

2.1 fejezet.

Bevezetés a MicroStation megjelenítő eljárásokhoz

A képkalkotó eljárások segítségével a 3D-s modellről felvételeket készíthetünk, és a felvételekből képsorozatokot, mozgóképet állíthatunk össze. Az eljárások angol elnevezése *shade*, *shading* (árnyalás), *render*, *rendering* (tolmácsolás, eloadás), vagy *visualization* (látványkészítés, megjelenítés).

A MicroStation képkalkotó eljárások közvetlenül értelmezik a modell geometriai adatait, és a megjelenítés eredménye a nézetablakokba kerül. Az elkészült felvétel a geometriától független, önálló pixelkép, amely azonban a geometriával szinkronba hozható. Ennek a folyamatos megjelenítés szempontjából van jelentősége, mert így a 3D-s modell a számítógép teljesítményétől függő sebességgel a valósághu térben szerkeszthető.

Render Modes (Renderelo eljárások)

A megjelenítéshez öt egymástól függetlenül működő, de közös beállításokkal irányított képkalkotó eljárás áll rendelkezésre, a poligon árnyalás, gyorsított poligon árnyalás, raytrace, radiosity és particle trace (PT). Valamennyi árnyalási módnál alkalmazható az antialias hibajavítás, a térhatású kép és a képkivágás szűkítése *Fence* kijelöléssel.

! A **poligon árnyalás** a felületeket háromszögletű lapokra osztja, majd a lapok csúcspontjain kiértékeli a fényforrások hatását, és a lapok belsejében interpolációval számítja ki a közbenso értékeket. A poligon árnyalás a geometria képernyőn történő megjelenítéséből folyamatos fejlesztés eredményeképpen alakult ki, ezért közbenso lépései önmagukban is alkalmasak a képkalkotásra. A poligon árnyalási módok a növekvő realizmus sorrendjében a következők:

- a) **Wiremesh**, poligonháló megjelenítés,
- b) **Hidden Line**, takartvonalas poligon kitöltés,
- c) **Filled Hidden Line**, takartvonalas poligon kitöltés saját vonalszínnel,
- d) **Constants**, lapos poligon árnyalás,
- e) **Smooth**, intenzitás interpoláló poligon árnyalás (*Gouraud*),
- f) **Phong**, normál vektor interpoláló poligon árnyalás.

Az eljárás hátránya, hogy csak a fényforrásokból közvetlenül érkező fény számítására alkalmas, az interpoláció miatt a visszatükröződés, fénytörés nem jeleníthető meg, az árnyékvetítés és a szórt fény megvilágítás pontatlan, a perspektívikus rövidülés a geometriához képest enyhén torzul, a textúra leképzés az elforgatott poligonon elmozdul.

.! A poligon árnyalási módok szoftveres vagy hardveres gyorsítás (*Graphics Acceleration*) segítségével folyamatosan működtethetők. A folyamatosság annak köszönhető, hogy az egymásra épülő számítások adatrészenként is végrehajthatók. Az így kialakított nézeti csövezeték (*Graphics Pipeline*) hardveres és szoftveres gyorsításra egyaránt alkalmas.

A grafikus gyorsítás nézetablakonként alkalmazható. A gyorsítótár exportált tartalma (View Cache) a **QuickVision** külső program segítségével is megtekinthető.

! A **raytrace (sugárkövető) árnyalás** meghatározott nézőpontból indított elsődleges sugarakkal letapogatja a geometriát, és a dőféspontokban felületek fényvisszaverő, fényáteresztő és fényelnyelő tulajdonságai szerint összegzi a lehetséges fényhatásokat. Ennek érdekében másodlagos sugarakat indít a fényforrások, valamint a visszatükröződő és az átlátszó felületek mögött látható felületek irányába, majd azokról újabb sugarak indulnak tovább. A rekurziók az elsődleges dőféspontokban egyre pontosabb megvilágítási értékeket eredményeznek.

Az eljárás előnye, hogy a tükröződés (tükörkép) és a fénytörés is megjeleníthető, az árnyékvetés pontos. Hátránya, hogy a poligon árnyaláshoz hasonlóan csak a fényforrásokból közvetlenül érkező fény számítására alkalmas, az árnyék túlságosan éles, a pontatlan dőféspont számítás zavaró képhibákat eredményezhet.

! A **radiosity számítás** a felületeket elemi területekre osztja, amelyek már nemcsak fogadják a fényforrásokból rájuk eső fényt, hanem annak meghatározott hányadát szétsugározzák a látható felületek irányába, majd azokról is tovább verődve fokozatosan szétszórják a kiinduló fényenergiát. A visszaverődési lánc végén a felületeknek elvben nincs továbbadható fényenergiája. A számítás alapegysége a radiozítás, a felületegységre eső fény mennyiségnek azon része, amelyet szétsugározódik a többi felület irányába.

A radiosity számítás még nem kép, hanem a többszörösen visszaverődés eredményének nézőponttól független összesítése. Az adatbázis (*Radiosity Solution*) megjelenítése *Smooth* vagy *raytrace* árnyalással történik. Mivel a radiosity számítás csak a teljesen szórt (diffúz) visszaverődések követésére alkalmas, - minden felület minden (látható) felület irányába sugároz -, a nézőfüggő fényvisszaverődések (spekuláris fény, a tükröződés és fénytörés) megjelenítése a *raytrace* árnyalással történik.

A radiosity eljárás kétségtelen fogyatéka, hogy a területfelosztás nehézkesen követi az erős fénnel járó hirtelen megvilágítás változásokat. Ezen segít a *raytrace* árnyalás szellemes módosítása (*Ray Trace Direct Illumination*), amely átveszi az első visszaverődés (- a fényforrásokból a felületekre eső közvetlen fény -) kiértékelését.

A területfelosztás időigényes ellenőrzését segíti a poligonháló megjelenítés (*Wiremesh Overlay*), a sugárzó folt kiemelés (*Highlighted Shooting Patch*), valamint a felhalmozódott beeső és visszaverődő fény mennyiség jelzőszínekkel történő érzékeltetése (*Illuminance. Luminance Displays*)

Az eljárás előnye a diffúz visszaverődésekkel elérhető puha árnyék és derített felületek. Hátránya, hogy a számítás idő- és memóriaigényes, a tükröződő felületek – mivel a számításuk a megjelenítő szakaszban történik - a fényt nem verik vissza.

Képképző eljárások (Render Modes)			
<i>Polygon</i>	<i>Raytrace</i>	<i>Radiosity</i>	<i>Particle Trace</i>
<i>Járolékos és analitikus árnyalási módok</i>			
Wiremesh		Radiosity Luminance	PT Luminance
Hidden Line,		Radiosity Luminance (Indirect)	PT Luminance (Indirect)
Filled Hidden Line		Radiosity Luminance	PT Luminance
Constants		Radiosity Luminance (Indirect)	PT Luminance (Indirect)
<i>Fotórealisztikus árnyalási módok</i>			
		Radiosity Smooth (Indirect)	PT Smooth (Indirect)
		Radiosity Smooth	PT Smooth
Smooth		Radiosity Raytrace (Indirect)	PT Raytrace (Indirect)
Phong	Raytrace	Radiosity Raytrace	PT Raytrace

Material Attributes (Anyagtulajdonságok)

A vizuális hatáskeltés eszközei hat csoportba oszthatók: anyag-tulajdonságok, fényforrások, árnyékok, fényvisszaverodések (reflexek), légköri hatások és a hátterek. Az eszközök a közös beállítások ellenére az egyes képalkotó eljárások részét képezik, tehát a választott árnyalási módtól függ az alkalmazhatóságuk és az elérhető eredmény. Ebből a szempontból az árnyalási módok maguk is eszköznek tekinthetők, hiszen sajátos grafikai megjelenésük a hatáskeltés részét képezik.

! Az **anyag tulajdonságokon** mulik, hogy a felületek milyen anyagot érzékeltetnek. Az anyagok vizuális tulajdonságait két összetevő határozza meg: a felület színe és a fényvisszaverodési tényezők. A számítás több részből álló fényvisszaverodési egyenlet alapján történik, amelynek részeredményei összeadódnak. Így például a fényvisszaverodás, a visszatükrözödés (felületen látszó tükörkép) és a fényáteresztés (felület mögött látszódó másik felület) színének számítása külön történik, és az eredmény utólag adódik össze.

A felület színe – meghatározás hiányában – a rajzelem vonalszíne, amely önmagában is megjeleníthető. A vonalszint helyettesítheti .színkoordinátákkal meghatározható alapszín (*Base Color*) vagy a felületre vetített textúra (*Pattern*). A textúra lehet raszterkép vagy függvény alapján előállított kép (*Procedural Pattern*). Utóbbinál a mintázat a testéleken átfordul, ezért különösen alkalmas a metszetükkel feltáruló anyagok megjelenítésére. Itt kell megemlíteni a spekuláris fényszínt is, a felületen megjelenő fényfolt színét, amely az anyagtól és a nézőponttól függően változó, és a MicroStation képalkotó eljárásoknál külön kell beállítani.

A felület színét a ráeső fény teszi láthatóvá, s a fényszín, fényerő, valamint a felülethez rendelt fényelnyelő, fényvisszaverő és fényáteresztő tulajdonságok együttesen módosítják. Az állítható fényvisszaverodési tényezők a következők: az alapszín és/vagy a textúra diffúz fényvisszaverodése, a spekuláris fényvisszaverodás, az átlátszóság és fénytörés, a visszatükrözödés (tükörkép).

Az anyag-tulajdonságok szellemes kiegészítése az egyenetlen felületek érzékeltetésére szolgáló bucka leképzés (*Bump Mapping*), amely raszterkép alapján perturbálja a felületek fényvisszaverodési szögét.

! A **fényforrások** csoportosítása az elhelyezési módszerek alapján történt. Az egyik csoportban azok a fényforrások találhatók, amelyek a modell térben adatponttal helyezendők el. E csoportba tartozik a pontfény, kúpfény, területfény, párhuzamos (távoli) fény és a nyílásfény. A másik csoport összetétele vegyes. E csoportba tartozik az ambiens fény, a kamera mögött elhelyezett vaku, (tulajdonképpen a nézőponttal együtt mozgó pontfény,) a navigációs adatokkal meghatározható napfény, (tulajdonképpen párhuzamos fény,) valamint a a légköri hatások eloldózására alkalmas égbolt fény. Az ambiens fény nem valódi fény, hanem a többszörös visszaverődés hiányát pótló általános fényerő növelés, amely valamennyi felületet egyformán érint, legyen az megvilágított vagy árnyékos felület.

Állítható valamennyi fényforrás fényerőssége, színe, a kúpfény fénykúpja, és a távolsággal egyenesen arányos fényerőcsökkentés.. A terület-, nyílás- és égbolt fényekkel elérhető szórt megvilágítás és puha árnyékvetítés a fénykibocsátási pontok növelésén mulik.

! Az **árnyékok** kezelési módja és elérhető minősége elsősorban a választott árnyalási módszertől függ. Phong árnyék puha de pontatlan. A raytrace árnyék pontos, de túlságosan éles. A radiosity árnyék puha, pontos, de a kontur egyenetlenségének megszüntetése rendkívül számításigényes. A particle trace árnyék puha és pontos, jelenleg ez az árnyalási mód eredményezi a legjobb árnyékot.

! A **fényvisszaverodések** megvalósítása a megjelenítés legnehezebb területe. A radiosity és a particle trace kivételével a képalkotó eljárások a többszörös

fényvisszaverodést nem számolják, így azoknál a derítést az ambiens fény pótolja. Valódi fényvisszaverodés csak a radiosity és particle trace árnyalási módokkal érhető el.

! A **léggöri hatásokkal** a légkör fényelnyelő, fényszóró, fénynövelő vagy fénycsökkentő hatásai utánozhatók. Ilyen hatás érhető el az ugynevezett *Cueing* eljárásokkal, amelyek a távolsággal arányosan növelik a képpixel színek fekete tartalmát vagy eltolják egy választott szín irányába.

Kültéri felvételeken az égbolt fények (*Sky Lights*), beltéri felvételeken a nyílásfény (*Sky Opening*) és az égbolt fény együttes alkalmazásával szórt árnyékok, derített felületek és átszíneződések érhetők el. Ezek a fények a modellt párhuzamos fényekkel egészítik ki, illetve a meglévő párhuzamos fényeket módosítják.

! A raszterkép **hátterek** hasznosan járulnak hozzá a realizmus növeléséhez, mert nem növelik a poligonok számát. Raszterkép a modelltérben tetszőleges módon elhelyezhető, de lehetőség van arra is, hogy kitöltse a nézeti ablakot (*Background Image*). Ezt követően fotóillesztő eljárás (*PhotoMatch*) segítségével a modell nézőpontja a raszterkép nézőpontjához igazítható. A háttér helyettesítheti a nézeti háttér-szín is (*Background Color*), amelyet a színtáblázat (*Color Table*) 256-os színe határoz meg.

Itt kell megemlíteni a raytrace árnyalás részét képező környezeti képet is (*Environment Map*), amely közvetlenül nem, csak a visszatükröződő felületeken és az átlátszó felületek mögött látható. Az eljárás a textúra leképezés mintjára működik.

Képkalkoló eljárások eszköztára					
Hatás	Képkalkoló eljárások				
	Smooth	Phong	Raytrace	Radiosity	PT
<i>Optikai tulajdonságok</i>					
ambiens visszaverodés (<i>Ambient Reflection</i>)	?	?	?	?	?
alapszín (<i>Base Color</i>)	?	?	?	?	?
fényvisszaverodés (<i>Diffuse Reflection</i>)	?	?	?	?	?
spekuláris szín (<i>Specular Color</i>)		?	?	?	?
simaság (<i>Specular + Finish</i>)		?	?	?	?
átlátszóság (<i>Transparency</i>)	?	?	?	?	?
fénytörés (<i>Refraction</i>)			?	?	?
Fresnel hatás (<i>Fresnel Effect</i>)			?	?	?
tükröződés (<i>Reflection</i>)			?	?	?
tükröződés fényvisszaverodéssel					?
<i>Textúra leképezés</i>					
textúra leképezés (<i>Texture Mapping</i>)	?	?	?	?	?
függvény alapú textúrák (<i>Procedural Texture Mapping</i>)	?	?	?	?	?
felületi egyenetlenség (<i>Bum Mapping</i>)		?	?	?	?
<i>Fényforrások</i>					
derítőfény (<i>Ambient Light</i>)	?	?	?	-	-
villanófény (<i>Flashbulb</i>)	?	?	?	-	-
pontfény (<i>Point Light</i>)	?	?	?	?	?
kúpfény (<i>Spot Light</i>)	?	?	?	?	?
párhuzamos fény (<i>Distant Light</i>)	?	?	?	?	?
napfény (<i>Solar Light</i>)	?	?	?	?	?
területfény (<i>Area Light</i>)	?	?	?	?	?
nyílásfény (<i>Sky Opening</i>)	?	?	?	?	?
fényforrás színe (<i>Light Color</i>)	?	?	?	?	?

lienáris fényerocsökkenés (<i>Attenuation</i>)	?	?	?	?	
négyzetes fényerocsökkentés (<i>Extended Light Interpretation</i>)				?	?
<i>Árnyékok</i>					
pontatlan puha árnyék (<i>Phong</i>)		?			
pontos éles árnyék (<i>Raytrace</i>)			?	?	?
pontos puha árnyék				?	?
<i>Fényvisszaverodések (reflexek)</i>					
egyszerűsített visszaverodés (<i>Sky Light - Ground Reflection</i>)	?	?	?	-	-
többszörös visszaverodés				?	?
<i>Légköri hatások</i>					
köd (<i>Fog Cueing</i>)	?	?	?	?	?
fényerocsökkentés (<i>Distant Cueing</i>)	?	?	?	?	?
irányfény módosítások (<i>Sky Light</i>)	?	?	?	-	-
<i>Hátterek</i>					
raszterkép (<i>Background Image</i>)	?	?	?	?	?
fotóillesztés (<i>PhotoMatch</i>)	?	?	?	?	?
háttér szín (<i>Color Table</i>)	?	?	?	?	?
környezet visszatükrözodése (<i>Environment Map</i>)			?	?	?

Táblázat. Jelölések: ? alkalmazható, ? alkalmazható, de az eredmény csökkentett értékű, - alkalmazása nem javasolt.

Animation (Animálás)

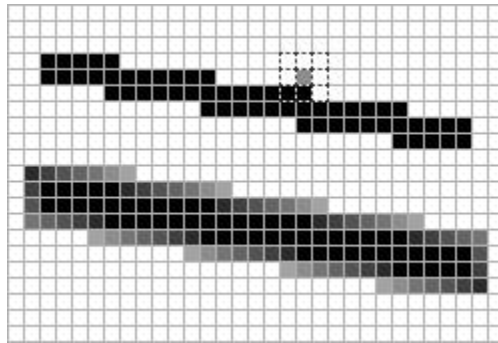
A képképző eljárások segítségével a következő mozgóképek készíthetők:

- a) **benapozás vizsgálat** (*Solar Study*), a modell, a nézőpont és a fókusz távolság rögzített, a napfény iránya és a fényerő változik.
- b) **séta a térben** (*Fly Through*), séta a térben: a modell és megvilágítása rögzített, a nézőpont (kamera) előre meghatározott útvonalon mozog.
- d) **animáció** (*Animation*), a modell, a megvilágítás, a nézőpont és a fókusz távolság egyaránt változhat.

Antialiasing

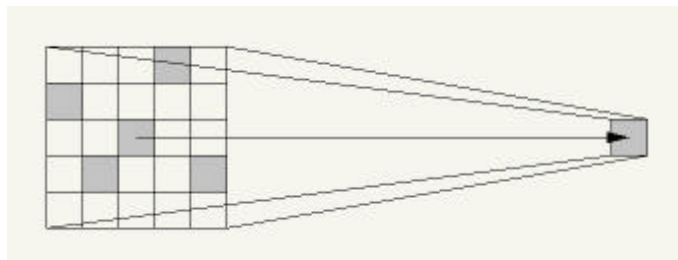
A pixel alapú leképezés velejárója, hogy a raszterpontok fogazott éleket eredményeznek. Ezt a jelenséget a pixelek közötti kontraszt okozza, és leginkább az eltérő színintenzitású (kontrasztos) területek találkozásánál érzékelhető. A fogazottság a legegyszerűbben a felbontás növelésével csökkenthető, mert ekkor a pixelszín különbségeket a szem átlagolja. Az átlagolás időben is megvalósulhat, a látási tehetetlenség következtében az egymást váltó pixelek színe átlagolódik. Így a fogazottságot csökkenti a nézőpont vagy a tárgy folyamatos helyváltoztatása. Az alacsony felbontású televíziós mozgóképet ennek következtében látjuk élesnek.

A fogazottságot utólag oly módon csökkenthető, hogy a kiugróan kontrasztos pixelek színét a szomszédos pixelek értékéhez közelítjük. A beavatkozás akkor eredményes, ha raszterkép minősége megfelelő, mert a kiegyenlítés csökkenti a kép információ tartalmát. Ezért ez a módszer többnyire a szövegszerkesztők, kiadványszerkesztők használják.



Ábra. Vonal fogazottságának megszüntetése a környező pixelek átlagolása alapján.

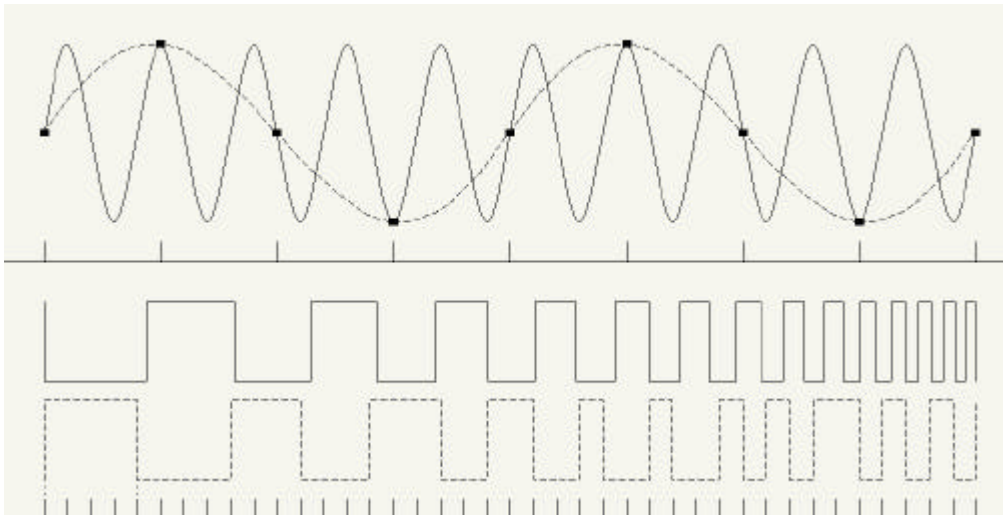
A 3D-s képképzésnél a fogazottság mögött azonban mélyebb képképzési bonyodalmak húzódnak. A képképzés a folytonos geometriát, esetenként a geometriára vetített textúrát diszkrét pontokban mintavételezi. Ha a felvétel felbontása elégtelen, a hirtelen változások nem megfelelően reprezentálódnak.



Ábra. **Antialiasing.** Az elégtelen felbontású felvétel a hirtelen változásokat nem kelloen reprezentálja. A választott minta (szürke négyzet) torzítja a rekonstrukciót, hiszen a vizsgált sokaság 5 szürke, 20 fehér négyzetből áll.

Az *alias* jelenség a tehát hibás reprezentáció következménye. A mintavételezés általános szabálya szerint a mintavételi gyakoriság legalább a kétszerese kell, hogy legyen a mintában előforduló változások gyakoriságának. Ez a *Nyquist* küszöb. Ha a mintavételi gyakoriság ennél alacsonyabb, a rekonstruált modellben a változások eltolódnak, és álruhában (*alias* latinul álarc, álruha) más helyen jelennek meg. Az eredmény a képképzésben a fogazottság fokozódása, moaré mintázat kialakulása, esetenként kifejezetten téves képpontok keletkezése.

A reprezentációs hibák az emberi látásnál azért nem mutatkozik, mert a számítógéphez képest nagyságrendekkel nagyobb felbontást többszörös átlagolás egészíti ki. A receptor sejtvégződés fizikai kiterjedésük következtében eleve átlagolják a rájuk eső fénykévé. Az éleslátás szűk területén a receptorok száma igen magas, szemgolyó az átfogó képhez folyamatosan változtatja a látókúp irányát, így átlagolást eredményez a szem állandó mozgása is. Az így keletkezett fényinger három lépésben tömörödik, 130 millió idegsejt tartozik 50 millió látóideg végződéshez, amelynek információit már csak 1 millió idegrost továbbítja az agy felé.



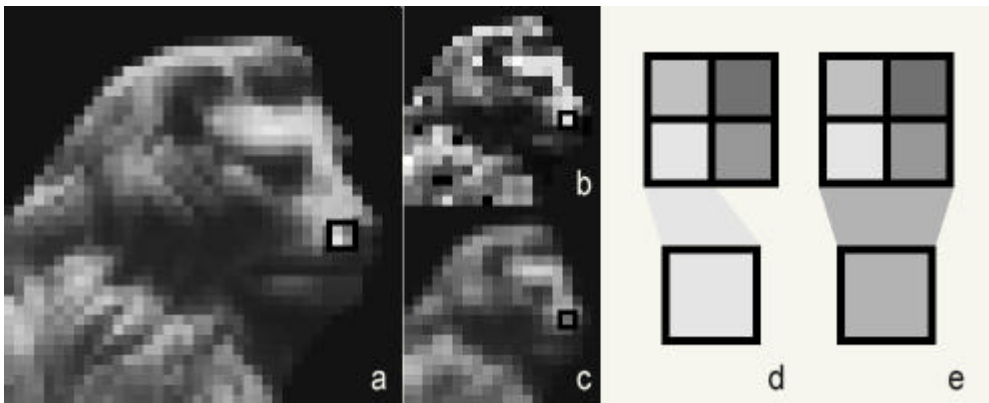
Ábra. **Alias jelenség.** Felső ábra: a Nyquist küszöb alatt mintavételezett magas frekvenciájú hullám a rekonstrukció után álrúhában (alias) alacsony frekvencián jelenik meg. A magas hangból mély hang lesz. Alsó ábra: A mintavételi gyakoriság fokozatosan kerül a Nyquist küszöb alá, a rekonstruált modellben a változások eltolódnak, és más helyen jelennek meg. Az eredeti sokaságot folytonos vonal, a rekonstrukciót szaggatott vonal, a mintavételi gyakoriságot beosztás jelzi.

Mivel az *alias* jelenséget a mintavételi gyakoriság növelése szünteti meg, a hibajavítás kézenfekvő eszköze a felvétel felbontásának növelése lenne. Ennek azonban határt szab a számítógép teljesítménye, továbbá a megjelenítő eszközök (képernyő, video, nyomtató stb) esetenként előírt képméret igénye. A képen megjelenő részletekkel szemben is eltérőek a követelmények: a hibákat felnagyító kontraszt rendszerint nem terjed ki minden képelemre, feltűnően a testek határvonalánál, eltérő színű háttér előtt jelentkeznek. A modell változó részletezettsége is megengedné a mintavételi gyakoriságot változtatását. Ennek megfelelően, az árnyalási módok illetve a képfelbontás közötti lépcsők is különböző mintavételezési technikákat alkalmaznak, közös bennük azonban az, hogy adott képfelbontás mellett a lokálisan vagy globálisan növelik (vagy csökkentik) mintavételi gyakoriságot, majd az eredményt visszaátlagolják. A számítógéppel készített képek technikai minősége e hibajavító algoritmusok kiegyensúlyozott használatán múlik.

Az alias típusú hibák csökkentésére a következő eljárások állnak rendelkezésre.

a) **Túlmintavételezés**, amely a pixelek képet vagy annak kontrasztos részleteit az előírt felbontásnál nagyobb felbontással számítja ki, majd a beírás pillanatában a pixelek színtartalmát átlagolja. Ilyen típusú hibajavítást tartalmaz a Phong féle árnyalás, amely az egész képet érinti (*Multipass Oversampling*), és a raytrace árnyalás, amely a kontraszt küszöb alapján lokálisan növeli a mintavételt (*Adaptive Supersampling*).

b) **Eloszurás**, amely a textúra-képek léptékét csökkenti, abból kiindulva, hogy az előzetes átlagolás helyesebb eredményezhez vezet, mint ami később az elégtelen gyakoriságú mintavételből adódna. Ezen az elven alapul a *Texture Interpolation* eljárás, amely a szomszédos pixelszíneket előre átlagolja. Továbbfejlesztett változata a *Multi-level Texture Interpolation* eljárás, amely a textúrákat különféle felbontásban tartja nyilván, és a textúra leképezés mindig a perspektívus rövidülésnek megfelelő méretű képet használja.



Ábra. **Texture Interpolation.** a) textúra, b) textúra leképzés interpoláció nélkül, c) textúra leképzés interpolációval, d) a négy pixel közül véletlenszerűen kiválasztott minta, e) négy pixel átlagolása alapján megállapított minta.

c) **Rendhagyó mintavétel**, szokás nevezni sztochasztikus mintavételnek, vagy vibráló mintavételnek is (*Jittering*). Az eljárás a mintavételi pontokat nem szabályos rácspontokon, hanem véletlenszerűen választja ki. Ez ugyan még önmagában nem csökkenti a mintavételi hibák előfordulását, de az így keletkeztetett véletlenszerű zaj elnyomja a szem számára zavaró ismétlődéseket.

d) **Útószerűsítés**, szokás nevezni ditherálásnak (*Dithering*), a rendhagyó mintavételhez hasonló eljárás, amely az elkészült pixelképhez utólag olyan nagyfrekvenciás zajt kever, amely feltördeli a szem számára zavaró ismétlődéseket. Ez az eljárás kiváló eredménnyel alkalmazható, ha a 24-bites színmélységű rasterképet 16 vagy 8 bites színmélységűre csökkentjük.

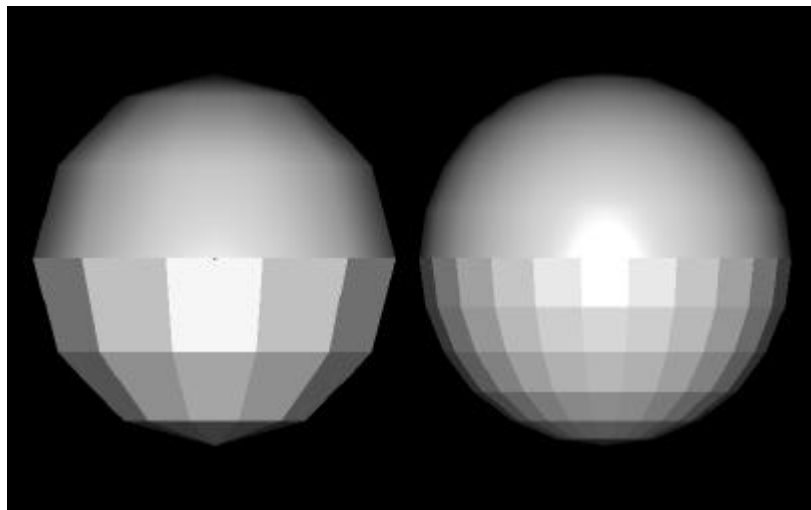
Képjavító algoritmusok		
Beállítás	Árnyalás	Hiba
Pixel felbontás		
View (Pixel) Size	általános	általános, fogazottság
Shadow Resolution	Phong	pontatlan és hibás árnyék
Pattern Resolution	általános	durva textúra
Level of Details	általános	függvény alapu textúra
Antialiasing útószerűsítés		
Antialiasing Grid Size	Phong	általános, fogazottság
Sample Minimum / Maximum	raytrace	általános, fogazottság
Contrast Threshold	raytrace	általános, fogazottság
Jitter Samples	raytrace	általános, fogazottság, moaré
Antialiasing eloszerés		
Texture Interpolation	általános	moaré, durva mintázat
Multilevel Texture Interpolation	általános	moaré, durva mintázat
Geometriai korrekciók		
Adjust Mesh	raytrace	hibás önárnyék
Render Scale	raytrace	hamis árnyék, fekete pettyek
Egyéb		
Shadow Tolerance	Phong	hamis önárnyék

Táblázat. Képjavító algoritmusok.

Interpolation

A képképzési hibák másik csoportját az interpolációs hibák alkotják. Megszüntetésük ugyancsak a mintavételi gyakoriság növelésén múlik, hiszen a megoldás az interpolált távolság csökkentésében rejlik. Valamennyi árnyalási mód a geometriát háromszögletű területekre osztja, és a fényforrások hatását a háromszögek csúcspontjaiban értékeli ki, majd a közbenso értékeket interpolációval közelíti. A háromszögháló angol elnevezése *Polygon Mesh*, háromszög *Face*, háromszögesítés *Tessellation* vagy *Display Traversal*. Amennyiben a területfelosztás durva, a szomszédos lapok találkozásánál az árnyalás folyamatossága elakad.

A *Smooth* és *Phong* eljárásoknál az árnyalás folyamatosságát a csúcspontokba elolt normálvektorok egyesítése biztosítja. A lapok találkozásánál kialakuló Mach féle sáv a kontraszt különbségből adódik, de alig észrevehető. A lapok számát csak a görbült felületeken érdemes növelni, de ott is csak a poligonális kontúr csökkentése miatt, sík felületeken a felosztás nem jár minőségjavulással. A *Smooth* árnyalásnál a fényintenzitás változásokat az interpoláció elkeni, és vetett árnyék nem készül, ezek a fogyatékoságok a módszer velejárói. A *Phong* árnyalásnál viszont a vetett árnyék és a spekuláris fényfolt számítása külön történik, és az eredményt utólag adódik az interpolált felülethez. A görbült felületek lapfelosztását **Stroke Tolerance** értéke határozza meg a görbület és a lap közötti legnagyobb megengedett távolsággal, mértékegység képernyő pixel. A normál vektorok egyesítése önműködően történik, mert csak a görbült felületeknek lehetnek összetartozó lapjai. Ha ez az információ hiányzik, például importált poligonháló esetében a lapok önállóak, a **Facet Smoothing** parancs alkalmazásával pótolható. Az élsimításhoz egyszerre több felület kijelölhető, és az éles sarkok szög közből (*Angle Tolerance*) segítségével kizárhatók a gömbölyítésből.



Ábra. **Facet Smoothing**. Élsimítás importált gömbök felső részén. A gömböket önálló síklapok alkotják. Az eredményen látszik, hogy a **Stroke Tolerance** tényezőt csak a poligonális kontúr miatt érdemes növelni, egyébként a görbült felületek interpolált árnyalásához az alabeállítás (0.5) megfelelő lenne.