da omogočata prehod svetlobe. Poleg refleksije in transmisije je to najbolj uporabljena interakcija svetlobe z materijo v 3D računalniški grafiki. Velikost učinka loma je podana s Snellerjevim zakonom.

Učinek loma svetlobe je najbolj poznan pri prehodu svetlobe skozi tekočino. Glede na razmerje lomnih količnikov izgledajo objekti v tekočini bližji gladini tekočine kot dejansko so.

### Transmisija

je prenos ali prepuščanje svetlobe skozi materijo, ki je vsaj delno transparentna, kar omogoča izstop svetlobe iz materije v obliki izhodnega žarka. Intenziteta izhodnega žarka je odvisna od lastnosti materije in njene površine, pa tudi od odpite, absorbirane in sipane svetlobe. V materialih, ki absorbirajo in sipajo minimalne količine svetlobe, se tako intenziteta vpadnega žarka svetlobe razdeli le na odbito in prepuščeno svetlobo.

Učinek transmisije je najbolj poznan v primeru brezbarvnega stekla in brezbarvnih tekočin, kjer sta intenziteta in kot vhodnega žarka enaka intenziteti izhodnega. V primeru barvnega stekla in tekočin pa je pri prehodu svetlobe skozi materijo prisotna selektivna absorpcija svetlobe določenih valovnih dolžin, zato izhodni žarek rezultira v drugačni intenziteti (posledično obarvanosti) kot vhodni žarek.

### Absorpcija

je sposobnost materije, da celotno svetlobo ali del svetlobe, ki prehaja skozi materijo, pretvori v druge vrste energije (rotacijsko, vibracijsko, električno energijo). Materija lahko absorbira EM valovanje različnih energij in valovnih dolžin. Samo tisto materijo, ki absorbira v vidnem

delu EM sevanja, lahko človeško oko zazna kot obarvano. Delež absorbirane svetlobe v transparentni materiji določimo s pomočjo Lambert-Beerovega zakona.

### Sipanje

je razprševanje svetlobe, ko je ta v odnosu z materijo. Velikost delcev, ki povzročajo sipanje, mora biti manjša od ene desetine velikosti valovne dolžine vpadne svetlobe. Zaradi pojavnosti sipanja se pri prehodu svetlobe skozi materijo intenziteta svetlobe zmanjša, kar je odvisno od lastnosti centrov sipanja v materiji. V primeru velikega razmerja lomnih količnikov med prvim (zrakom) in drugim medijem (materijo), bo slednji intenzivneje sipal svetlobo in njegova transparentnost bo manjša.

### Difrakcija

je posledica interakcije svetlobe z objekti, katerih velikost je podobna valovni dolžini svetlobnega valovanja. Pojav je pogosto prisoten v obliki upogiba svetlobe ob robovih ali majhnih odprtinah, ki ima za posledico spremembo smeri in/ali intenzitete svetlobnega valovanja. Pojav difrakcije svetlobe ni zelo pogost v vsakdanjem življenju, saj je najbolj nazoren v primeru monokromatske svetlobe (svetlobe točno določene valovne dolžine).

### Interferenca

je interakcija dveh ali več svetlobnih valovanj, ki potujejo po istem prostoru ob istem času, z enako frekvenco ali valovno dolžino in konstantno fazno razliko. Valovanja interferirajo med seboj v smislu sestavljanja v končno valovanje svetlobe, to je lahko povečanje, pomanjšanje in celo izničenje.

### Disperzija

označuje odvisnost lomnega količnika transparentne materije od valovne dolžine svetlobe. Vrednost lomnega količnika se povečuje z manjšanjem vrednosti valovne dolžine. Tako ima recimo rdeča svetloba (večja valovna dolžina) v materiji manjši lomni količnik kot vijolična (manjša valovna dolžina), zato se posledično rdeča svetloba lomi pod manjšim kotom kot vijolična. Najbolj znan pojav disperzije je lom vpadnega žarka svetlobe v transparentni prizmi, kjer se pri stiku zraka in materije žarek svetlobe razdeli na pasove svetlob različnih valovnih dolžin, ki se lomijo pod različnimi koti. Pojav disperzije pa je prisoten dvakrat, in sicer pri vpadu in pri izstopu iz materije. Potreben pogoj za nastanek disperzije je, da vpadni žarek ni enak normalni na površino materije.

### Polarizacija

Vektorji električnega in magnetnega polja EM sevanja so orientirani naključno v vse smeri v ravnini, pravokotni na smer širjenja. Takšno sevanje je nepolarizirano. Nasprotno pa je pri polariziranem svetlobnem valovanju amplituda valovanja usmerjena le v eno določeno smer kot posledica selektivne refleksije (tudi sipanja) ali transmisije. To je možno doseči s prepuščanjem svetlobe skozi polarizacijski filter, ki prepušča valovanje svetlobe le v eni linearni smeri, električno valovanje v ostalih smereh pa absorbira.

### Moč sevanja svetlobe

Za vsako vrsto sevanja velja, da se njegova moč spreminja z razdaljo od izvora sevanja po principu obratnega kvadratnega zakona. Moč svetlobe je na dvakratni razdalji od svetlobnega vira le še četrtino prvotne vrednosti (merjeno na enaki površini). Pri tem pa je površina, ki jo svetlobni vir osvetli, štirikrat večja. Zakon opisuje obnašanje svetlobe v realnem svetu in ga je priporočljivo upoštevati pri simulaciji učinka luči.

V 3D računalniški grafiki se ga uporablja za nastavitve delovanja nekaterih vrst luči. Poleg tega uporaba te nastavitve vpliva tudi na realističnost senc, ki se pri delovanju luči ustvarjajo ob objektih, ter na kvaliteto učinkov odbite svetlobe na nekaterih objektih.

### Weinov zakon

Weinov zakon trdi, da vrednost valovne dolžine maksimuma sevanja linearno pada z naraščanjem temperature. Delovanje zakona lahko predstavimo s postopnim segrevanjem popolno črnega objekta, ki bi pri določeni temperaturi začel oddajati infrardeče sevanje, nato pa od največjih do najmanjših vrednosti valovnih dolžin vse barve vidne svetlobe. Zakon ponuja razlago tudi za dejstvo, da hladna telesa niso vidna v temi in da dovolj segreti telesa oddajajo toploto in vidni del EM sevanja.

### Barvna temperatura

Označevanje svetlobnih virov in njihovega sevanja omogoča barvna temperatura. Barvna temperatura podaja temperaturo idealnega črnega telesa v Kelvinih (K), pri kateri sta sevanje črnega telesa in sevanje svetlobnega vira barvno identična. Oznake svetlobnih virov so tako od 2700K do 3200K (sobna žarnica), 5400K (sonce) ali na

primer 5000K in 6500K, ki sta standardizirana svetlobna vira v barvni metriki.

### Senca in polsenca

Pojava sence in polsence sta posledica premočrtnega gibanja svetlobnih žarkov. Potrebni pogoji za tvorbo sence in polsence so:

1. svetlobni vir, ki omogoča potovanje svetlobe
2. prisotnost objekta, ki je ovira na določenem mestu potovanja svetlobe
3. okolica (podlaga), na kateri se formirata senca in polsenca

Tvorba in lastnosti sence in polsence so odvisne od lastnosti svetlobnega izvora in materije. Te lastnosti so: oblika svetlobnega izvora, število svetlobnih virov, oddaljenost svetlobnih virov od objekta, vpadni kot svetlobnega žarka na objekt, morfološke (oblikovne) in optične lastnosti materije objekta.

Senca je popolna odsotnost osvetljenosti z najtemnejšim centralnim delom ter postopno tonsko spremembo v svetlejša področja pri prehodu v polsenco. Polsenca je področje sence, ki je delno osvetljeno in zato na splošno svetlejša od popolne sence. Polsenca prav tako prehaja iz temnejših centralnih področij v svetlejša področja z oddaljevanjem od objekta.

### Kompleks svetlobnih učinkov in senc

Svetlobni kompleksni efekti so bolj odvisni od naravne svetlobe, saj se slednje, še predvsem v dnevnem času, ne da izključiti ali spremeniti. Ti svetlobni pojavi zavisijo od pozicije sonca, letnega časa, vremena, oblačnosti, učinka atmosfere ipd., materiali pa reagirajo na svetlobo z vsemi predhodnje naštetimi parametri.

V interierjih so kompleksi bistveno bolj odvisni od človekovega posega. Materiali imajo običajno izbrano in bolj določeno interakcijo s svetlobo. Poleg tega igrajo tu bistveno večjo vlogo umetna svetila, ki so glede na intenziteto neprimerljiva z naravno svetlobo, njihova usmerjenost in učinek sta bistveno bolj obvladljiva in nastavljiva. Za čim bolj realistične prikaze 3D simulacij je običajno potrebno korigirati računalniško generirano senco in polsenco s triki luči in osvetljevanja scene.

### Luči v 3D prostoru

Svetloba ima veliko parametrov, ki se jih v fizikalnem svetu upošteva, in je zaradi svojega dvojnega obnašanja (kot snop delcev in kot valovanje) zelo zahtevna za matematično opisovanje v navideznem prostoru. Zato uporabljamo algoritme, ki približno opisujejo različne svetlobne izvore in njihovo tipsko obnašanje. Programi nam dovoljujejo uporabljanje več svetlobnih virov, tako da lahko s kombinacijo le-teh poskušamo čim bolj opisati neko situacijo, naj bo to natančen opis naravnih ali fiktivnih pogojev. Pri navideznih lučeh se uporablja sledeče nastavitve, ki karakterizirajo luč:

- **tip svetlobnega izvora** - označen po obliki, deli se na ambientalno svetlobo, usmerjeno luč, točkast izvor svetlobe, reflektor, površinsko luč, linijsko luč, v redkih primerih tudi predmet
- **intenziteta** - primarno potrebno definirati vsaki luči, pri ničelni intenziteti luč ne sveti, medtem ko je pri maksimalni njena moč največja, ne da bi prežgala sliko oziroma končno upodobitev; v kolikor scena od nas zahteva nadpovprečno osvetljenost, je lahko višja od svoje maksimalne priporočene
- **barva** - poleg intenzitete druga najpreprostejša nastavitve, svetlobi nastavimo njeno inicialno barvo, to pa lahko spremeni, tudi če prehaja skozi prozoren predmet, ki ni bele ali sive barve
- **tip sence** - sekundarna nastavitve, z njo povemo, ali predmet oddaja senco ali ne, lahko izberemo tako, ki se izračuna po metodi sledenja žarku, ali mapirano senco; če ne želimo, da bi se senci sekundarnega in primarnega izvora mešali, jo lahko izklopimo; določeni programi dovoljujejo tudi definiranje barve sence
- **prostorsko pojevanje** - v naravi ima svetloba pojemek, ki je kvadratičen glede na oddaljenost od svetlobnega izvora, programi ga imajo navedenega kot opcijo, kjer ga lahko vklopimo kot kvadratičnega, linearnega ali celo po krivulji našega izbora; luči navedemo polmer dosega njene svetlobe, znotraj tega pa se bo intenziteta, glede na oddaljenost, ujemala s krivuljo pojemka, ki smo jo določili
- **ekskluzivnost luči glede na objekt** je poleg luči, ki ne oddaja sence, še eno uporabno orodje pri dodatnih osvetljevanjih določenih

predmetov, s to nastavitvijo svetlobnemu izvoru določimo, na katere predmete v sceni lahko vpliva oziroma katere naj ignorira

- **volumetričnost** - odboj snopa svetlobe od delcev v atmosferi

### Ambientalna svetloba

(*ambient light, omni light*) je vseprisotni izvor luči. Ta prihaja iz vse smeri in je usmerjen v vse smeri. Ta tip svetlobe zaradi svoje vseprisotnosti nemore metati senc, pa tudi predmeti, ki so z njo osvetljeni, ne delujejo plastično in je zaradi tega težko razpoznati njihovo obliko. Tak tip svetlobe se pojavi v naravi v oblačnem vremenu. Svetloba je difuzna in vseprisotna. Kljub temu je v naravi, tudi v primeru takšne osvetlitve, možno razpoznati plastičnost predmetov zaradi osvetljevanja z odbojem svetlobe od le-teh. Simuliranje te luči je zelo potratno glede procesorskega časa.

### Usmerjena (oddaljena) luč

(*distant light, directional light*) z njo simuliramo zelo oddaljene točkaste izvore. Najbolj tipski izmed njih je sonce. Senca, ki jo oddaja s to lučjo osvetljen objekt, je ostra, brez polumesa. V kolikor osvetljujemo objekt, ki ima dve vertikalni stranici vzporedni, bosta robova sence teh dveh stranic tudi vzporedna. Usmerjena luč je definirana kot vektor, katerega prostorska postavitev v sceni ni relevantna, saj samo nakazuje smer, od koder svetloba prihaja.

### Točkast izvor svetlobe

(*point light*) je soroden usmerjeni luči, le da se upošteva končno oddaljenost. Izvor deluje krogelno, kjer je center žarišče. Svetloba oddaja v vse smeri okoli sebe. Če sta bila v primeru oddaljene luči robova sence vzporedna pri vzporednih stranicah, to tukaj ne velja. Robova sence se v primeru takega objekta odmikata glede na oddaljenost od predmeta. Medtem ko pri usmerjeni svetlobi postavitev izvora v prostor ne igra vloge, je pri točkastem izvoru svetlobe ta postavitev ključna. Ta izvor svetlobe nima usmerjenosti.

### Reflektor

(*spotlight*) je stožčast izvor svetlobe in je usmerjen. Konica tega stožca predstavlja izvor svetlobe, spodnji del se pa enakomerno širi proti postavljeni sceni. Poleg usmerjenosti moramo tej luči definirati tudi kot, ki bo predstavljal širino snopa. Pri reflektorju lahko zaznamo tudi še dodatno nastavitve tega snopa, in sicer z dvema kotoma: notranjim in zunanjim. Notranji kot nam pove, kolikšen bo volumen znotraj stožca, ki bo enakomerno osvetljeval, zunanji pa nam definira popolni pojemek. Med obema kotoma bo intenziteta luči pojemale, na kakšen način (linearno, po krivulji) pa določimo sami.

### Površinska luč

(*area light*) ima izvor ploščate oblike. Lahko si ga predstavljamo kot pravokotnik poljubne velikosti in usmerjenosti. Za sence, ki jih mečejo objekti, osvetljeni s to lučjo, je značilna polumesa. Večja ko je površina površinske luči, večja in mehkejša bo polumesa. Če površinski luči manjšamo površino, se bo učinek njene sence približeval tisti, ki bi jo dobili s točkastim izvorom. Senca se bo ostrila. V realnem svetu lahko kot primer takega izvora navedemo televizijski zaslon, računalniški monitor ali okno z matiranim steklom.

### Linearna luč

(*linear light*) ni tipska za vse programe, je pa prisotna v določenih izmed njih. Linearna luč je podobna površinski, le da ima eno stranico ničelno. Tudi za to luč je značilna polumesa, vendar ne v vseh smereh enakomerno. Senca se obnaša mehko, s penumbro levo in desno od predmeta, njen vrh pa je ostro odrezan. S takšnim izvorom lahko simuliramo na primer neonsko žarnico, ki je podolgovate oblike in zatorej sorodna po principu osvetlitve.

### Osvetljevanje z objektom

Določeni programi ponujajo možnost, da lahko katerikoli predmet v sceni definiramo kot luč. Objekt postane izvor svetlobe, ki se širi v prostor v smeri normal njegove površine. Če program te možnosti ne ponuja, lahko ta učinek simuliramo tako, da objekt obdamo z različnimi izvori svetlobe približno po njegovi površini. Svetlobnim virom nastavimo, da ignorirajo objekt, ki je bil zamišljen kot luč, njemu samemu pa pri nastavitvi materialov določimo žarenje.

### Kombinacija luči

Če želimo sceno čim bolj realno predstaviti, se bomo v večini primerov morali posluževati več kot ene luči naenkrat, različnih oblik, intenzitet in barv. Kako se sceni postavi luči, da bodo atmosfero čim boljše opisale, je odvisno od našega smisla za opazovanje in kreativnosti.

### Negativna luč

je ena izmed možnosti navideznega sveta, ki je ne moremo doseči v naravi. Negativna luč odvzema svetlobo sceni. Če objekt osvetlimo, oz. zatemnimo s takšnim izvorom, bo del na površini, v katero je ta luč usmerjena, zatemnjen, tam, kjer naj bi bila senca, pa osvetljen. Negativno, komplementarno se obnaša tudi barva negativne luči. Negativna nastavitve nam pride prav, ko je samo del nekega objekta preosvetljen in hočemo to intenziteto lokalno pomiriti. Tako lahko včasih samo z dvema lučema dosežemo nekaj, za kar bi sicer morali nastaviti mnogo več izvorov.

### Ambientalna svetloba kot dodatna luč

Če osvetljujemo predmet samo z eno lučjo, imamo pri tej osvetlitvi samo dve stanji: prisotnost in odsotnost svetlobe. Scena je sicer enakomerno osvetljena, sence pa so popolnoma črne. Zaradi indirektnega se to v naravi ne dogaja. Če želimo odpraviti sence, ki predstavljajo popolno črnino, postopoma dodajamo ambientalno svetlobo. Ta nam ne bo dodajala svojih senc, bo pa vplivala na tiste, ki jih oddajajo druge luči. Več ambientalne svetlobe ko dodamo, bolj omilimo sence in jim s tem dodamo transparenco.

### Volumetrična svetloba

Snopa svetlobe v čisti atmosferi ne vidimo, razen če zadene ob objekt. Če atmosfera ni čista, zaradi vsebnosti drobnih delcev (prah), vlage (megla), dima ali kakšne druge nečistoče, je viden tudi žarek. V 3D računalniški grafiki bi bilo z vseh vidikov potratno te delce simulirati z objekti. V ta namen imajo luči nastavitve volumetričnosti, torej svojega "telesu". V primeru točkaste luči bo to krogla, pri reflektorju stožec, valj pri linearni luči, itd. Algoritem, ki simulira ta pojav, deluje tako, da v notranjosti telesa svetlobe vzame za vzorec globinsko mapo (ang. *z-buffer*), ki se generira znotraj tega, in predmetom, ki se zopet pojavljajo v tem telesu, dodaja še naknadno osvetljenost.

### Odsev svetlobe v leči

V fotografskih objektivih pride zaradi sestavljanja leč lahko tudi do optičnih učinkov, npr. odsev svetlobe v leči, če usmerimo objektiv direktno v izvor svetlobe ali v zelo močan odboj. Na sliki se izrazi kot skupek večkotnikov, ki se ujemajo s številom lamel na zaslonki. Ta učinek lahko dodamo kot interno post procesiranje - ko se je celotna slika že upodobila. Za samo eno sliko lahko uporabimo programe za obdelavo slik, za animacijo pa potrebujemo notranje algoritme 3D programa.

### Indirektno osvetljevanje

nam omogoča opisovanje tega, da žarek nima samo ene poti. V naravi velja Fresnelova enačba, ki pravi, da se žarek, ki zadene v objekt, razdeli na dva dela: tistega, ki se vpije v objekt, in tistega, ki se od njega odbije. Žarek nima enosmerne poti in se ne vpije povsem v objekt. Del žarka, ki se od njega odbije, nadaljuje svojo pot. Kakšna bo intenziteta in barva žarka, ki nadaljuje to pot, je odvisna od barve objekta in ostalih lastnosti materiala. V naravi je sicer ta odboj mnogokrat, v matematičnih izračunih pa mu moramo določiti število odbojev. Indirektno osvetljevanje znatno doda k realističnemu izgledu slike, zaradi večkratnega poskoka žarka svetlobe pa se čas upodabljanja znatno zviša. Omejimo ga lahko s kvaliteto algoritma, načinom procesiranja in številom odbojev.

### Mapirana senca

je metoda, uporabna če se objekti in svetlobni izvor ne premikajo. Program tako samo enkrat izračuna teksturo sence in jo aplicira na objekte, na katere pada. Ker imamo opravka s teksturo, moramo v programu tudi določiti, kakšna naj bo ločljivost te sence: večja ko je, bolj je definirana, vendar potrebuje več časa za izračun. Če približamo mapirano senco, bomo videli, da je njen rob sestavljen iz pikslov.

### Kavstika

je pojav v naravi, rezultat je projekcija odbitih ali lomljenih žarkov, ki preidejo skozi prozorno površino neravne oblike z lomnim količnikom, različnim od ena. Ti žarki se kasneje projicirajo na površino objekta, ki ga zadenejo po prehodu iz prozorne snovi. Če v nastavitvah vklopimo kavstiko, se pred pričetkom upodabljanja preračuna pot žarkov različnih svetlobnih virov in, v kolikor se kavstika na objektu pojavi kot projekcija, doda nanj kot mapo.



## Osnove fotografije

Za uspešno simulacijo kamere v 3D računalniški grafiki je potrebno poznati osnove spodaj naštetih parametrov in nastavitve fotoaparata in kamere:

- opazovalni sistem,
- svetlobni senzorji,
- zaslonka in zaklop,
- leča, gorišče in goriščna razdalja,
- globina polja,
- vidni in slikovni kot,
- meglenje premika,
- gibanje in število slik na časovno enoto.

Svetlobni senzorji so svetlobno občutljivi elementi optičnih naprav, ki po različnih principih pretvarjajo svetlobno valovanje v mehanske, kemijske ali elektronske signale. Slednji se nato pretvarjajo v vizualne signale, ki jih lahko predstavimo na vmesnih ali končnih vizualizacijskih medijih.

Zaslonka določa velikost odprtine za vhod svetlobe v kamero in posledično vpliva na dolžino ekspozicije svetlobnih senzorjev ter tudi globinsko ostrino. Zaslonke fotoaparata se razlikujejo od zaslonk kamer.

Zaklop je mehanizem, ki regulira čas osvetlitve. Hitrost zapiranja zaklopa določa količino svetlobe, ki jo za določen čas spustimo v področje svetlobno občutljivih senzorjev. Hitrost zaklopa se meri v sekundah oziroma deležu sekunde, pri čemer večja hitrost dopušča manjšo količino svetlobe in krajšo osvetlitev.

Leča je optični element s popolno ali delno aksialno simetrijo, ki prepušča in odbija svetlobo ter pri tem povzroča združevanje ali razhajanje svetlobnih žarkov. Poznamo več vrst leč različnih oblik, najbolj uporabljeni pa sta konveksna in konkavna oblika. Gorišče konveksne leče je na drugi strani leče glede na vpadno svetlobo. Konkavna leča ima gorišče na strani vpadnega žarka svetlobe.

Nastanek slike: Slika objekta, ki nastane po prehodu svetlobe skozi lečo, je poleg omenjenih optičnih parametrov odvisna tudi od razdalje objekta in slikovne razdalje. Predmetna razdalja meri od optičnega središča leče do objekta, medtem ko je slikovna razdalja med optičnim središčem in sliko objekta na svetlobno občutljivem elementu.

Vidni in slikovni kot, vidno in slikovno polje: Vidni kot je določen s skrajno levo in desno točko vidnega polja, ki ju še zaznamo pri opazovanju. Manjša goriščna razdalja omogoča večji vidni kot, zato morajo biti kamere s takimi nastavitvami bližje objektu, da je vidno polje enake velikosti kot pri kamerah z večjo goriščno razdaljo. Slikovni kot je kot snopa žarkov svetlobe, ki prehaja skozi kamero in omogoča nastanek slike. Večja goriščna razdalja pomeni manjši slikovni kot. Pri enaki goriščni razdalji pa večji slikovni kot povzroči večji format slikovnega polja.

Globina polja definira področje pred in za točko največje ostrine, znotraj katerega so objekti scene še videti ostri. Največja ostrina slike je pri tem prisotna v točki gorišča (fokusa), kjer se vsi vpadni žarki svetlobe združijo v eni točki.

Na globino polja vplivamo z nastavitvami zaslonke. Manjša odprtina zaslonke omogoča večjo razdaljo med najbližjim in najbolj oddaljenim delom opazovane scene, katere detajle še vidimo ostre pri točno določeni goriščni razdalji. Tako sta ravnini bližnjega in daljnega fokusa medsebojno bolj oddaljeni, kar pri vizualiziranju naredi izostreno področje optično globlje, to pa daje občutek večjega kontrasta in v določenih primerih tudi močnejše osvetlitve scene. Večja odprtina zaslonke skrajša izostreno področje scene in rezultira v učinku, da je med področji scene manj kontrasta.

Meglenje premika je predstavitev gibanja objektov, ki je ujeta v eni statični sliki (oziroma v ekspoziciji ene slike). Tvori se tako, da se v eni sliki prikaže več zaporednih leg ali sprememb objekta, ki se med seboj na sliki deloma prekrivajo. Vizualni učinek tega efekta je neostrost objekta, kar opazovalec dojema kot gibanje in spremembo lege.

Meglenje premika določamo s hitrostjo zaklopa, saj se na sliki pojavi, če se objekt giba v času odprtega zaklopa. Manjša hitrost zaklopa - večje meglenje premika.

### Gibanje in število slik na časovno enoto

Osnovna merljiva enota je število slik na sekundo in pomeni, koliko posameznih slik se posname (tudi osvetli) in prikaže na sekundo. Filmi z gibajočimi slikami se običajno snemajo z vrednostjo, ki presega 24 slik na sekundo. To imenujemo tudi zvočna hitrost, ker je standardna hitrost za filme s sinhroniziranim zvokom. Obenem pa je

ta vrednost tudi mejno število slik na sekundo, ki jih zaradi vztrajnosti človeškega vidnega sistema povprečni opazovalec pri zaporednem prikazovanju dojema kontinuirano.

Predpisano število slik na sekundo velja tako za televizijsko, klasično filmsko tehnologijo kot tudi za animirane filme, pri tem pa se uporabljajo televizijski standardi: PAL, SECAM, NTSC. PAL (Phase Alternating Line) je televizijski standard evropskega, deloma afriškega in južnoazijskega, avstralskega in južnoameriškega območja in poleg SECAM (Sequential Color with Memory), ki je razširjen v delu Afrike in v državah severne Azije, uporablja 25 slik na sekundo. NTSC (National Television System Committee) standard je aktualen v Kanadi, Severni, Srednji in delu Južne Amerike ter predpisuje 30 slik na sekundo. Omenjeni standardi se razlikujejo tudi po razmerju slikovne točke ter velikosti slike (razmerju višine ter širine slike).

### Prepleteno in neprepleteno obnavljanje slike

Prepleten način je način obnavljanja slike, pri katerem je ena slika sestavljena iz dveh ločenih polj, tako da ena upodobitev predstavlja lihe horizontalne slikovne linije, druga pa sode horizontalne slikovne linije. Glede na standard je odvisno, katere se prikažejo najprej, z enkrat večjim številom na sekundo. V primeru PAL in SECAM standarda je to 50 slik na sekundo s prvo prikazanimi lihimi linijami, v primeru standarda NTSC pa 60, s sodimi. Večje število slik omogoča natančnejšo simulacijo gibanja.

Neprepleten način obnavljanja slike je prisoten v prikazovalnikih z digitalnim signalom in pomeni, da se slika ne obnavlja z ločenimi linijami. Na ta način je zapisana tudi slika na filmski trak. Večina programov za 3D računalniško grafiko ima možnost upodobljanja v prepletenem načinu in tako simulira snemanje video kamere v tem načinu. Pri tem pa je potrebno paziti na pojav meglenja premika, ki se ob zmanjšanju hitrosti zaklopa, torej ob uporabi večjega števila slik na sekundo, prav tako zmanjša na polovico. Poleg tega je učinek simulacije meglenja premika bistveno manjši pri uporabi prepletenega načina.

## Kamera v 3D

Osnovne karakteristike kamere lahko na grobo razdelimo na tip, objektiv, razmerje točke in velikost slike. Tipsko se kamera razdeli vsaj na klasično in ortografsko, nabor ostalih pa je odvisen od vsakega programa posebej. Ortografska kamera zazna samo dve dimenziji. Pri njej perspektiva ni vidna. Ta tip gledišča nam pride zelo prav, kadar hočemo upodobiti samo eno stranico objekta. Za primer lahko vzamemo stranski ris, naris in tloris pri prikazu nekega proizvoda. Tako je viden samo z enega profila naenkrat in primeren za načrte ali kataloge. Uporabimo jo lahko tudi za upodobitev stranice objekta, ki jo bomo uporabili kot teksturo pri isti varianti objekta z manjšim številom poligonov.

To bi bilo smiselno v primeru, ko želimo nek kompleksnejši objekt pretvoriti v preprostejšega zaradi uporabe tega v 3D aplikacijah, ki delujejo v realnem času, kjer je nizko število poligonov ključnega pomena.

Razmerje slikovne točke je podatek o tem, koliko se razmerje med horizontalnim in vertikalnim delom točke razlikuje od ena. Kadar upodabljamo za tisk ali računalniški zaslon, je razmerje točke 1:1, torej kvadrat. Video sistemi so bili realizirani veliko pred digitalno tehnologijo in imajo zaradi tega samosvoje razmerje, vsaj kar se tiče primerjave z digitalnimi mediji. Zaradi tega se uporablja mnogokratnik, ki sliko priredi v preteklosti definiranim formatom.

### Dodatne nastavitve kamere

Nekateri pojavi so pri klasični kameri v fizičnem prostoru očitni in samodejni, medtem ko jih moramo v digitalnem nastavljeni posebej. Dnevno se srečujemo z meglenjem premika, globino polja in stereoskopijo.

Meglenje premika je pojav, ki je značilen za animirane scene.

Zamegljeni predmet tako postane širši in nakazuje pot, ki jo je opravil v 1/25 sekunde (v PAL načinu) oziroma 1/30 sekunde (v NTSC načinu). Program pregleda in tudi upodobi določeno število predhodnih in prihajajočih slik v animaciji in jih prelepi čez trenutno upodabljačo se sliko. Bolj ko se ta pregled oddaljuje od upodabljačo se slike, manj je viden. S tem se doseže učinek zamegljenosti.

Globina polja sicer deluje po podobnem principu kot meglenje premika, vendar je razlaga znatno bolj kompleksna. Pri tem učinku vemo, da bo predmet, na katerega je kamera fokusirana, oster, medtem ko bo okolica okoli njega zamegljena tako, da bolj ko bo oddaljena od točke fokusiranja, manj bo ostra. Dva izmed principov sta sferična rotacija prostora in uporaba konvolucijske matrike z nastavitvami meglenja.

Za potrebe stereoskopije je potrebno upodobiti dve sliki, za vsako oko posebej. Kamera, ki smo jo nastavili, se bo za določeno razdaljo oddaljila od svoje osi gledišča tako v levo kot v desno. V praksi je to

Šest centimetrov, toliko, kolikor sta človeški očesi narazen. V tem primeru se bo kamera od svoje osi gledišča odmaknila po tri centimetre v vsako stran.

### Upodabljanje

je zadnja faza pri izdelavi 3D slike. Vse parametre, ki smo jih predhodno nastavili preko grafičnega vmesnika (geometrija, materiali, svetloba in dodatni učinki), program za izdelavo 3D računalniške grafike zbere in jih prične izračunavati v končni izdelek – sliko.

Upodabljanje je proces, katerega čas izračuna je močno odvisen od velikega števila dejavnikov: kako obsežna je geometrija, nastavitve materialov (še posebno odbojnih in prozornih), število in tip luči, velikost upodabljanja se slike in tako dalje.

Glavne nastavitve pred procesom upodabljanja so:

- velikost slike,
- mehčanje robov,
- redukcija šuma z vzorčenjem,
- globina rekurzije,
- shranjevanje.

### Velikost slike

Večjo velikost ko si izberemo, daljši bo čas upodabljanja. Ta čas se lahko približno oceni z velikostjo površine slike. Slika velikosti 640 × 480 pikselov se bo tako upodabljala približno štirikrat dlje kot ista, v velikosti 320 × 240 pikselov. Kadar postavitev scene še testiramo, je modro upodabljanje najprej pri nizkih velikostih.

### Mehčanje robov

je proces navideznega zaokroževanja ostrih robov, produkta digitalnih izpisov. Ta tehnika ne velja samo za računalniško grafiko, ampak za celotno področje digitalnega procesiranja signalov, vključno z zvokom. Robovi objektov na sliki so omejeni z ločljivostjo, ki jo imamo na voljo. Mehčanje robov ne poveča ločljivosti, ampak samo pretenta oko, da je to storilo. Če si objekt, ki mu mehčamo robove, pogledamo od bližje, izgleda, kot da je ta objekt zamegljen. Če ga pogledamo v velikosti, ki mu je namenjena, pa ga vidimo mehko, z nemotečimi ostrimi robovi.

### Redukcija šuma z vzorčenjem

Določeni algoritmi pri upodabljanju zaradi približkov ali pospeševalnih enačb povzročajo šume na sliki. Eden izmed načinov, kako se temu šumu izogniti, je povečevanje kvalitete izvorov, kar pa lahko včasih preveč upočasnjuje upodabljanje. Z uporabo redukcije šuma z vzorčenjem se lahko upremo temu stranskemu učinku na drugačen, in večkrat hitrejši, način. Redukcija šuma z vzorčenjem deluje podobno kot algoritem za mehčanje robov, le na širši skali.

Najpreprostejše vzorčenje je čisto aritmetično povprečje celotne matrike, vendar je včasih tudi najbolj izgubno glede časa in pomnilnika, saj mora operirati z velikim številom podatkov naenkrat. Zato obstaja več tehnik vzorčenja, ki so sicer hitrejše, a manj precizne. V večini primerov te zadostujejo. Za še hitrejši način redukcije šuma z vzorčenjem se uporablja tehnika prilagojenega vzorčenja, pri kateri algoritem najprej pregleda, kje na sliki se pojavljajo robovi, ki bi jih bilo potrebno omehčati, in deluje samo na piksele, ki so v tistem območju.

### Globina rekurzije

Optična rekurzija se v naravi pojavi ob nasproti si stoječimi reflektivnimi objekti. Odsev predmeta bo viden teoretično v neskončnost, v vsakemu izmed obeh ogledal, realno pa samo tolikokrat, dokler ne zmanjka odbite svetlobe, saj nobeno ogledalo ni popolnoma reflektivno. V programih za 3D računalniško grafiko imamo pri upodabljanju posebno nastavitve, ki omeji večkratni odboj žarka. V kolikor tega ne omejimo, se slika ne bi nikoli upodobila, ker bi se ujela v neskončno zanko. Pri definiciji globine rekurzije je v večini primerov dovolj že vrednost tri, lahko pa jo zvišamo.

### Sledenje žarku

je metoda upodabljanja prizora, dobra za upodabljanje površin, ki so tako odbojne kot prosojne. S sledenjem žarka lahko realiziramo globalno osvetlitev. Računamo le pot žarkov, ki od objektov prihajajo do kamere. Žarek je definiran kot vektor v določeni začetni točki (kamera). Računanje se izvaja vzvratno, začne pri kameri in ugotavlja, kaj zadane drugi konec žarka.

### Shranjevanje

Najpogosteje se omejimo na shranjevanje samo informacije o barvi, torej vidnega dela slike same. V kolikor bomo sliko nadalje obdelovali v zunanjih programih, lahko poleg barvnega kanala posnamemo še druge, kot na primer alfa kanal in informacija o globini.

Shranjevanje po namenu lahko razdelimo na:

- izris na zaslonu,

- shranjevanje posamezne slike,
- shranjevanje animacije.

Alfa kanal je podatek o transparentci. Če imamo v sceni samo polne objekte, bo ta informacija delovala monokromatsko: z belo barvo bodo prikazani objekti, z črno pa ozadje, praznina. V primeru, da so pred prazno ozadje postavljeni prozorni objekti, se bodo ti izrisali s sivinami, odvisno od nivoja njihove transparentce.

Informacija o globini je podatek o sliki, ki je prikazan podobno kot alfa kanal, le da se tukaj opisuje oddaljenost od gledišča. Bliže ko je predmet, temnejša bo prikazana slika in obratno. Programi večinoma niso omejeni samo na te tri kanale, so pa najbolj reprezentančni. Lahko shranjujemo tudi informacijo o odbojnosti, svetlosti, itd.

Izris na zaslonu uporabljamo takrat, kadar nimamo potrebe po samodejnem shranjevanju slike. Lahko jo sicer naknadno shranimo, ni pa nujno. Tega načina se poslužujemo, kadar delamo teste upodobitev.

Shranjevanje posamezne slike lahko nastavimo preden program začne z upodabljanjem. Izbrani format je odvisen od tega, za kaj bomo sliko uporabljali in v kakšni kvaliteti. Najbolj pogosti formati shranjevanja slike so:

- JPEG – ima izgubno kompresijo, 24-bitno globino,
- TIFF – z ali brez neizgubne kompresije, podpira 8 ali 16-bitno globino na barvni kanal, shranjevanje alfa kanala,
- TGA – z ali brez neizgubne kompresije, 24-bitna globina,
- BMP – 24-biten, brez kompresije.

Animacija - na voljo imamo določeno število formatov, med katerimi so najbolj pogosto uporabljeni Quicktime, AVI in MPEG. Prva dva imata tako možnost shranjevanja brez uporabe kompresije (zaporedje slik zapisano v eni datoteki) kot uporabo izgubne ali neizgubne kompresije. Oba sta fleksibilna glede svoje uporabe zaradi kodekov. Glede na zahteve uporabe animacije je potrebno izbrati pravi kodek in njegove interne nastavitve. MPEG je samostojen format in ne potrebuje zunanjih vtičev, ker so vse njegove nastavitve že vgrajene v njem samem. Na grobo je razdeljen na MPEG1 (starejši, a še vedno uporabljen sistem v računalništvu), MPEG2 (uporabljen za DVD video in digitalne televizije) in MPEG4 (osnova mnogim kodekom za Quicktime in AVI).

Te načini zapisa so priporočljivi za predogled manjših animacij, za zahtevnejše je bolje shranjevati zaporedje posameznih slik in jih obdelati v samostojnem koraku.

### Dodatni učinki

so neobhodni za opisovanje določenih pojavov in ne spadajo v nobeno kategorijo predhodno omenjenih pristopov, naj bo to modeliranje, definicija materialov, luči ali kamere. Učinki so odvisni od programskega paketa in naknadnih notranjih nastavitve.

### Megla

je eden izmed dodatnih volumetričnih učinkov. Kot osnovne parametre ji lahko nastavimo barvo, minimalni in maksimalni radij vpliva in krivuljo, po kateri bo potekala (linearno, kvadratično itd.). Megla uporablja za svoje delovanje informacijo o globini in na tej osnovi postopoma prekriva objekte v svojem rangu. Če nam naše programje to dopušča, lahko apliciramo teksturo na meglo. S tem dosežemo učinek dima ali zelo kontroliranega upadanja megle, tako kot se to uporablja pri teksturiranju materialov.

### Okolica

je definirana, kadar želimo predmet upodobiti preko fotografije ali neke druge slike. Eden izmed načinov je ozadje - slika, ki se ujema s celotnim zaslonom. Kamorkoli obrnemo kamero, bo to ozadje prikazano vedno na istem mestu, zato je pri animaciji lahko uporabljeno samo takrat, kadar se kamera ne giblje. Drugi način je objemajoče ozadje. To ozadje se aplicira na zelo veliko prazno kroglo, ki zaobjame celotno sceno. Pri uporabi teksture za tako ozadje moramo upoštevati, da se bo apliciralo na kroglo in zato mora biti tudi za to pripravljeno. Če se pri prvem načinu vidi celotna slika, se pri tem drugem vidi samo tisti del, kolikšen del krogle je viden v kameri. Tekstura za objemajoče ozadje mora torej biti veliko večja od velikosti končne slike, ki jo bomo upodabljali. Okolici, ki jo uporabljamo, lahko tudi dopustimo, da se bo odsevala na objektih (v kolikor niso difuzni) in se tako bolje zlija s sceno.

### Navidezna okolica

Večkrat se nam pojavi primer upodabljanja predmetov z odsevnimi površinami na enakomernih ozadjih. V tem primeru se bo ozadje sicer odsevalo od objekta, vendar bo njegova enakomernost navidezno sploščila objekt, ki bo s tem izgubil nazornost svoje oblike. V fotografiji se v takšnih primerih uporablja dodatno ozadje, ki pa ni vidno na sliki,

ampak je postavljeno izven scene. Tako imajo odsevni predmeti kljub enakomernosti ozadja odsev, ki jim poudari formo, in s tem pridobijo na plastičnosti in nazornosti. V programih za 3D se lahko poslužimo istega trika. Še lažje: ni nam potrebno postavljati predmetov izven zornega kota kamere, katerih odsev bo viden samo na upodabljačem predmetu, ampak lahko za odsev uporabimo sliko.

#### Post procesiranje

Post procesiranje je obdelava slike potem, ko se je že upodobila. Lahko jo obdelamo interno, eksterno ali z vtiči.

- Interno post procesiranje - program sam obdela sliko potem, ko jo je dokončno upodobil. Prednost tega je, da program lahko uporablja za obdelavo slike njene dodatne informacije (o globini, svetlosti, odbojnosti,...).
- Eksterno post procesiranje - dodatno obdelovanje upodobljene slike v zunanjih programih. Prednost tega je, da so ti programi specifično namenjeni temu in je zato obdelava lažja, bolj intuitivna, večinoma v realnem času ali vsaj z omogočenim predogledom ter omogoča kompleksnejše prijeme in kombinacije učinkov.
- Uporaba vtičev - prijem, ki deluje vmes, med internim in eksternim post procesiranjem. Vtiči so programi ali skripte, večinoma zunanjih programerskih hiš, ki se dodajo že obstoječim internim učinkom programa za 3D računalniško grafiko. Ko jih ta program kliče, se izvedejo, aplicirajo na upodobljeno sliko in jo nato vrnejo programu, da jo shrani.

## Animacija

je rezultat postopka, ki tako v tehničnem kot v umetniškem smislu ustvarja gibajoče slike. Gibajoče slike so zaporedje slik, ki so ena za drugo predstavljene na določenem mediju in tako ustvarjajo optično iluzijo kontinuiranega gibanja. V časovnem zaporedju predhodno sliko ponavljajoče zamenja nova slika, ki prikazuje majhno spremembo nekega stanja (velikosti, oblike, barve, teksture in tako dalje) in/ali napredek gibanja. Spremembe stanja in gibanja so v realnosti večinoma zvezni pojavi, v animacijah pa jih kot takšne dojamemo zaradi specifičnega delovanja človeškega vidnega sistema in percepcije.

#### Percepcija gibanja

omogoča zaznavanje sprememb hitrosti in smeri gibanja objektov v okolici s pomočjo vizualnih in čutnih vhodnih signalov, ravnotežnega sistema in gibanja telesa. Po interakciji svetlobe s fotoreceptorji v mrežnici očesa se živčni signali prenesejo v možgane preko vidnega živca..

Celovit pojav detekcije gibanja in sprememb stanja je kompleks reakcij na različne vrste dražljajev. Dojemanje slednjih je odvisno od delovanja dveh vrst detektorjev za gibanje, ki omogočata drugačno dojemanje gibanja objektov v okolici pri mirujočem vizualnem sistemu ali pri sočasnem premikanju oči in glave.

Dokaz za presenetljiv obseg percepcije gibanja so tudi optične iluzije. Te izigravajo večjo občutljivost človeškega vizualnega sistema na relativno gibanje kot na absolutno gibanje. Pri tem pomeni relativno gibanje glede na strukturirano ozadje, absolutno pa gibanje glede na statično ali nevtralno ozadje. Kljub popolnoma statičnim slikam in njihovim elementom povzročajo optične iluzije percepcijo gibanja zaradi medsebojnega odnosa barv, oblik in kompozicije.

Vizualni sistem ni osamljen pri percepciji gibanja, saj šele s pomočjo sodelovanja z drugimi sistemi poda popolne informacije o gibanju objektov (smer, hitrost, pospešek, trk). Eden najpomembnejših izmed sodelujočih je ravnotežni sistem, ki se nahaja v notranjem ušesu. Ta sistem zazna tri osi gibanja glave: gor-dol, levo-desno ter poševne odklone.

Njegovo delovanje je potrebno upoštevati predvsem pri zahtevnejših aplikacijah 3D računalniške grafike. To je primer 3D virtualnih okolij interaktivnih simulacij, kjer so za celovito dojemanje dogajanja v simulacijo vključeni tudi premiki glave in telesa.

#### Vztrajnost vida

Hitrejše potovanje svetlobe skozi očesni mehanizem, v primerjavi z nekoliko počasnejšimi biokemičnimi reakcijami na mrežnici in počasnejšim prenosom teh informacij preko vidnega živca v vidne centre možganov, botruje pojavu, ki ga imenujemo vztrajnost vida. Pojav izkoriščamo v animacijah kot zaporedje slik, ki jih prikazujemo s takšno pogostostjo na časovno enoto, da človeški vidni sistem zazna spremembe med slikami kot zvezne.

Vztrajnost vida izkoriščamo na prikazovalnikih računalniške grafike, video in filmske prakse tako, da prikazujemo število slik na časovno enoto, ki presega mejno ločljivost človeškega vidnega sistema in se posledično v primeru računalniških animacij izognemo procesiranju in upodabljanju prekomernega števila slik.

#### Fi ( $\phi$ ) in beta ( $\beta$ ) fenomen

dokazujeta, da za vidno zaznavanje gibanja ni nujno potreben dejanski pojav premika objektov, temveč da je v določenih primerih videnje gibanja lahko posledica človeške percepcije. Oba fenomena sta povezana z vztrajnostjo vida.

#### Začetki in razvoj animacije

Dokazi, da se je človek zavedal svojega gibanja, segajo v obdobje prazgodovine. Kasneje se je gibanje prikazovalo kot zaporedje slik določenega premika. Iluzija gibanja je bila mogoča šele v 19. stoletju, s pomočjo naprav, ki so z različnimi mehanizmi prikazovale zaporedje slik. Najbolj znani med njimi so bili taumatrop, fenakistoskop in zoetrop.

Animacijske tehnike, ki jih danes poznamo, so:

- risana animacija,
- stop-motion animacija,
- računalniška animacija.

Zvrsti animiranega filma so definirane glede na material, ki ga uporabljamo za izdelavo animacije. Različni viri niso poenoteni pri navajanju začetnika animacij. V prvi polovici 20. stoletja so bile animacijske tehnike usmerjene predvsem v klasično risano animacijo, kjer je animator za vsak premik narisal novo sliko. Risana animacija pomeni še danes klasično tehniko ustvarjanja animiranih filmov. Postopek vključuje risanje posameznih premikov likov v različnih tehnikah na bolj ali manj prosojne papirnate materiale, sestavljanje zaporedja slik v zgodbo animacije ter predvajanje zaporedja slik z različnimi postopki. V prvi polovici 20. stoletja se je istočasno pričela razvijati tudi tako imenovana stop-motion animacijska tehnika. Najpogosteje se uporabljajo dejanski tridimenzionalni objekti, dvodimenzionalni ploskovni objekti in animiranje človeškega telesa.

Sledilo je obdobje začetkov in razvoja studiev, ki so omogočali nadaljnji razcvet klasične risane animacije. Najpomembnejše novosti, katerih uporaba je danes že privzeta v animacijskih tehnikah, so: realistične animacije s posebnimi učinki in človeškimi karakterji; uporaba računalniške tehnologije za animiranje posameznih karakterjev; računalniško generiranje slik celotne animacije; uporaba popolnoma digitalnih metod za celoten postopek izdelave animacije ter uporaba zvočnih rešitev stereofonije (predvajanje zvoka, ki omogoča prostorsko dožemanje) in Dolby Digital (standardna zvočna aplikacija digitalne televizije).

#### Disneyevi principi animacije

v 30. letih 20. stoletja so objavili dvanajst principov animacije, ki so lahko koristno vodilo pri ustvarjanju animiranih filmov tako ljubiteljem te zvrsti kot tudi profesionalcem.

1. princip: "stisniti in raztegniti", določa deformacije objektov, likov in njihovih delov
2. princip: "pričakovanje", ki ga dosežemo z upočasnjevanjem določenih kadrov
3. princip: "postavitev", določa odnose med vsemi elementi, ki so vključeni v neko sceno animacije
4. princip: "neposredno napredujoča akcija" in "akcija iz poze v pozo", posega v napredovanje dogajanja v animaciji
5. princip: rešitev poteka akcije v smislu "spremljati skozi akcijo ter prekrivajoče se akcije"
6. princip: "pospeševati in upočasniti" posega v dinamiko same animacije.
7. princip: "loki" opzarja, da gibanje živih bitij ne poteka premočrtno temveč po določeni krivulji.
8. princip: pojasnjuje, da lahko s "sekundarno akcijo", dogajanje v animaciji postavimo v širši kontekst.
9. princip: vključuje "časovni potek"
10. princip: "pretiravanje" je lahko v animacijo vključen na zelo različne načine
11. princip: izpostavlja pomen "dovršenosti modeliranja in načrtovanja animacije"
12. princip: namenjen predvsem vlogi režiserja in vključuje "karakter lika"

#### Računalniška animacija

ali s kratico tudi CGI pomeni ustvarjanje gibajočih slik s pomočjo računalniške programske in strojne opreme, pri čemer iluzijo gibanja dosežemo s prikazovanjem zaporedja slik, ki so podobne predhodnji, vendar z rahlo spremembo gibanja. Glede na orodja in tehnike za izdelavo računalniške animacije, delimo računalniške animacije na 2D in 3D.

### 2D računalniške animacije

Na ploskem mediju je iluzija tretje – prostorske dimenzije ustvarjena s pomočjo uporabe likovnih prostorskih ključev kot so senčenje in uporaba perspektive.

2D bitne in vektorske animacije neposredno izhajajo iz klasične in risane animacije, le da pri oblikovanju uporabljamo računalniško opremo. Iluzijo gibanja lahko dosežemo z različnimi postopki, ki med ključnima slikama (začetno in končno) ustvarjajo vmesne slike in posledično gladke – neopazne prehode. Ti postopki so lahko "postopek vmes", morf in čebulna lupina.

2D vektorska računalniška animacija temelji na izključno računalniško generirani iluziji gibanja tako, da zadostuje računalniško podprto risanje začetne in končne pozicije lika, na podlagi katerih računalniška programska oprema z interpolacijo izdelava vmesne slike.

### 3D računalniške animacije

Pri 3D animacijah z uporabo 3D koordinatnega sistema in njegovih matematičnih zakonitosti izdelujemo objekte v virtualnem 3D prostoru, kjer namestimo objekte, luči in virtualno kamero.

### 3D animacije

Tako kot v klasični tehniki risanih animiranih filmov, je tudi v 3D grafiki princip animiranja zaporedje slik. Kljub temu, da vsaka od njih zahteva svojo upodobitev, lahko programi dopolnijo ali avtomatizirajo veliko slik in s tem prihranijo animatorjem rutinska dela. Animacije v 3D-ju bi lahko razdelili na predupodobljene in tiste, ki se izvajajo v realnem času.

### Predupodobljene animacije

Upodobimo po doslej opisanih tehnikah modeliranja, postavljanja v sceno, upodobljanja in po potrebi post procesiranja in nelinearne montaže. Na ta način so narejeni animirani filmi, videi, filmski posebni učinki in podobno. Ta način je neodvisen od časa upodobitve ene slike animacije, ki lahko traja od nekaj sekund do več minut. Zato, ker nismo omejeni s časom upodobitve, so lahko scene tehnično kompleksnejše.

Animacije, ki se izvajajo v realnem času so temu nasprotno temu. Ena slika teh animacij se mora upodobiti v največ 1/25 sekunde (v kolikor uporabljamo sistem s 25 slikami na sekundo). Ta tip animacij zahteva tako optimizacijo scene z različni prijemi, kot so redukcija poligonov, nekompleksni vizualni učinki in materiali. Za svoje predvajanje potrebujejo tudi dovolj zmogljivo strojno opremo. Animacije, ki se izvajajo v realnem času, se uporabljajo tam, kjer obstaja potreba po interakciji med uporabnikom in strojno opremo (simulacije, video igre in tako dalje). V ta tip animacij spada tudi machinima, zvrst animiranih filmov, ki se prav tako izračunavajo pred našimi očmi. V televizijskem svetu se vedno več uporablja kombinacija navideznih prostorov, ki se mešajo skupaj z nasnetim materialom, kot je na primer napovedovalec. Animacije, ki jih primešamo, so lahko obeh zgoraj omenjenih tipov.

### 3D animacije po izgledu

Klasične, na roko risane risanke, ponujajo široko paleto stilov in pristopov, odvisno od zgodbe, namena, avtorjev, trendov in tako dalje. Prav tako nam računalniške animacije dajo na voljo veliko manevrskega prostora in se jih estetsko lotimo, kakor nas je volja. Stil 3D animacij po izgledu delimo na:

- **foto realizem** - se poskuša vizualno čim bolj približati opisu realnega sveta, kredibilnosti fotografije. Fotorealistične animacije so v večini primerov uporabljene kot dodatek že predhodno posnetim filmom, obstajajo pa tudi primeri samostojnih animiranih filmov s tega področja.
- **nefoto realizem** - je uporaba 3Dja neozirajoč se na to, kako bo izdelek spominjal na realni svet. Tukaj so pomembni samo plastična forma, vključno s senčenjem, in materiali, tako da animacija kljub približkom in interpretaciji avtorjev deluje prostorsko. Tudi za like in okolico ni potrebe, da se po izgledu ali proporcijah ozirajo na naravo.
- **stiliziran foto realizem** - je vmesni člen obeh predhodno omenjenih stilov 3D animacij po izgledu. Iz fotorealizma uporablja materiale, senčenje in gibe, medtem ko imajo liki in okolica več kreativne svobode.
- **simulacija klasične animacije** - medtem ko je za 3D grafiko značilno senčenje, tega pri klasični, risani animaciji ni. Ploskve so enakomerne in sence so ostro, tudi ploskovno nakazane. S posebnimi filtri v nastavitvah materialov lahko senčenje približamo tistemu iz klasičnih animacij. Lahko ga pa tudi popolnoma izničimo. Tako bo 3D objekt deloval plosko.

### Osnovni principi izdelave 3D animacije

Načini operiranja pri izdelavi animacije so:

- definicija začetnega in končnega stanja v časovnem odseku,
- parametrično operiranje,
- zajem premika,
- posebni učinki.

V večini primerov v izdelavi animacije se bomo posluževali prvega načina operiranja – definicije začetnega in končnega stanja v časovnem odseku. Ko objekt premaknemo iz točke A v točko B v določenem časovnem odseku bo program sam izračunal vse vmesne pozicije premika. To je tudi najpreprostejša operacija v animiranju. V večini primerov se nam zgodi, da imamo na desetine takšnih premikov naenkrat, še posebej, kadar animiramo zelo kompleksne scene, v katerih nastopa veliko objektov.

Neko časovno odvisno enačbo lahko uporabimo kot osnovo parametričnemu animiranju. Oba načina lahko tudi kombiniramo med seboj. Zajem premika je tehnika, ki se izvede v fizičnem svetu in se v glavnem uporablja za animiranje ljudi in antropomorfnih likov. Igralec v studiu si obleče podatkovno obleko, ki ima elektronski senzor na vsakemu izmed sklepov. Ob gibanju igralca ti senzori pošiljajo računalniku informacijo o svoji poziciji. Računalnik zbira sekvenco premikov za vsak člen posebej. Ti zajeti premiki se kasneje aplicirajo na 3D lik, ki ga želimo animirati v navideznem prostoru. S tem dosežemo presenetljivo naravnost premikov lika kljub temu, da je ta računalniško generiran.

### Parametri na voljo pri animiranju v 3D-ju

#### Osnovne deformacije

sprememba velikosti, premika in nagiba - najosnovnejši akterji za animiranje

#### Hierarhija

Objekt je lahko sestavljen iz večih podobjektov ali plasti, ki jih lahko neodvisno animiramo. Če želimo podobjektom dodati neko prioriteto, moramo uporabiti hierarhijo. Kadar operiramo na najvišjega, se ista vrstnost operacije prenese tudi na podobjekte, ki so nižje v hierarhiji.

#### Okostje

Je informacija o načinu deformacije geometrije nekega objekta. Okostje samo, tako kot gruče točk, ni vidno. Je samo baza podatkov, ki jo apliciramo na že obstoječi objekt. Tudi kosti so razdeljene po hierarhiji in sledijo istemu obnašanju, kot se to dogaja v hierarhiji podobjektov. Objekti, na katere apliciramo okostje, so glede deformacije svoje geometrije odvisni od števila poligonov, iz katerih so sestavljeni. Iz več poligonov ko so sestavljeni, lepše in mehkejše se bo geometrija objekta deformirala.

#### Morf

je operacija spreminjanja oblike iz ene v drugo. Objekt se lahko v določenem časovnem odseku spremeni iz ene oblike v drugo. Omejitev primarne in končne oblike je v tem, da morata obe imeti enako število verteksov, ki so med seboj enako povezani pri obeh objektih. Najbolje je, da se končni objekt naredi iz primarnega.

#### Mehansko-fizikalna dinamika

Ročno animiranje mehanskih pojavov je pogosto zamudno ali neprepričljivo. Programi za 3D računalniško grafiko imajo tako nabor osnovnih mehanskih dogodkov, katere lahko med seboj kombiniramo. S kolizijo dodamo predmetu trdnost. Tako ob interakciji z drugim objektom ne bo deloval kot "duh", ampak se bo drugi obenj zadel. Kako se bo obnašal dalje, je odvisno od nadaljnjih nastavitvev.

Skupini objektov ali vsakemu posebej lahko določimo vpliv gravitacije. Tudi ta ima kar nekaj dodatnih nastavitvev in deluje na vse elemente enako.

Podobno kot ima gravitacija vpliv na objekte, kjer jim definira vektor premika v prostoru, tako imamo še en dodaten učinek – veter. Veter lahko kombiniramo z gravitacijo. Določimo mu smer (lahko tudi krivuljo) in moč. Tudi tukaj bo veter različno deloval na različne objekte, odvisno od tega, kakšno težo smo jim določili.

Kadar naj bi bili objekti sestavljeni iz trdnih materialov, jim lahko to tudi določimo. Tak predmet se bo fizikalno pravilno obnašal do predmetov, katerim je bila določena kolizija. Ob trku z njimi se bodo od njih odbili ali prilepili nanje, ne da bi se geometrijsko deformirali. Nasprotno velja za mehke materiale. Tudi ti se ob trku s kolizijskimi predmeti lahko prilepijo ali odbijejo, vendar se hkrati tudi deformirajo. Koliko in kako, pa je spet odvisno od tega, kakšne mehanske lastnosti materiala smo jim določili: naj simulira gumo, spužvo ali nekaj samosvojega po naših nastavitvah. Deformacija ni permanentna. Objekt se pri odmiku od kolizijske površine geometrijsko vzpostavi v prvotno stanje.

Varianta mehkih materialov, a s popolnoma drugačnega vidika, so **tkanine**. Ta učinek je primeren za objekte s površinsko geometrijo in nam simulira njihovo deformacijo v stilu tkanin, papirja, itd. Za uspešen učinek tkanin se mora objekt s to lastnostjo dotakniti kolizijskega objekta. Tukaj so pomembne mehanske lastnosti materiala, kot so njegova gostota, teža in prožnost.

## Posebni učinki

Namen posebnih učinkov je prikazovati neke fiktivne ali posebne situacije, vzporedno s fotografijo. V filmski industriji so se posebni učinki pojavili že zelo zgodaj, praktično vzporedno s kinematografijo samo. Te učinke so takrat delili na optične in mehanske. Pri optičnih se je kombiniralo različne fotografije oziroma uporabljalo kamero kot orodje za te učinke (npr. avto in za njim premikajoča se okolica). Mehanski učinki so vsebovali makete, pirotehniko in masko. V zadnjih dvajsetih letih so se tem načinom prišteli še posebni učinki, dodani za digitalno post produkcijo in 3D računalniško grafiko. Ta je izdelovalcem filmov in videov dodala nove možnosti, večkrat bolj prepričljive, z večjim nadzorom in včasih tudi mnogo cenejše.

Kadar se snema film ali video, pri katerem bomo kasneje uporabljali posebne učinke, moramo to upoštevati že takoj na začetku, pri samem snemanju. Tako si lahko zapisujemo razdalje objektov, uporabljeno opremo (tip filma, objektivne, zaslonke, ...) in upoštevamo prostor, kamor bodo dodani objekti v post produkciji.

## Kombinacija zajete slike in 3D-ja

### Frontalno mapiranje

S tem pristopom lahko nadgradimo uporabo fotografije, ki se izrisuje v ozadju, le-to pa objekt uporabi tudi za informacijo o okolici, kadar uporablja material z odsevnostjo višjo od nič. Ta metoda je pri kombiniranju fotografije in 3D-ja zelo omejena, nima namreč informacije o geometriji objektov, ki se nahajajo na fotografiji. Pri frontalnem mapiranju se zmodelira okolica, ki je na fotografiji: tla, zidovje, odprtine, skratka vse, kar je na tej sliki relevantno kot informacija o prostoru. Tem objektom nato dodelimo teksturo okolice z metodo frontalnega mapiranja. Ti objekti sicer ne bodo posebno vidni, vendar se bo fotografija pravilno obnašala po svetlobnih zakonitostih do objekta, ki ga upodabljamo na njej. Kadar delamo z videom, se bodo morali tudi frontalno mapirani objekti premikati tako, da sledijo fotografomom.

### Fiksno frontalno mapiranje

Varianta frontalnega mapiranja je fiksno frontalno mapiranje. Tekstura je podobno mapirana na objekte, le da tukaj sledi geometriji predmetov na fotografiji. Ta tekstura bo fiksirana na objekte in bo neodvisna od okolice.

Objekt frontalno zmapiramo in dodelimo opcijo fiksne teksture, ki bo zaobjela objekt. Če kamero ali objekt samo malenkostno premikamo, bo ta tekstura pravilno prilepljena nanj in dobili bomo občutek, da se kamera resnično giblje po fotografiji, kot je vidno na fotografijah. Tej tehniki se včasih reče tudi 2.5D, ker deluje vmes med ploskovnim in prostorskim doživljanjem slike. Takšne predmete (ali kamero, ki jih opazuje) se lahko samo malo premika, saj bi se sicer tekstura preveč iznakazila.

### Ukrivljeno ozadje

V studijski fotografiji se veliko uporablja ozadje, ki ima rob prehoda med vertikalnim in horizontalnim delom zelo omehčan. Tako ta rob ni videti moteč, kot bi se sicer pojavil pri ostrem prehodu, recimo, če bi predmet slikali na tleh sobe pred steno. Fotografija, posneta na ukrivljenem ozadju, ima zatorej mehko in enakomerno ozadje, to pa poudari predmet, ki je glavni akter na sliki.

To tehniko uporabimo v situaciji, kjer se navidezna kamera veliko premika po prostoru in hkrati želi biti neodvisna od naših predhodnih posnetkov. Pri delu teksture tal je priporočljivo upoštevati tudi perspektivo in zato teksturo pri zadnjem delu bolj skrijemo kot pri prednjem.

### Zelena zavesa

je način ločevanja z videom ali filmom zajetih predmetov oziroma ljudi, katere postavimo na ukrivljeno ozadje enakomerne barve, v večini primerov zeleno ali modro. Ti dve barvi sta bili izbrani zato, ker sta najmanj podobni barvi človeške kože. V post produkciji nato določimo naj se zelena barva obnaša kot transparentna. Na ta način pridobimo alfa kanal iz posnete slike, kateri dodamo ozadje po želji. Ker bo zelena barva v tem primeru predstavljala transparentno, predmet ali oseba, ki jo snemamo, ne sme imeti te barve na sebi. Včasih je bila preferenca na modri barvi, saj je imela najmanj šuma. Kasneje se je ta preferenca premaknila na zeleno, ker je to barvna komponenta, ki ima največjo svetlobno vrednost. Tako je lahko zelena barva kot ozadje učinkovita že pri nižjih osvetlitvah.

## Partikli

lahko jih poljubno vodimo z nekaterimi mehansko-fizikalnimi zakonitostmi, kot so gravitacija, katapultiranje, odboj, veter... Partikle si lahko zamislimo kot infinitezimalno droben prah, same po sebi nevidne. Na njihovo pozicijo naknadno apliciramo dodatne objekte. Kadar imamo primer animiranja več enakih ali podobnih objektov, lahko partikle uporabimo kot osnovo obnašanju gneče. Partikli bodo predstavljali lokacijo animiranih objektov, sledili pa bodo našim navodilom premikanja.

## Vlakna

so ključnega pomena za kredibilno opisovanje določenih naravnih volumenskih površin, kot so trava, dlaka, lasje in podobno. Glede na to, da imamo pri takšnih površinah visoko število, morajo biti tudi pristopi temu primerni. Klasične modelirne in upodobljevalne metode v takšnih primerih odpadejo, saj bi bila takšna masa objektov prekompleksirana za manipulacijo in upodabljanje. Pri simuliranju vlaknin se ne srečujemo samo s problemom statičnega orisa – animacije zahtevajo poleg tega tudi pravilno mehansko obnašanje le-teh: vpliv gravitacije in pospeškov nanje, interakcija s kolizijskimi predmeti ter medsebojna interakcija. Uporabljajo se različni pristopi:

### Teksturiranje ploskev

Ploskvam se dodajajo teksture transparence, barve, reflektivnosti, reliefnosti,... Upodobitev je hitrejša, vendar imamo pri tem načinu oteženo dinamično animiranje vlaken.

### Vokslji

so sestavni del in hkrati najmanjši gradnik proceduralnih objektov. Voksel definira situacijo piksla na določeni poziciji v prostoru: njegovo barvo in transparentno. Kako se ti dve komponenti pojavljata, je odvisno od algoritma, ki ga uporabljamo za generiranje proceduralnih elementov.

### Izračun vsakega vlakna posebej

Za najbolj realno simulacijo vlaken, a zahteva specifičen upodobljevalni pogon znotraj programa, kateri izračuna vlakna in njihovo obnašanje v fazi pre- ali post procesiranja. V takšnem primeru vlaken ne vidimo v odsevnih površinah, saj je bil ta del upodobljen ločeno. Dobra lastnost tega prijema je izreden nadzor nad optičnim in mehanskim obnašanjem vlaken.

Ti trije primeri niso edini način simuliranja vlaken, saj se pristopi razlikujejo od namena uporabe. Ravno tako so možne kombinacije med njimi.

## 3D v realnem času

O 3D-ju v realnem času govorimo takrat, kadar se nam postavljena scena upodablja sproti, pred našimi očmi. Za tekoče predvajanje animacije v realnem času se mora torej ena slika upodobiti v največ 1/25 sekunde. Da se bo scena lahko upodobila v tako kratkem časovnem odseku, moramo imeti:

- optimizirano sceno,
- za to prirejeno programsko opremo in
- dovolj zmogljivo strojno opremo.

3D-ja v realnem času se poslužujemo takrat, kadar morata uporabnik in računalnik predstavljati zaključeno zanko: uporabnik da informacijo računalniku preko vhodne enote, ta pa jo vrne z novimi podatki, na katere uporabnik ponovno reagira (princip akcije/reakcije) in svoje ukaze ponovno pošlje računalniku. Ker je 3D v realnem času samo izpis, torej grafični vmesnik, pomeni, da to ni celotni del aplikacije. Te aplikacije se morajo poleg grafičnega dela ukvarjati tudi s procesiranjem podatkov, ki jih dovajamo sproti. Ti lahko simulirajo fizikalne pojave, umetno inteligenco, krmilijo zunanje naprave in tako naprej.

### Optimizacija scene

Eden največjih dejavnikov v optimiziranju scene je redukcija poligonov. Druga pomembna enota so teksture. Z njimi simuliramo tako kompleksnejšo geometrijo (teksture z transparentno in reliefnost, na primer) kot barve in določene materialne lastnosti. Tako kot za objekte, velja isto pravilo tudi za teksture – morajo biti primerne velikosti tako glede hitrosti upodabljanja kot razpoznavnosti.

### Upodobljevalni pogon

Upodobljevalni pogon za izračun v realnem času je programska oprema, ki je posebej realizirana in optimizirana za upodabljanje v ta namen. Vsi algoritmi so prirejeni za čim hitrejši izračun, naj si bo to upodobitev slike ali obdelave podatkov (fizikalnih učinkov, vhodnih podatkov, ...). Upodobljevalni pogoni so s svojimi ukazi večinoma direktno povezani s specifično strojno opremo, ki je prirejena posebej za delo s 3D grafiko.

### Strojna oprema

Tretji dejavnik za uspešno predvajanje 3D-ja v realnem času je strojna oprema. Poleg standardnih računalniških komponent, kot je zmogljiva centralna procesna enota in obilica pomnilnika, so v 3D-ju uporabljene še namenske komponente imenovane grafično procesne enote.

### Uporaba 3D-ja v realnem času

Aplikacije 3D-ja v realnem času so izredno široke in fleksibilne, uporabljamo pa jih tam, kjer mora računalnik poleg izrisa 3D slike večinoma poskrbeti še za obdelavo podatkov, ki mu jih dovajamo sproti. Te aplikacije lahko razdelimo na: računalniške igre, simulacije, znanstvene aplikacije, navidezne svetove, povečano resničnost in povečano navideznost, VRML, machinimo, demo sceno in umetniško prakso.

#### Računalniške igre

Računalniške igre so najbolj razširjen in populariziran zgled uporabe 3D-ja v realnem času. Igre, včasih v določenih krogih zloglasnega slovesa, so vsekakor eden izmed pomembnih dejavnikov za pospešen razvoj računalniške opreme, tako strojne kot programske. O njih je bilo napisanega marsikaj kritičnega kot tudi vzpodbudnega, saj so ob primerni zasnovi lahko uporabno vzgojno-izobraževalno ali terapevtsko orodje.

#### Simulacije

so opisovanje realnega sveta na tak način, da zajamejo čim več lastnosti obnašanja procesov, ki jih opisujejo. Največkrat se nanašajo na simuliranje določenih strojev ali vozil, katerih upravljanje je sicer zelo zahtevno ali drago. Takšni so na primer simulatorji letal, helikopterjev, tankov, podmornic in podobnega. Tisti, za profesionalno rabo, imajo grafični prikazovalnik vgrajen v kabino, v kateri je lociran uporabnik. Inštrumenti v simulatorjevi kabini so lahko ločeni od zaslona ali nameščeni direktno nanj, sama pa je navezana na hidravlične sisteme, ki simulirajo njene fizične premike.

#### Znanstvene aplikacije

so 3D grafični prikaz določenih dogodkov ali procesov. Ti so lahko pretvorba vnešenih podatkov v grafično obliko (na primer tako kot osciloskop grafično prikaže nihanja) ali opisovanje procesov, ki so lahko premajhni ali nedostopni za naš vid (na primer prikazi v medicini, astronomiji, fiziki, ...). Google Earth je primer popularizacije znanstvene 3D aplikacije v realnem času, bolj natančno tiste s področja topografije. Ta program je lociran na lokalnem računalniku, iz oddaljenega pa pobira knjižnice topografskih podatkov Zemlje.

#### Navidezni svetovi

so računalniška reprezentacija nekega okolja. Uporabniki se v tem prostoru predstavljajo z grafičnim zastopnikom svoje pojave – avatarjem. Ti svetovi lahko ponujajo tako simulacijo realnih fizikalnih omejitev uporabnika v prostoru kot tistih, ki v navadnem svetu niso možne (letenje, teleportacija). Navidezni svetovi lahko dovoljujejo dostop več uporabnikom naenkrat ter komunikacijo in interakcijo med njimi v realnem času. Določene izmed njih lahko uporabniki modificirajo in nadgrajujejo po svojih željah, nekateri pa so fiksno postavljeni.

#### Povečana resničnost, povečana navideznost in mešana resničnost

Povečana resničnost je kombinacija fizičnega sveta in računalniških grafičnih vložkov. Okolico zajemamo z digitalno kamero, ki je vezana na računalnik, na zaslonu pa se nam preko zajete slike izpisujejo ali izrisujejo še dodatne informacije, ki se direktno tičejo te okolice. Povečana resničnost ne vsebuje nujno 3D grafike (lahko so samo tekstovne informacije), je pa zelo pogosto prisotna. To tehnologijo lahko vključimo v različne veje uporabne prakse (arhitektura, zgodovinske znamenitosti, muzeji, izobraževanje, ...) kot tudi v namene zabave.

Povečana navideznost je nasprotna veja kombinacije digitalnega in realnega sveta. V tem primeru se posneti objekti ali osebe vkomponirajo v navidezni svet, s katerim lahko interagirajo v realnem času. Povečano navideznost najbolj pogosto zasledimo v uporabi navideznih televizijskih studiev, kjer je napovedovalec zajet pred zeleno zaveso in vkomponiran v računalniško generirano okolico.

Obe veji imenujemo s skupnim imenom mešana resničnost – kombinacija realnega in navideznega sveta, ki interagirata med seboj v realnem času.

#### VRML

je programski jezik za modeliranje 3D objektov ali svetov za spletno uporabo. VRML je vtič spletnih brskalnikov in lahko prostorsko

predstavlja to, kar so spletne strani v ploskovnem načinu: lahko se sprehajamo po nekem navidezem prostoru, ki nam poleg svoje okolice dodaja še dodatne informacije in povezave na druge lokacije, tako podatkovne kot prostorske. VRML sicer ni omejen samo na uporabo prostorov, ampak tudi za spletno prikazovanje različnih tridimenzionalnih objektov. Programi za 3D računalniško grafiko imajo navadno tudi možnost izvoza objektov za VRML, tako da jih lahko v njih zmodeliramo in jih kasneje primerno vkomponiramo v celotno VRML sceno.

#### Machinima

je ena izmed vej 3D grafike v realnem času, ki ne zahteva interakcije z gledalcem. Za svojo programsko osnovo uporablja upodobljalni pogon 3D računalniških iger. Prednost je vsekakor nizek strošek izdelave animiranega 3D filma in preprostost uporabe, medtem ko je omejitev v tem, koliko lahko ta pogon nudi.

#### Demo scena

je subkultura računalniške umetnosti in se osredotoča na produkcijo neinteraktivnih audio-vizualnih demonstracij (demo), ki se izvajajo na računalniku v realnem času. Združuje večšine programiranja, vizualij in zvoka. Demo izhaja iz besede demonstracija, saj je tako v svojih začetkih kot tudi danes demonstriral spektakularnost programiranja vizualnih učinkov, ki se izvajajo v realnem času tako, da čim bolj izkoristijo strojno opremo, ki jo imajo na voljo, s čim krajšo programsko kodo.

#### Umetniška praksa

Nekatere zgoraj omenjene zvrsti so same po sebi mišljene kot umetniško delo (machinima, demo), ostale pa so z modifikacijami lahko vkomponirane v karkoli na izraznem področju. Kot vsa tehnologija na razpolago je tudi 3D v realnem času postalo uporabno orodje umetnikom, ki delujejo na področju prostorskih in tehnoloških inštalacij ter performansov. Obiskovalci razstave ali performerji imajo tako možnost interakcije s postavljeno umetnino.