“All problems in computer graphics can be solved with a matrix inversion.”

Jim Blinn

Inkrementális 3D képszintézis
1. Bevezetés

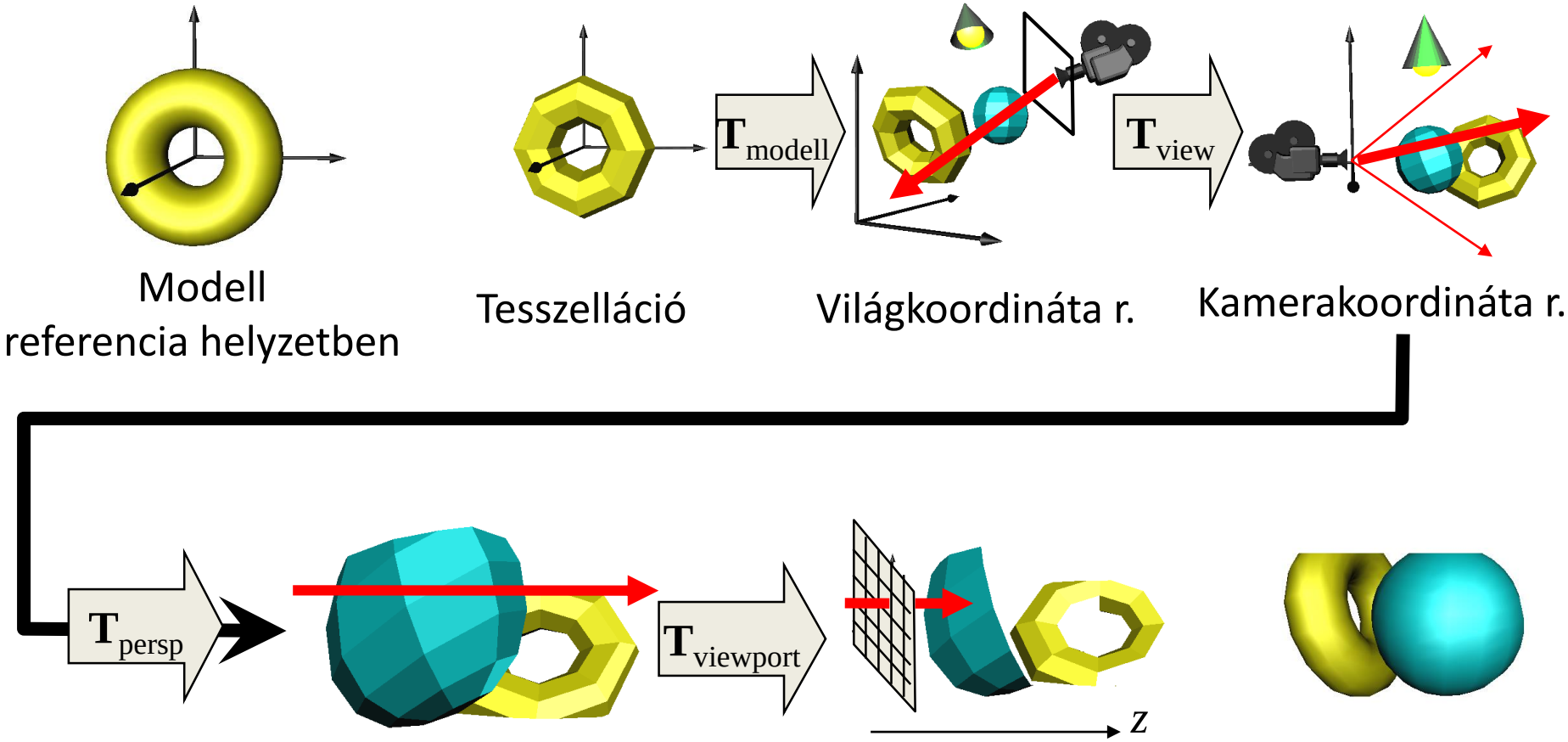
Szirmay-Kalos László

Inkrementális képszintézis

- Objektum vezérelt megközelítés
- Cél a sebesség és a hw támogathatóság

- koherencia: oldjuk meg nagyobb egységekre
- feleslegesen ne számoljunk: vágás
- transzformációk: mindenhez megfelelő koordinátarendszert
  - vágni, transzformálni nem lehet akármit: tesszelláció

3D inkrementális képszintézis



Modell
referencia helyzetben

Tesszelláció

Világkoordináta r.

Kamerakoordináta r.

Normalizált
eszközkoordináta r.
Vágás

Képernyőkoordináta r.
Láthatóság + vetítés
Takarás és vetítés triviális!

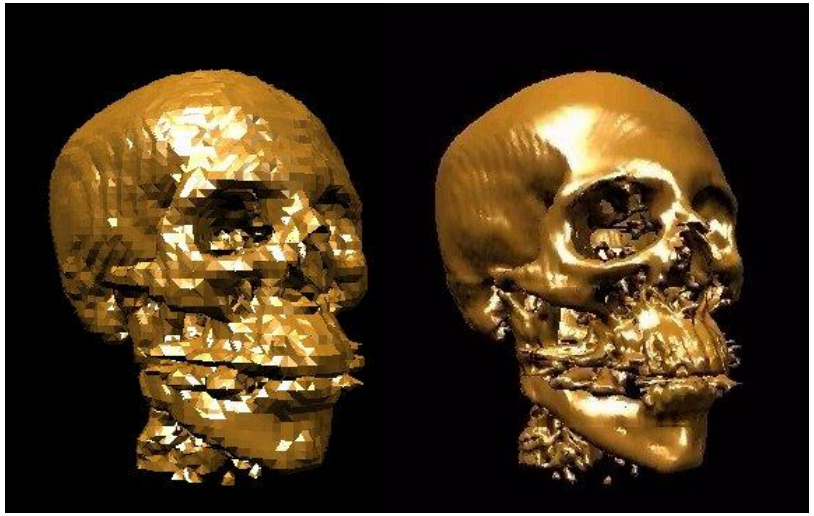
Árnyalt kép

“Order is repetition of units.
Chaos is multiplicity without rhythm.”

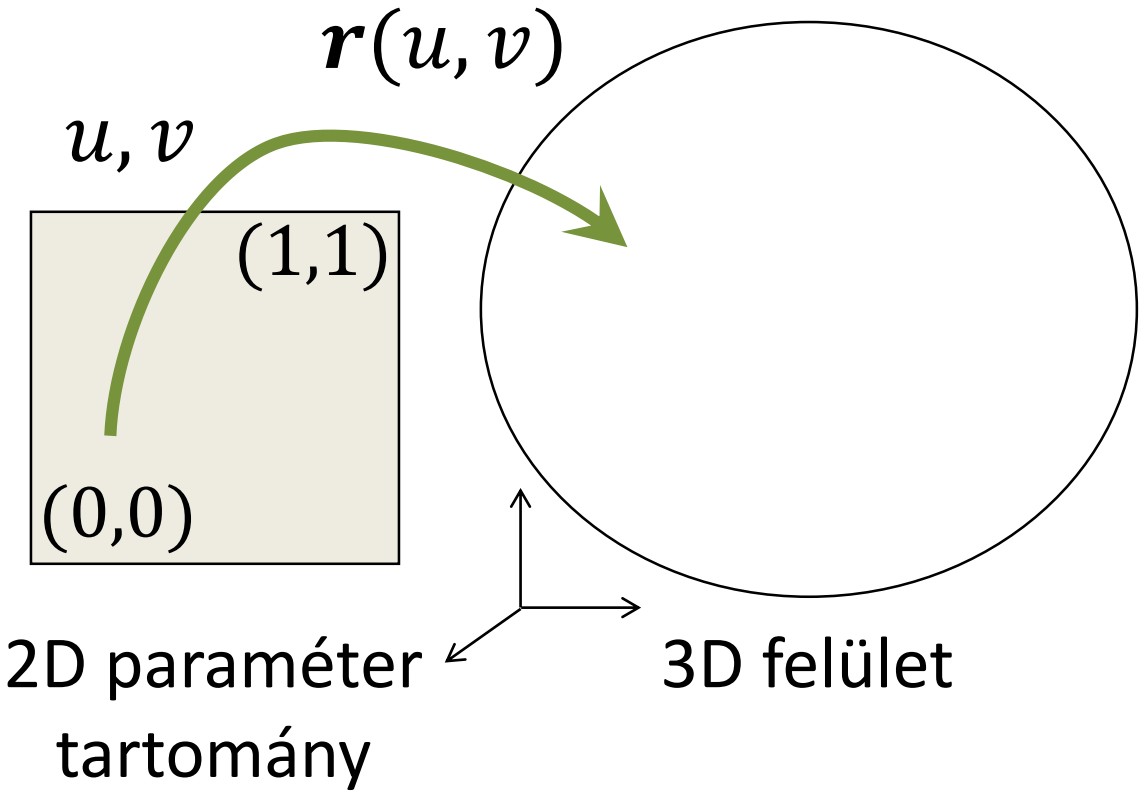
Maurits Cornelis Escher

Inkrementális 3D képszintézis
2. Geometria a GPU-nak

Szirmay-Kalos László

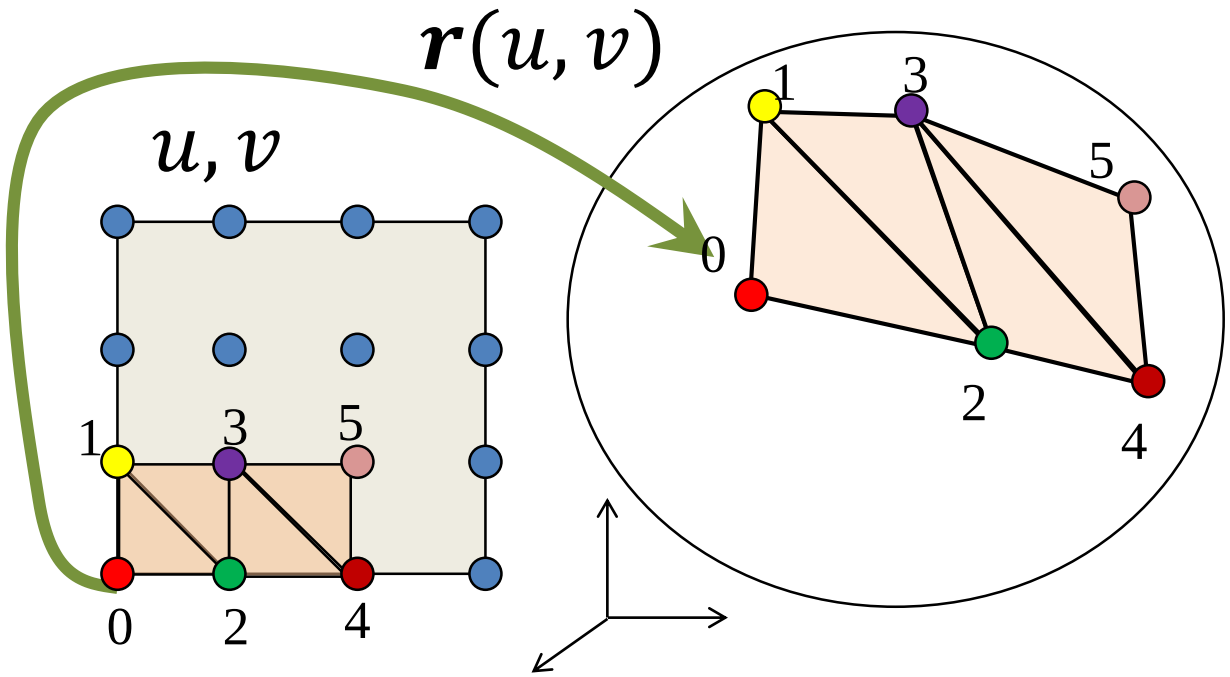


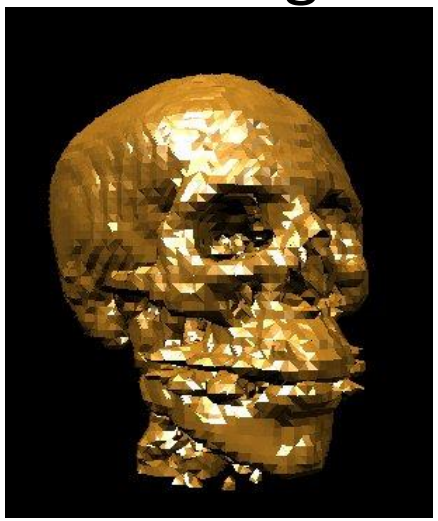
Parametrikus felületek tesszellációja



Parametrikus felületek tesszellációja

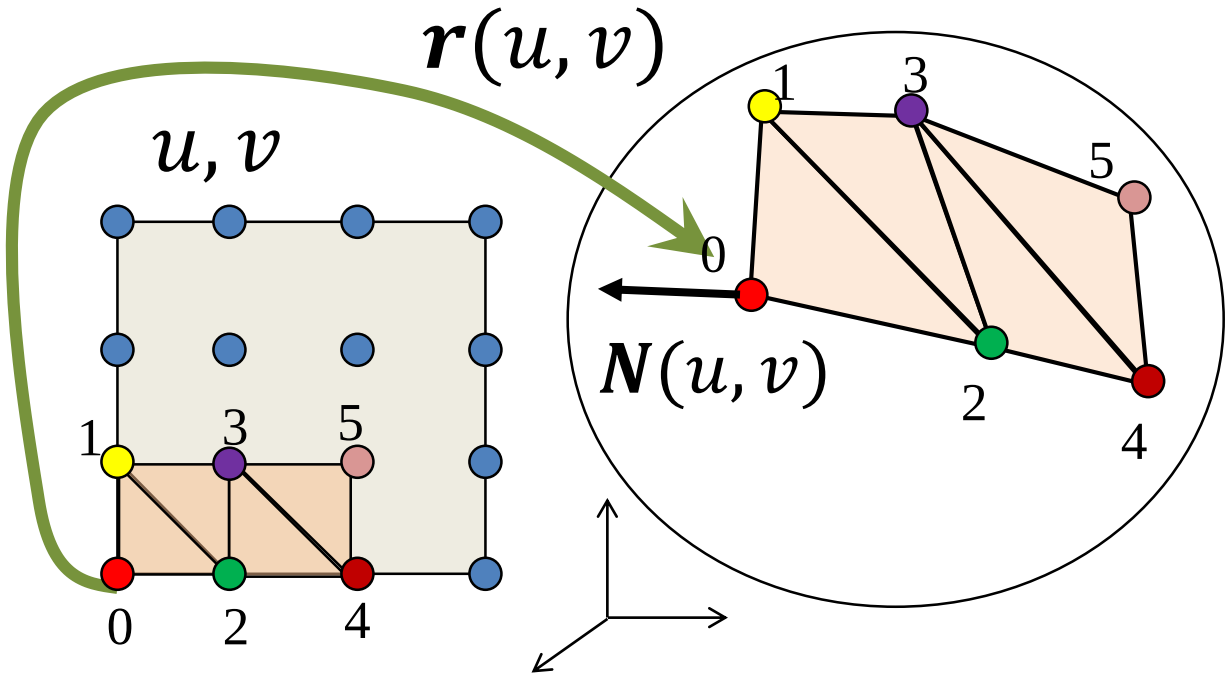
„Paramétertérben szomszédos” pontokból háromszögek

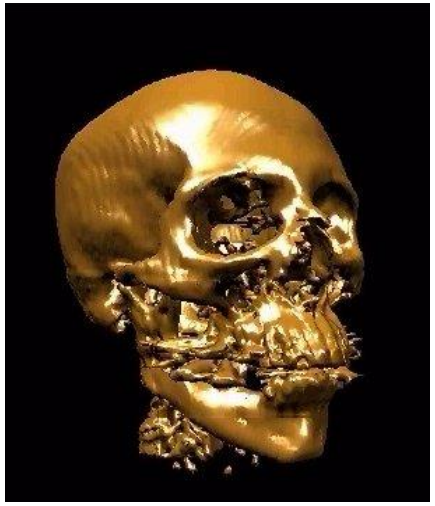




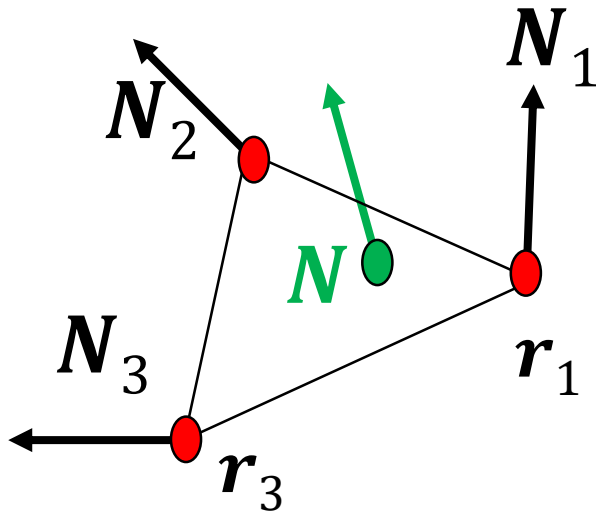
Parametrikus felületek tesszellációja

„Paramétertérben szomszédos” pontokból háromszögek





$$\boldsymbol{N} = \frac{\partial \boldsymbol{r}(u,v)}{\partial u} \times \frac{\partial \boldsymbol{r}(u,v)}{\partial v}$$



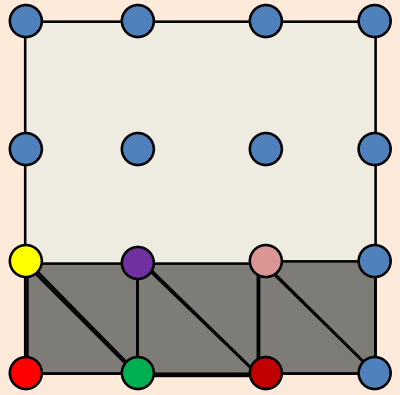
Árnyaló normálok

Objektumok az GPU-nak

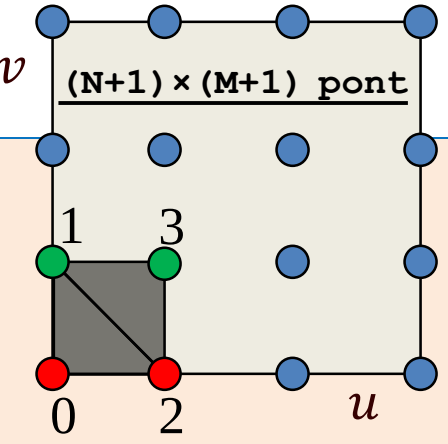
```
class Geometry {
protected:
    unsigned int vao, vbo;
public:
    Geometry() {
        glGenVertexArrays(1, &vao);
        glBindVertexArray(vao);
        glGenBuffers(1, &vbo);
    }
    virtual void Draw() = 0;
    ~Geometry() {
        glDeleteBuffers(1, &vbo);
        glDeleteVertexArrays(1, &vao);
    }
};
```

Parametrikus felületek GPU-nak

```
class ParamSurface : public Geometry {
   unsigned int nVtxStrip, nStrips;

   struct VertexData {
      vec3 pos, norm;
      vec2 tex;
   };

   virtual VertexData GenVertexData(float u, float v) = 0;

public:
   void Create(int N, int M);
   void Draw() {
     glBindVertexArray(vao);
     for (int i = 0; i < nStrips; i++)
        glDrawArrays(GL_TRIANGLE_STRIP, i*nVtxStrip, nVtxStrip);
   }
};
```

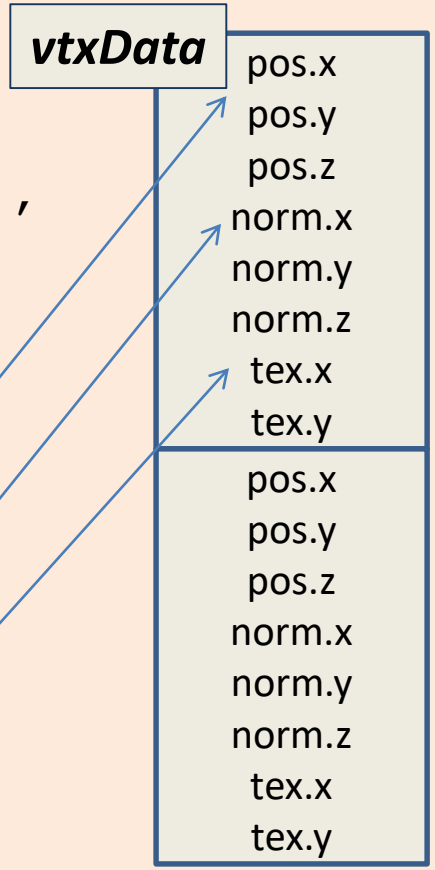


Parametrikus felület GPU-nak

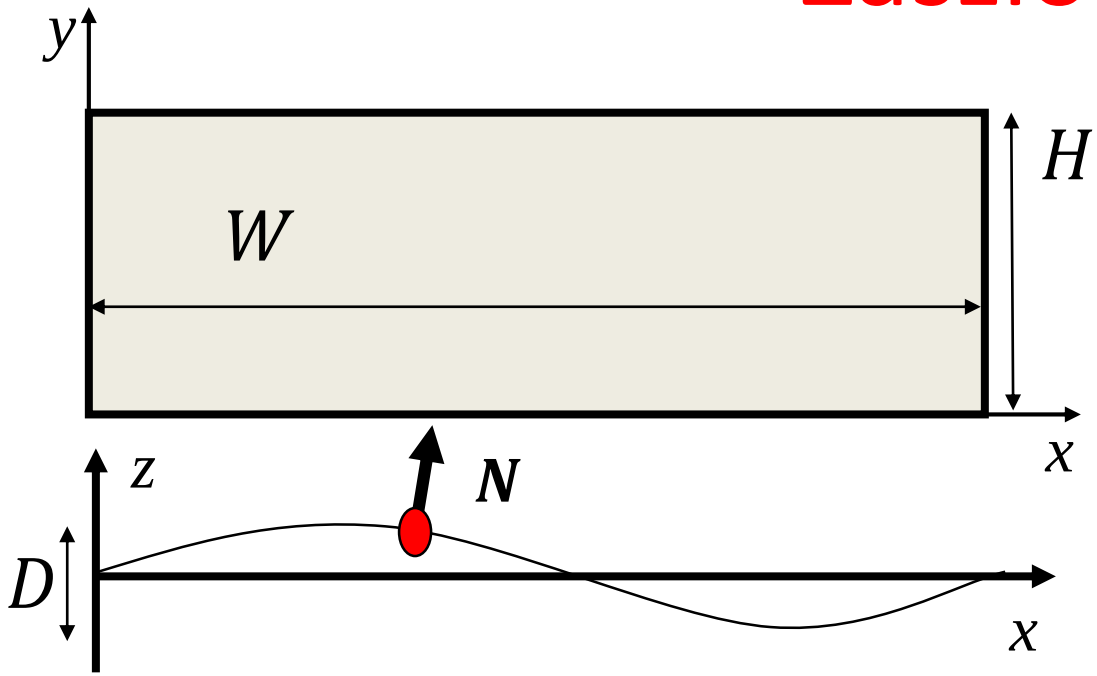


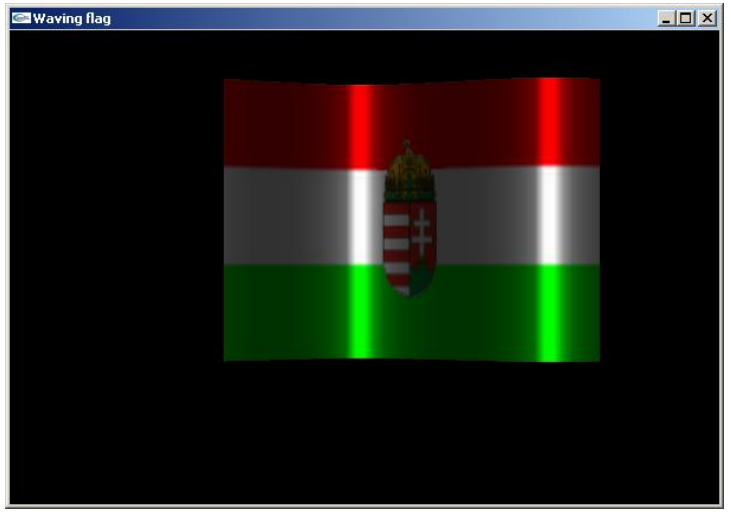

```
void ParamSurface::Create(int N, int M) {
    nVtxStrip = (M + 1) * 2; nStrips = N;
    vector<VertexData> vtxData; // CPU-n
    for (int i = 0; i < N; i++) for (int j = 0; j <= M; j++) {
        vtxData.push_back(GenVertexData((float)j/M, (float)i/N));
        vtxData.push_back(GenVertexData((float)j/M, (float)(i+1)/N));
    }
    glBindVertexArray(vao);
    glBindBuffer(GL_ARRAY_BUFFER, vbo);
    glBufferData(GL_ARRAY_BUFFER, vtxData.size() * sizeof(VertexData),
                 &vtxData[0], GL_STATIC_DRAW);
    glEnableVertexAttribArray(0); // AttArr 0 = POSITION
    glEnableVertexAttribArray(1); // AttArr 1 = NORMAL
    glEnableVertexAttribArray(2); // AttArr 2 = UV
    glVertexAttribPointer(0, 3, GL_FLOAT, GL_FALSE,
         sizeof(VertexData), (void*)offsetof(VertexData, pos));
    glVertexAttribPointer(1, 3, GL_FLOAT, GL_FALSE,
         sizeof(VertexData), (void*)offsetof(VertexData, norm));
    glVertexAttribPointer(2, 2, GL_FLOAT, GL_FALSE,
         sizeof(VertexData), (void*)offsetof(VertexData, tex));
}
```

u *v*



Zászló





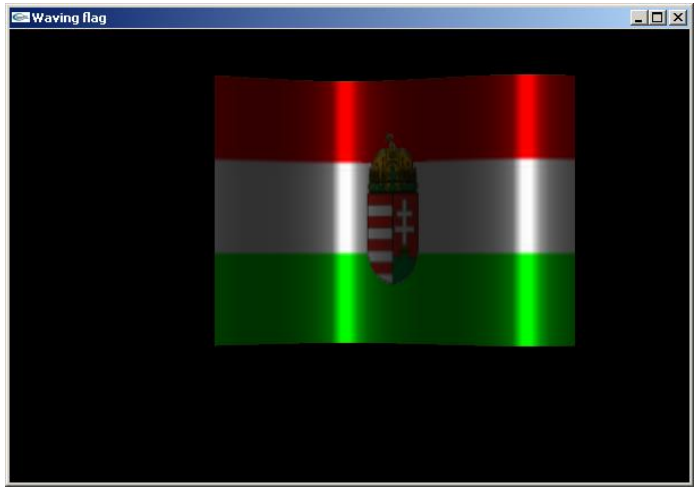
$$\boldsymbol{r}(u,v) = [uW, \quad vH, \quad D\sin(Ku+\alpha)]$$

$$\partial\boldsymbol{r}/\partial u = \begin{vmatrix} \boldsymbol{i} & \boldsymbol{j} & \boldsymbol{k} \\ W, & 0, & KD\cos(Ku+\alpha) \\ 0, & H, & 0 \end{vmatrix}$$

$$\partial\boldsymbol{r}/\partial v =$$

$$\boldsymbol{N}(u,v) = \partial\boldsymbol{r}/\partial u \times \partial\boldsymbol{r}/\partial v = [-HKD\cos(Ku+\alpha), 0, WH]$$

Zászló




```
class Flag : public ParamSurface {
   float W, H, D, K, phase;
public:

   VertexData GenVertexData(float u, float v)
      VertexData vd;
      vd.tex = vec2(u, v);
      float angle = u * K + phase;
      vd.pos = vec3(u * W, v * H, D * sin(angle));
      vd.norm = vec3(-K * D * cos(angle), 0, W);
      return vd;
   }
};
```

Geometria a GPU-nak

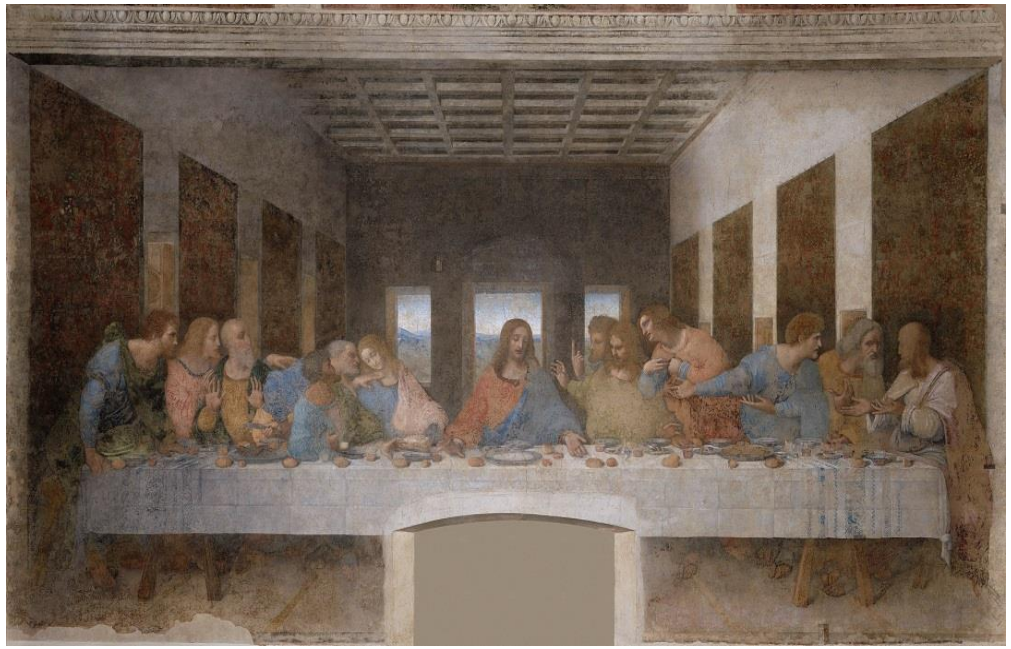
- A GPU egy VAO-ba szervezett VBO-kban háromszögeket vár, amit a CPU program legkönnyebben paraméteres felületek tesszellációjával készíthet el.
- Elsődlegesen a paraméterteret tesszelláljuk.
- A csúcspontokhoz árnyaló normálisok és textúra koordináták is tartozhatnak.
- A normálvektor a parciális deriváltak vektoriális szorzata (lásd: Felület modellezés és Automatikus deriválás fejezetek).
- A tesszellált háromszögháló kompakt tárolásához találták ki a GL_TRIANGLE_STRIP-et.

“The Matrix is everywhere. It is all around us. A prison for your mind.”

Morpheus

Inkrementális 3D képszintézis
3. Transzformációk

Szirmay-Kalos László



Transzformációk

Modellezési transzformáció:

$$[\boldsymbol{r}, 1]\,\boldsymbol{T}_{Model} = [\boldsymbol{r}_{world}, 1]$$

$$\boldsymbol{T}_{Model}^{-1}[\boldsymbol{N}, 0]^T = [\boldsymbol{N}_{world}, d]^T$$

Kamera transzformáció:

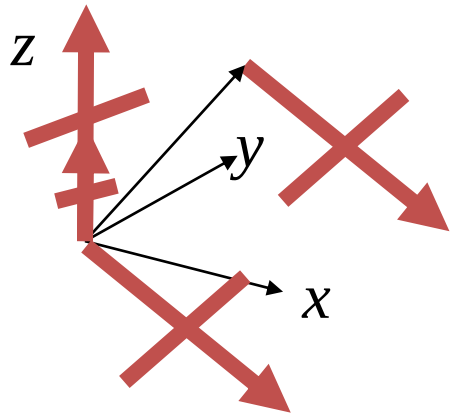
$$[\boldsymbol{r}_{world}, 1]\,\boldsymbol{T}_{View} = [\boldsymbol{r}_{camera}, 1]$$

Projektív transzformáció:

$$[\boldsymbol{r}_{camera}, 1]\,\boldsymbol{T}_{Proj} = [\boldsymbol{r}_{ndc} w, w]$$

MVP transzformáció: $\boldsymbol{T}_{Model}\boldsymbol{T}_{View}\boldsymbol{T}_{Proj} = \boldsymbol{T}_{MVP}$

Modellezési transzformáció



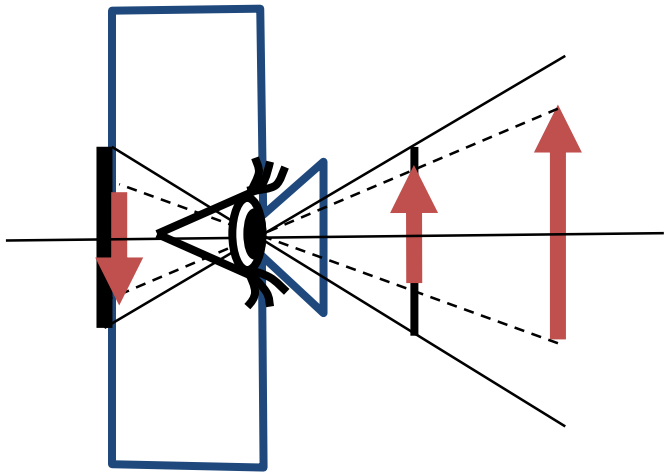
1. skálázás: s_x, s_y, s_z
2. orientáció: $\boldsymbol{d}, \varphi$
3. pozíció: $\boldsymbol{v}$

$$\boldsymbol{T}_{4\times4} = \begin{bmatrix} s_x & 0 & 0 & 0 \\ 0 & s_y & 0 & 0 \\ 0 & 0 & s_z & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \boldsymbol{i}'_x & \boldsymbol{i}'_y & \boldsymbol{i}'_z & 0 \\ \boldsymbol{j}'_x & \boldsymbol{j}'_y & \boldsymbol{j}'_z & 0 \\ \boldsymbol{k}'_x & \boldsymbol{k}'_y & \boldsymbol{k}'_z & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ v_x & v_y & v_z & 1 \end{bmatrix}$$

$$\boldsymbol{r}' = \boldsymbol{r}\cos(\varphi) + \boldsymbol{d}(\boldsymbol{r}\cdot\boldsymbol{d})(1-\cos(\varphi)) + \boldsymbol{d}\times\boldsymbol{r}\sin(\varphi)$$

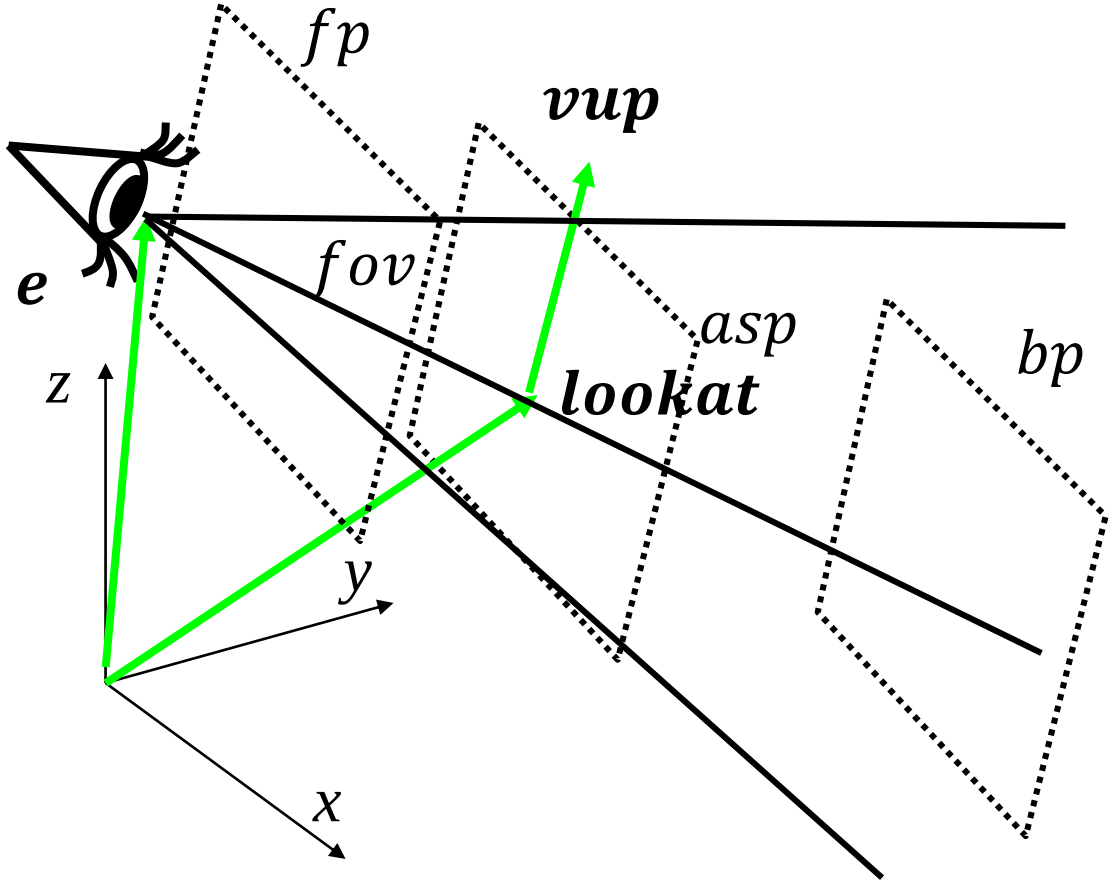
szem

Nézeti téglalap

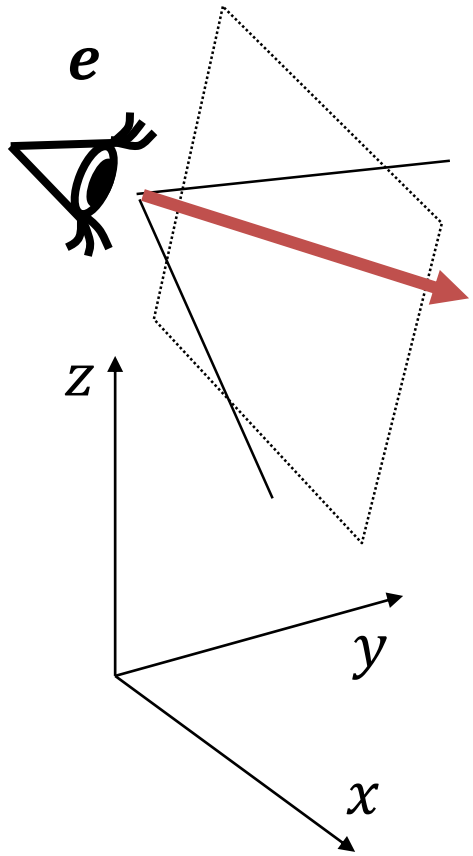


Mi: Camera obscura

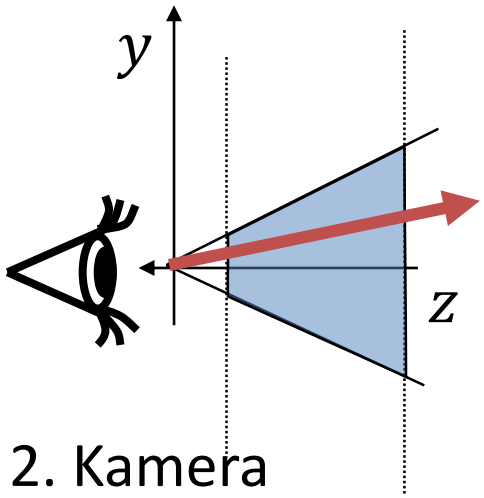
Kamera modell



Világból a képernyőre

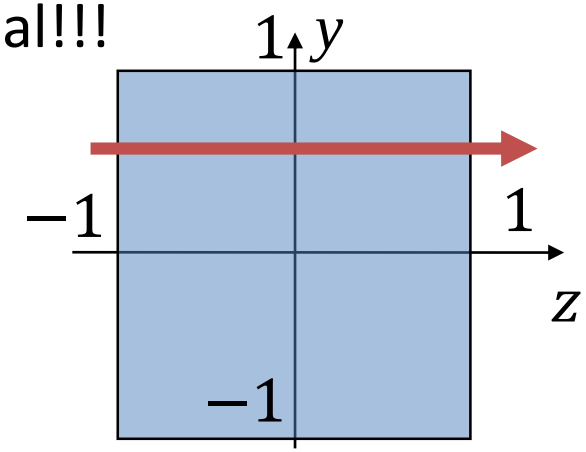


1. Világ

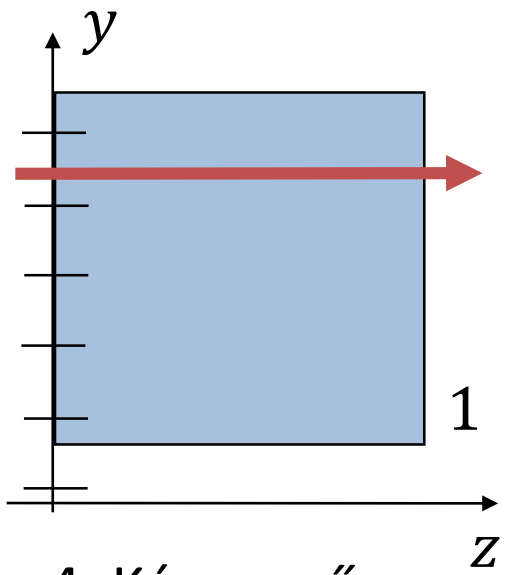


2. Kamera

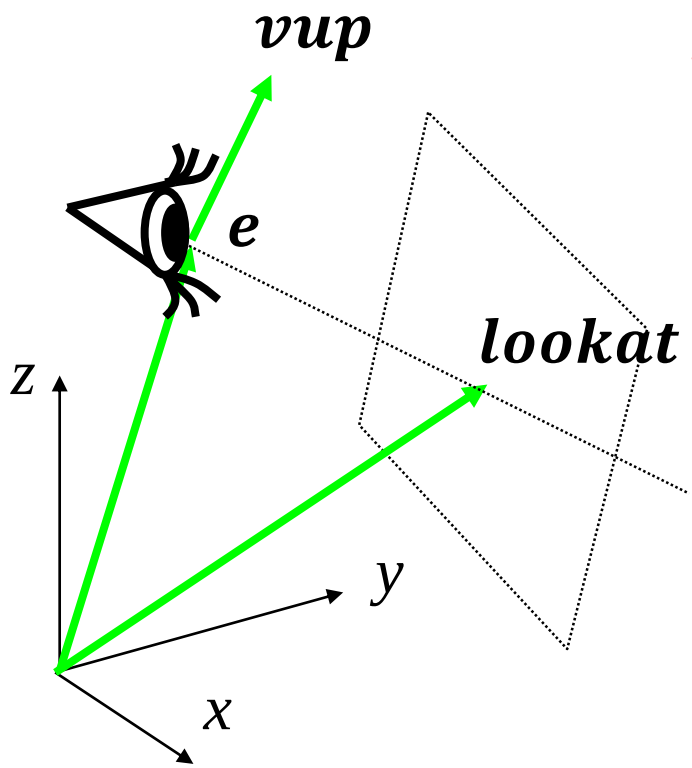
Bal!!!



3. Normalizált képernyő



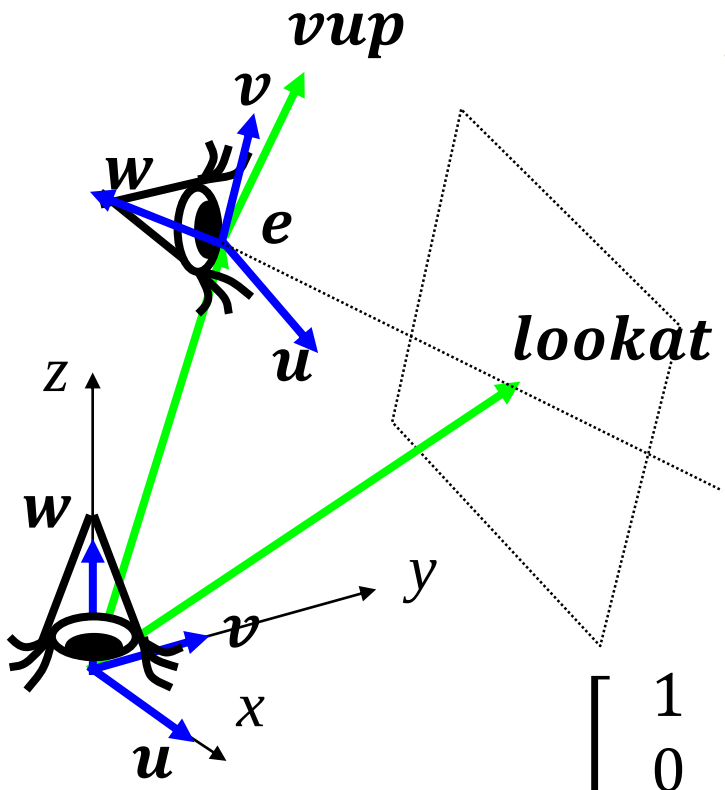
4. Képernyő



View transzformáció

$$\boldsymbol{w} = (\boldsymbol{e} - \boldsymbol{lookat})/|\boldsymbol{e} - \boldsymbol{lookat}|$$
$$\boldsymbol{u} = (\boldsymbol{vup} \times \boldsymbol{w})/|\boldsymbol{w} \times \boldsymbol{vup}|$$
$$\boldsymbol{v} = \boldsymbol{w} \times \boldsymbol{u}$$

View transzformáció

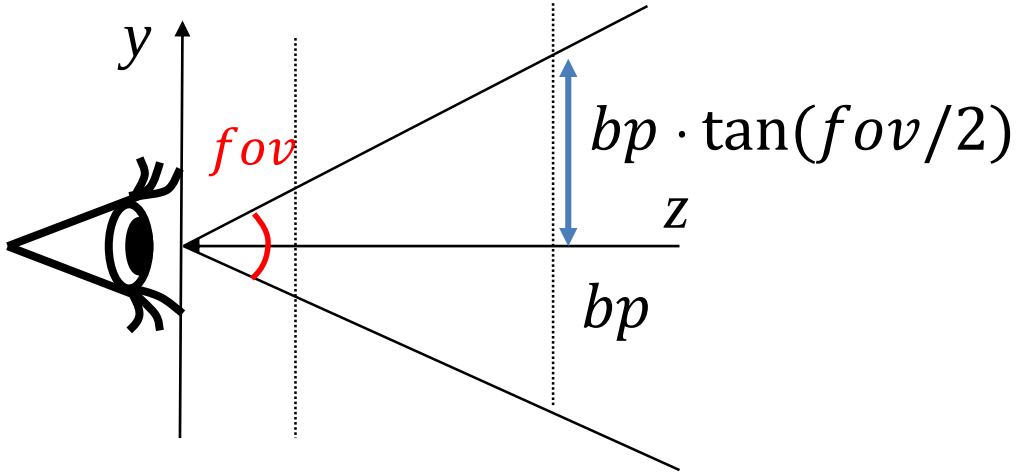


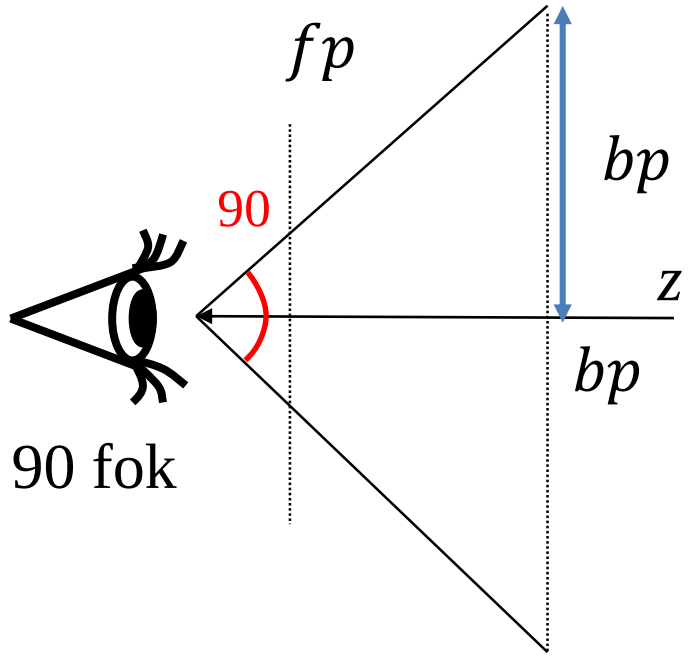
$$\boldsymbol{w} = (\boldsymbol{e} - \boldsymbol{lookat})/|\boldsymbol{e} - \boldsymbol{lookat}|$$
$$\boldsymbol{u} = (\boldsymbol{vup} \times \boldsymbol{w})/|\boldsymbol{w} \times \boldsymbol{vup}|$$
$$\boldsymbol{v} = \boldsymbol{w} \times \boldsymbol{u}$$

$$\begin{bmatrix} u_x & v_x & w_x & 0 \\ u_y & v_y & w_y & 0 \\ u_z & v_z & w_z & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$[x_c, y_c, z_c, 1] = [x, y, z, 1] \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ -e_x & -e_y & -e_z & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_x & u_y & u_z & 0 \\ v_x & v_y & v_z & 0 \\ w_x & w_y & w_z & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}^{-1}$$

Látószög normalizálás





S_x

$$\begin{bmatrix} 1/(\tan(fov/2)\,asp) & 0 & 0 & 0 \\ 0 & & & \\ 0 & & & \\ 0 & & & \end{bmatrix}$$

S_y

$$\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 1/\tan(fov/2) & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

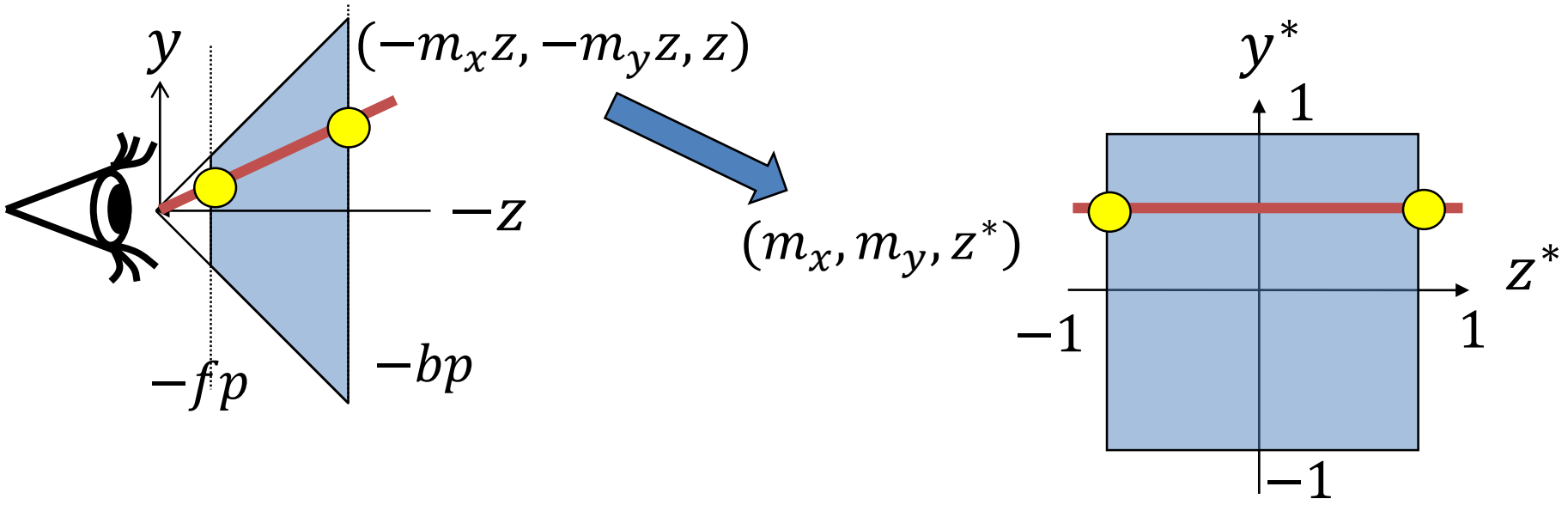
2D egyenes explicit egyenlete:

$$y = mx + b$$

Origón átmenő: $y = mx$

Vízszintes: $y = b$

Normalizálás utáni perspektív transzformáció



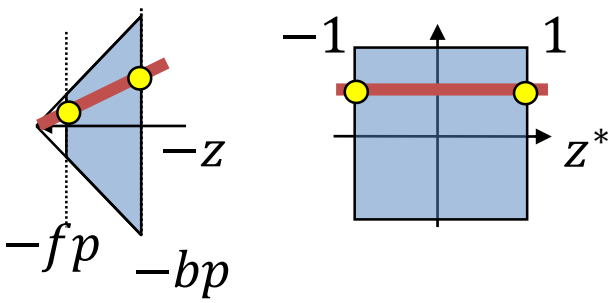
Normalizált kamera

Normalizált képernyő: NDC

$$(-m_x z, -m_y z, z) \rightarrow (m_x, m_y, z^*)$$

$$[-m_x z, -m_y z, z, 1] \rightarrow [m_x, m_y, z^*, 1] \sim [-m_x z, -m_y z, -z z^*, -z]$$

Perspektív transzformáció



$$\boldsymbol{T}_{Persp} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \alpha & -1 \\ 0 & 0 & \beta & 0 \end{bmatrix}$$

$$[-m_x z, -m_y z, z, 1] \cdot [-m_x z, -m_y z, -zz^*, -z]$$

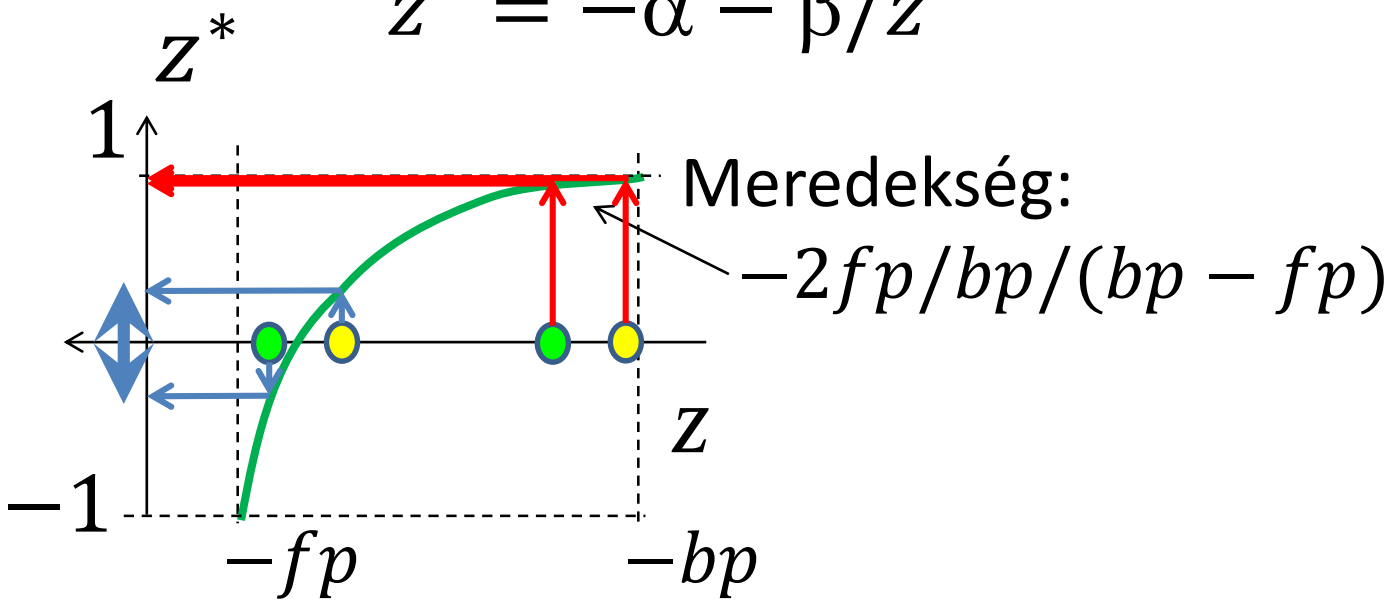
$$-zz^* = \alpha z + \beta \quad \rightarrow \quad \boxed{z^* = -\alpha - \beta/z}$$

$$fp(-1) = \alpha(-fp) + \beta$$
$$bp(1) = \alpha(-bp) + \beta$$

$$\boxed{\begin{aligned} \alpha &= -(fp + bp)/(bp - fp) \\ \beta &= -2fp \cdot bp/(bp - fp) \end{aligned}}$$

Z-fighting

$$z^* = -\alpha - \beta/z$$

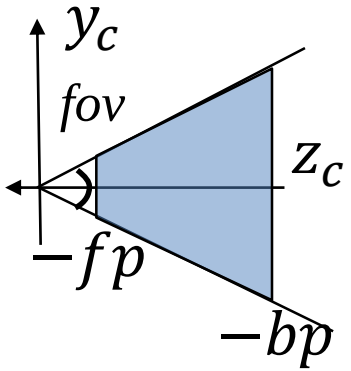


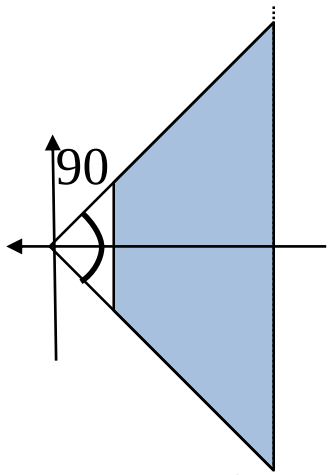
Meredekség:

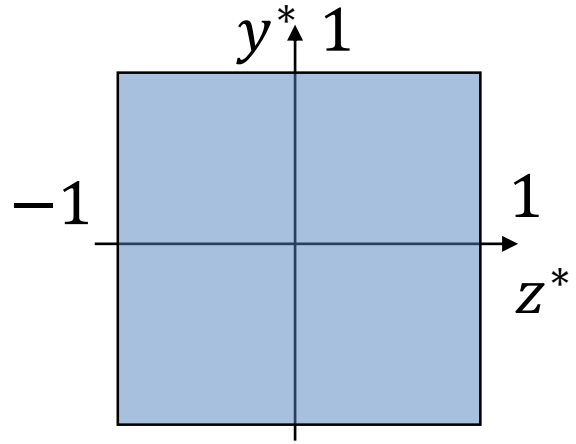
$$-2fp/bp/(bp - fp)$$

fp/bp nem lehet kicsi!

Projekció (perspektív) transzformáció







$$\boldsymbol{T}_{Proj} = \begin{bmatrix} s_x & 0 & 0 & 0 \\ 0 & s_y & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -(fp+bp)/(bp-fp) & -1 \\ 0 & 0 & -2fp \cdot bp/(bp-fp) & 0 \end{bmatrix}$$

$$[x_c, y_c, z_c, 1] \cdot [X, \quad Y, \quad Z, \quad w]$$

Perspektív torzítás = homogén osztás

$$(x^*, y^*, z^*) = (X/w, Y/w, Z/w)$$

$$w = -z_c$$

Camera osztály

```
class Camera {
   vec3  wEye, wLookat, wVup; // extrinsic parameters
   float fov, asp, fp, bp;    // intrinsic parameters
public:
   mat4 V() { // view matrix
      vec3 w = normalize(wEye - wLookat);
      vec3 u = normalize(cross(wVup, w));
      vec3 v = cross(w, u);
      return TranslateMatrix(-wEye) * mat4( u.x, v.x, w.x, 0,
                                            u.y, v.y, w.y, 0,
                                            u.z, v.z, w.z, 0,
                                              0,   0,   0, 1);
   }
   mat4 P() { // projection matrix
      float sy = 1/tanf(fov/2);
      return mat4(sy/asp, 0,     0,                0,
                  0,      sy,    0,                0,
                  0,      0, -(fp+bp)/(bp-fp), -1,
                  0,      0, -2*fp*bp/(bp-fp),  0);
   }
};
```

Transzformációk előkészítése a CPU-n

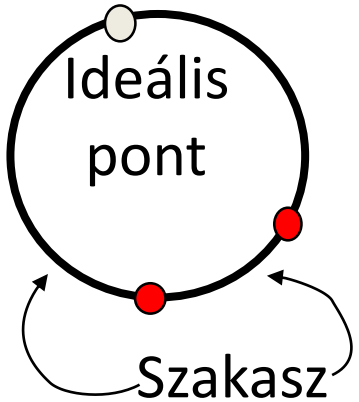
```
void Draw() {
   mat4 M = ScaleMatrix(scale) *
            RotationMatrix(rotAng, rotAxis) *
            TranslateMatrix(pos);
   mat4 Minv = TranslateMatrix(-pos) *
               RotationMatrix(-rotAngle, rotAxis) *
               ScaleMatrix(1/scale);

   mat4 MVP = M * camera.V() * camera.P();

   shader->setUniform(M, "M");
   shader->setUniform(Minv, "Minv");
   shader->setUniform(MVP, "MVP");

   glBindVertexArray(vao);
   glDrawArrays( . . . );
}
```

Transzformációk végrehajtása a GPU vertex árnyalójában

```
uniform mat4 M, Minv, MVP;
layout(location = 0) in vec3 vtxPos;
layout(location = 1) in vec3 vtxNorm;

out vec4 color;

void main() {
   gl_Position = vec4(vtxPos, 1) * MVP;

   vec4 wPos = vec4(vtxPos, 1) * M;
   vec4 wNormal = Minv * vec4(vtxNorm, 0);
   color = Illumination(wPos, wNormal);
}
```

3D vágás homogén koordinátákban (GPU)

Homogén koordinátákban kell vágni



$$[X(t), Y(t), Z(t), w(t)] = [X_1, Y_1, Z_1, w_1](1-t) + [X_2, Y_2, Z_2, w_2]t$$

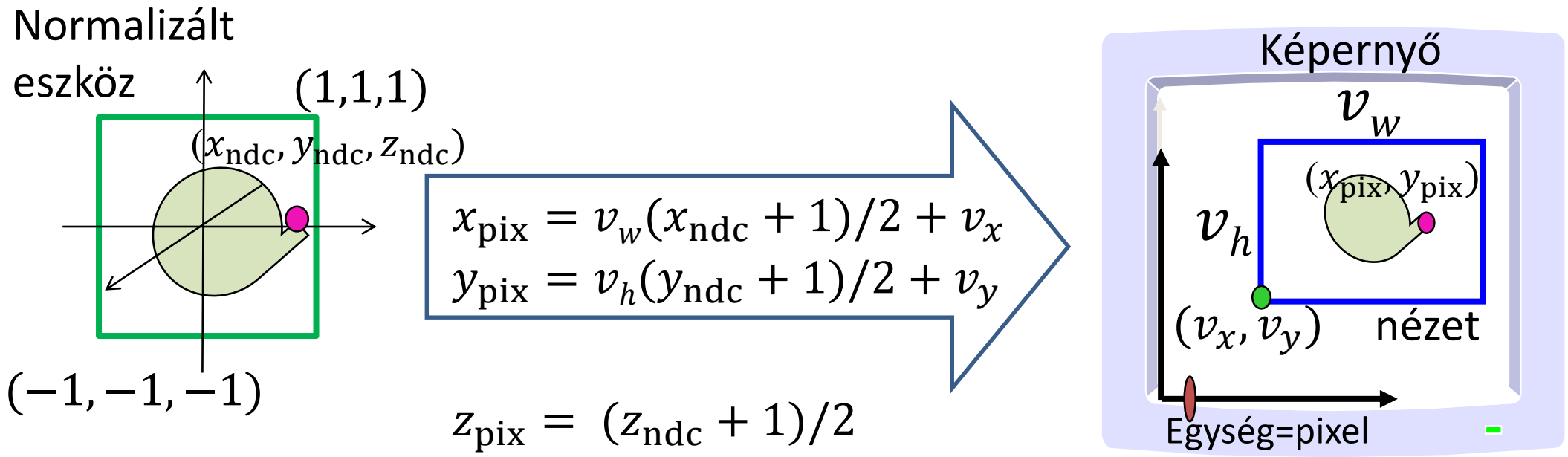
$$\begin{aligned} -1 < x = X/w < 1 \\ -1 < y = Y/w < 1 \\ -1 < z = Z/w < 1 \end{aligned}$$

$w > 0$

$$\begin{aligned} -w < X < w \\ -w < Y < w \\ -w < Z < w \end{aligned}$$

Mert $w = -z_c > 0$ a szem előtt

Viewport transzformáció: Normalizáltból képernyő koordinátákba (GPU)




```
glViewport(vx, vy, vw, vh)
```

Transzformációs csővezeték

- Transzformációk 4x4-es mátrixok szorzata:
  - Modell, Modell-inverz, MVP
- A CPU-n az egyes transzformációkat külön-külön számítjuk ki, majd a szorzatot adjuk át a csúcspont árnyalónak.
- A transzformációk homogén koordinátákat transzformálnak, a vágást is homogén koordinátákban kell megcsinálni.
- A vágás után visszatérhetünk Descartes koordinátákhoz.

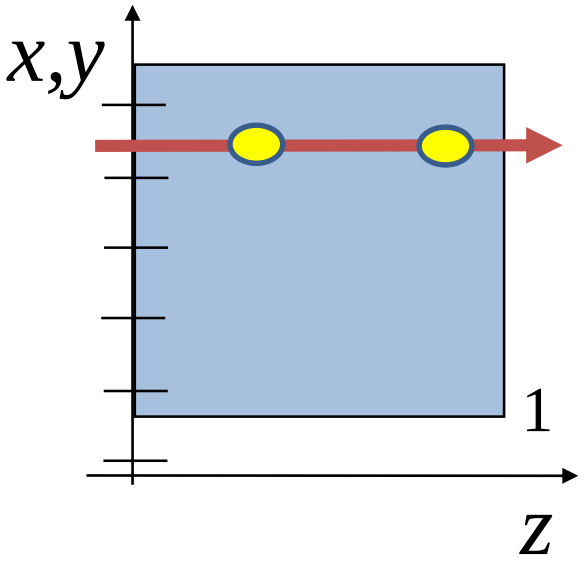
“If you can't make it good, at least make it look good.”

Bill Gates

Inkrementális 3D képszintézis
4. Láthatóság és árnyalás

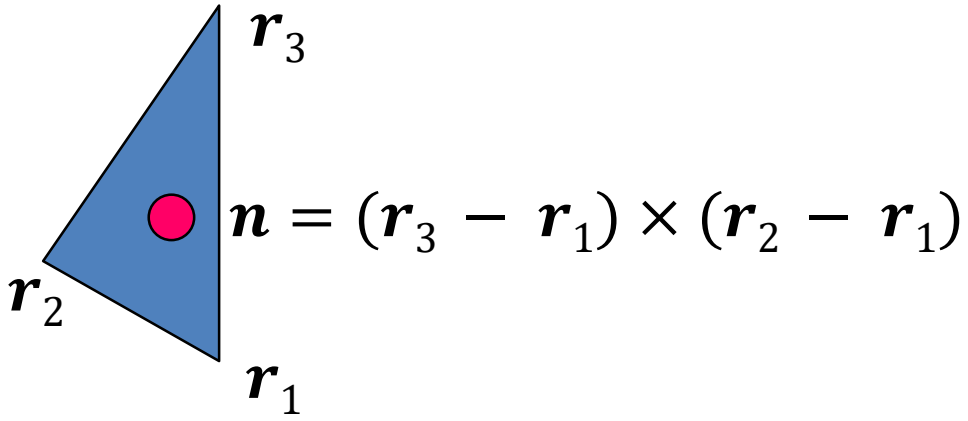
Szirmay-Kalos László

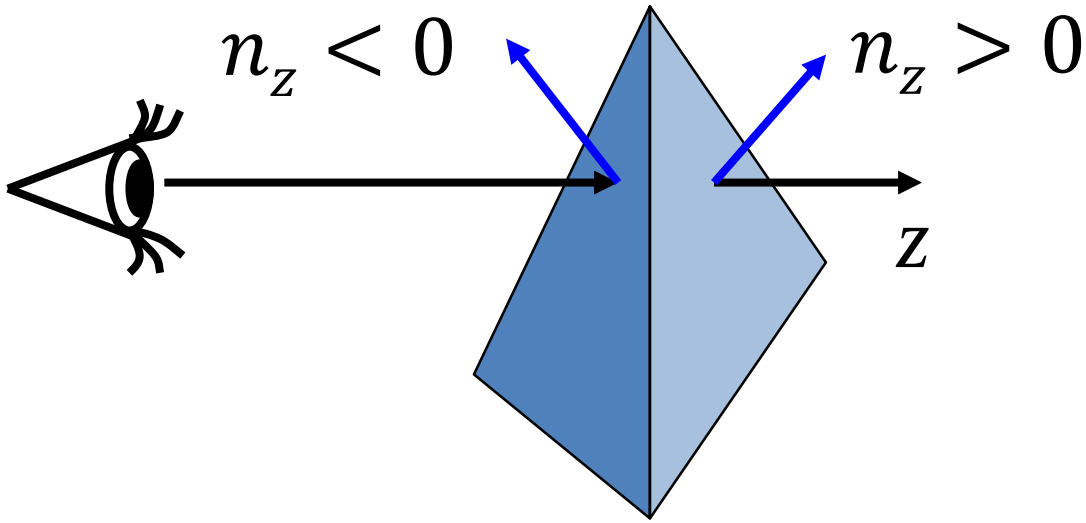
Takarás



- Képernyő koordinátarendszerben
  - **<u>vetítősugarak a *z* tengellyel párhuzamosak</u>**!
  - Sugárparaméter = z koordináta
  - (x,y,z) pont az (x,y) pixelben látszik
- Objektumtér algoritmusok (folytonos):
  - láthatóság számítás nem függ a felbontástól
- Képtér algoritmusok (diszkrét):
  - mi látszik egy pixelben
  - Sugárkövetés ilyen volt!

Hátsólab eldobás: back-face culling





Valódi 3D testek!

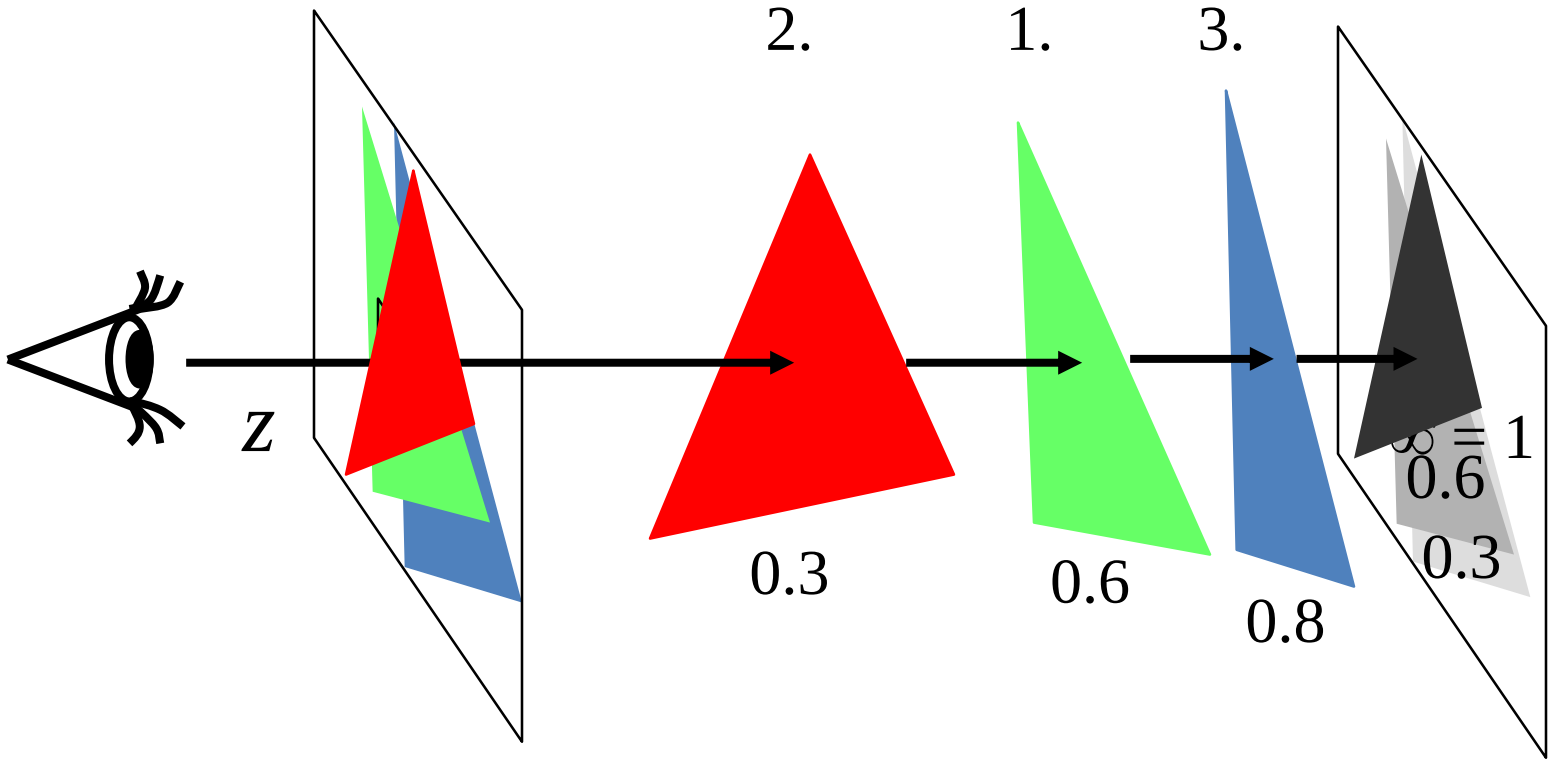
Lapok a nézeti irányban:

- Kívülről: lap, objektum: elülső oldal
- Belülről: objektum, lap: hátsó oldal

Feltételezés:

Ha kívülről, akkor csúcsok óramutatóval megegyező körüljárásúak

Z-buffer algoritmus

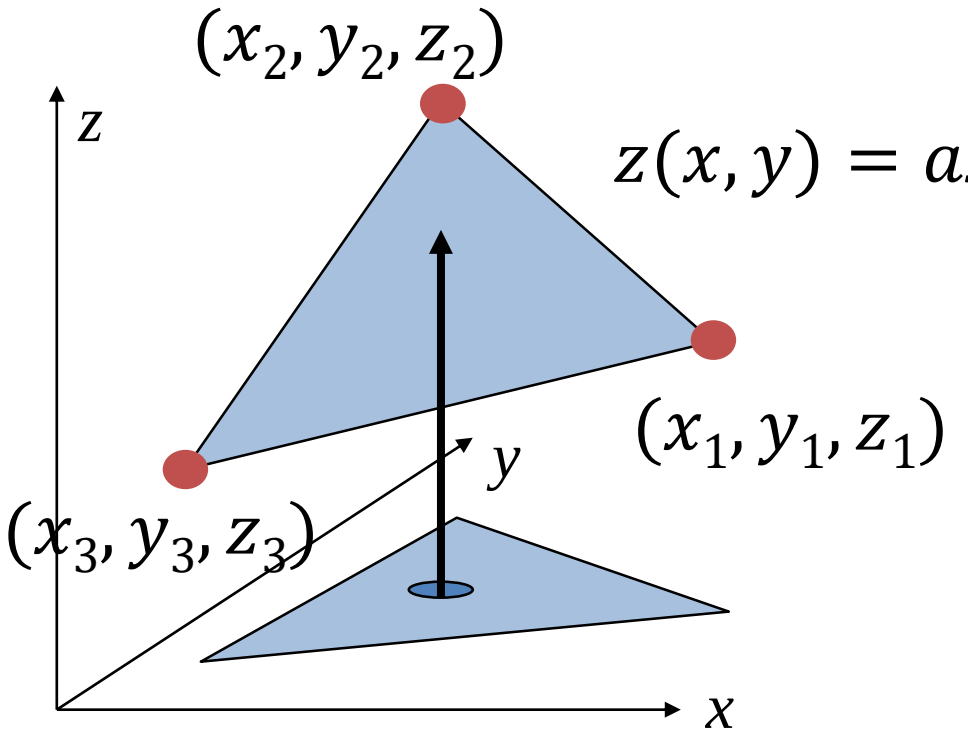


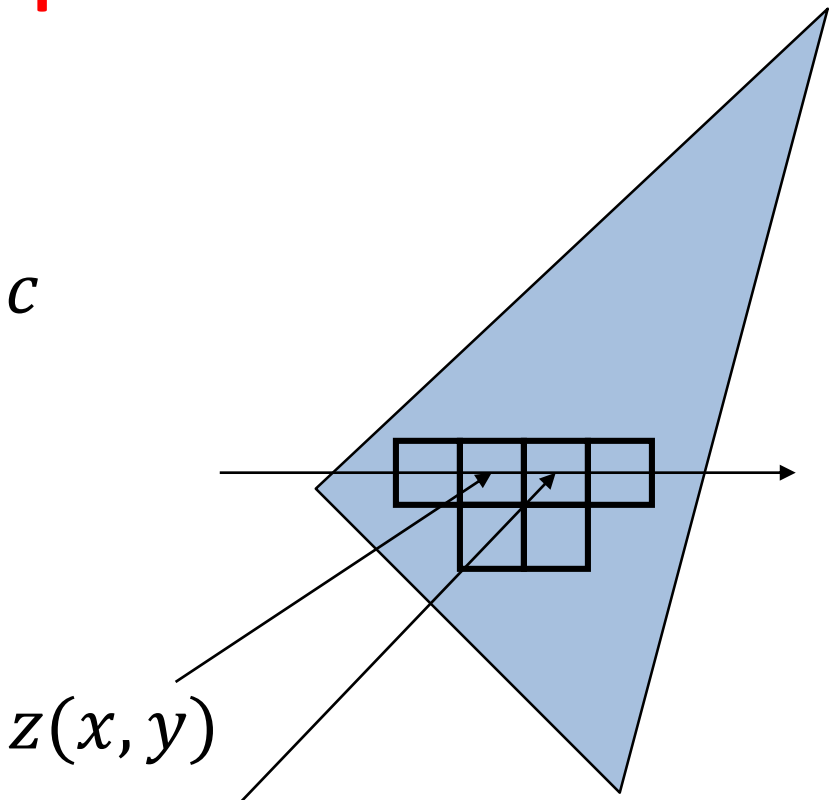
Szín buffer

Mélység buffer (Z-buffer)

= sugárparaméterek pixelenként

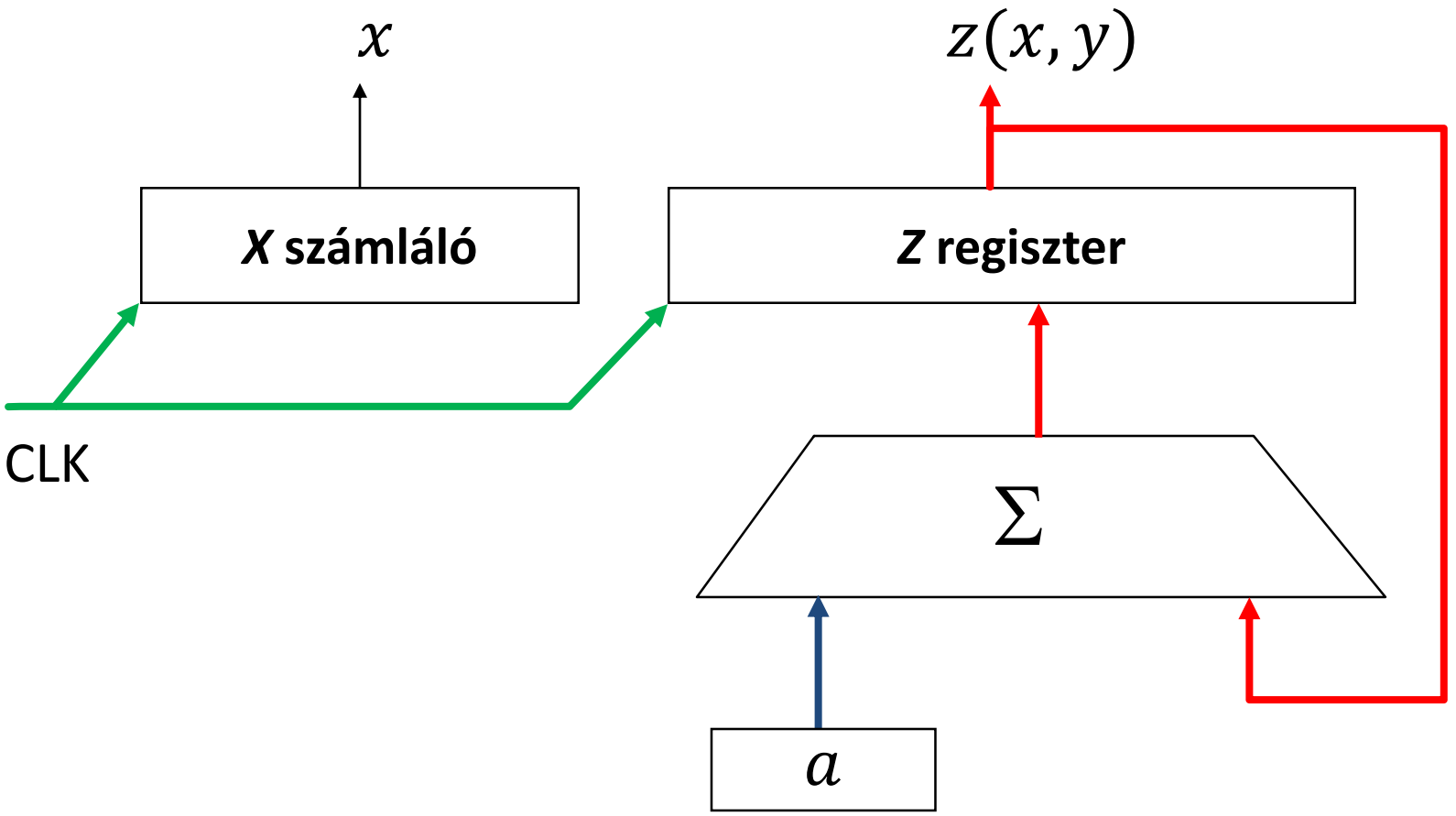
Z: lineáris interpoláció



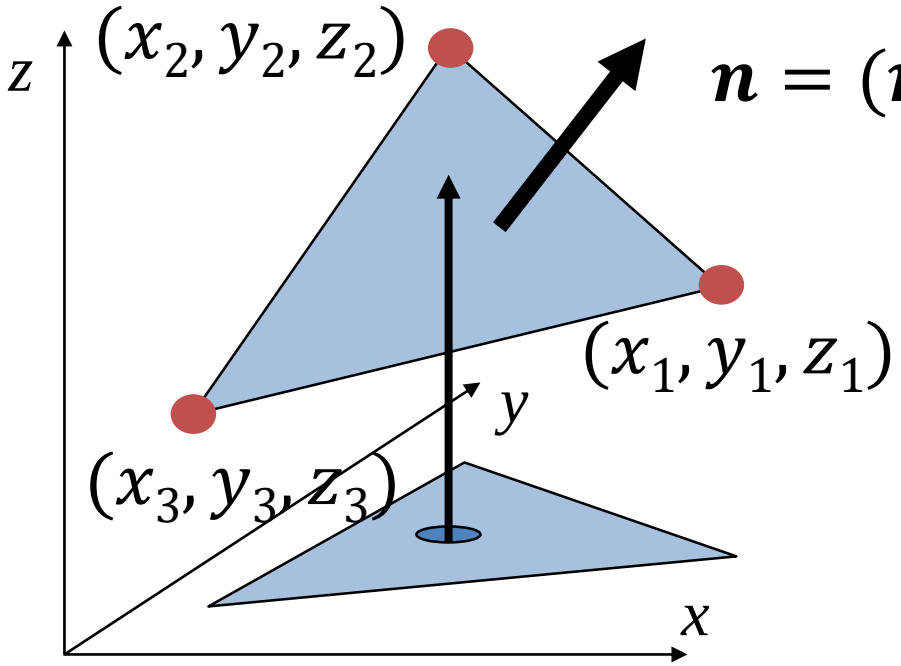


$$z(x + 1, y) = z(x, y) + a$$

Z-interpolációs hardver



Triangle setup



$$\boldsymbol{n} = (\boldsymbol{r}_3 - \boldsymbol{r}_1) \times (\boldsymbol{r}_2 - \boldsymbol{r}_1)$$

$$z(x, y) = ax + by + c$$
$$n_x x + n_y y + n_z z + d = 0$$

$$a = \frac{-n_x}{n_z}$$

Takarás OpenGL-ben

```
int main(int argc, char * argv[]) {
  …
  glutInitDisplayMode(GLUT_RGBA | GLUT_DOUBLE | GLUT_DEPTH);
  glEnable(GL_DEPTH_TEST); // z-buffer is on
  glDisable(GL_CULL_FACE); // backface culling is off
  …
}

void onDisplay() {
   glClear(GL_COLOR_BUFFER_BIT | GL_DEPTH_BUFFER_BIT);

   rajzolás…

   glutSwapBuffers();   // exchange the two buffers
}
```

Árnyalás: Lokális illumináció árnyék nélkül

$$L(\boldsymbol{V}) \approx \sum_l L^{in}{}_l \ * f_r(\boldsymbol{L}_l, \boldsymbol{N}, \boldsymbol{V}) \cdot \cos^{+}\theta^{in}{}_l$$

- Koherencia: ne mindent pixelenként

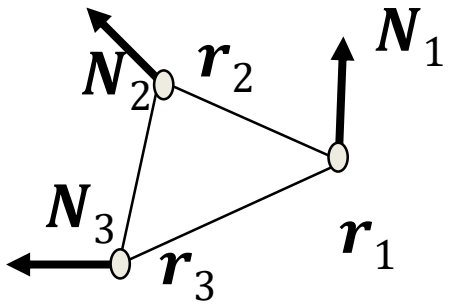
- **Csúcspontonként**: belül az *L* „szín” interpolációja:

  Gouraud árnyalás (per-vertex shading)

- **Pixelenként:** belül a **N**ormál (**V**iew, **L**ight) vektort interpoláljuk:

  Phong árnyalás (per-pixel shading)

Per-vertex (Gouraud) árnyalás

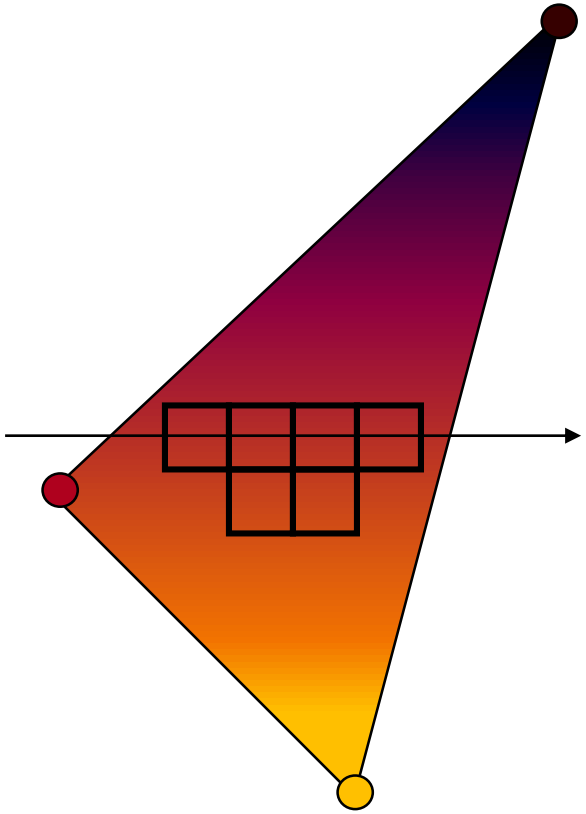


M: Modell

$$L(\boldsymbol{V}) \approx \sum_l {L^{in}}_l * f_r(\boldsymbol{L}_l, \boldsymbol{N}, \boldsymbol{V}) \cdot \cos^+ \theta^{in}{}_l$$

(per-vertex shading)

VP +
viewport



Képernyő

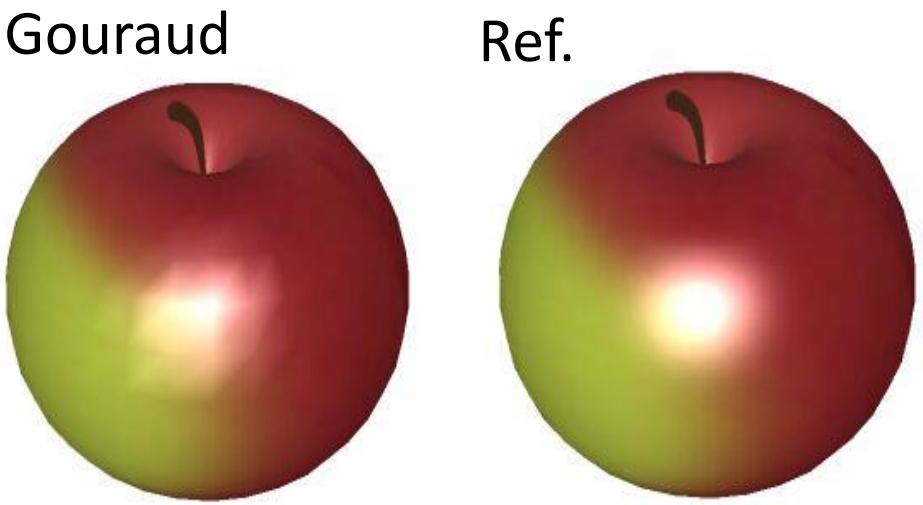
Per-vertex shading: Vertex shader

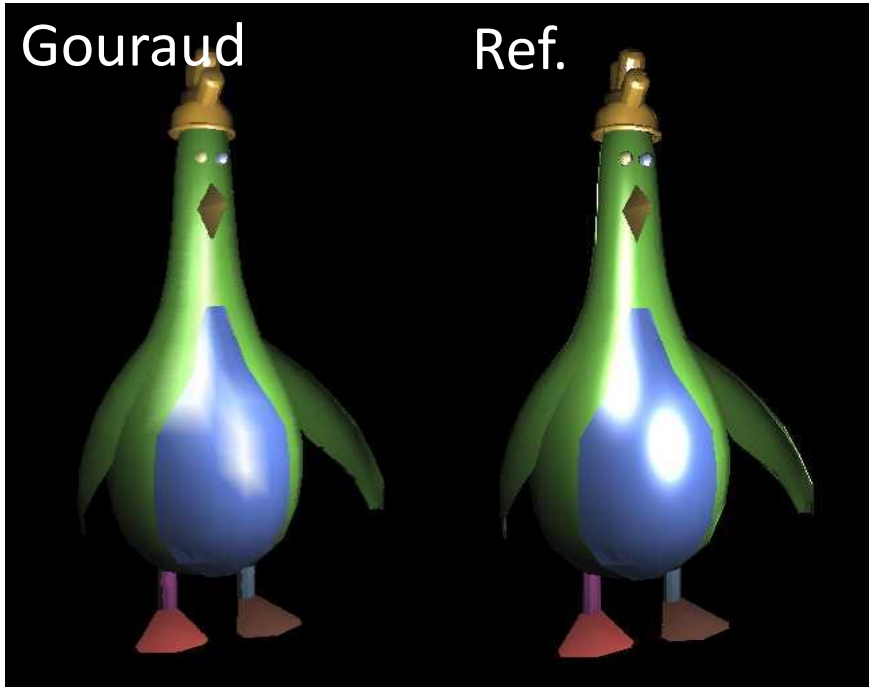
```
uniform mat4  MVP, M, Minv; // MVP, Model, Model-inverse
uniform vec4  kd, ks, ka;   // diffuse, specular, ambient ref
uniform float shine;        // shininess for specular ref
uniform vec4  La, Le;       // ambient and point sources
uniform vec4  wLiPos;       // pos of light source in world
uniform vec3  wEye;         // pos of eye in world

layout(location = 0) in vec3 vtxPos;  // pos in modeling space
layout(location = 1) in vec3 vtxNorm; // normal in modeling space
out vec4 color;               // computed vertex color

void main() {
   gl_Position = vec4(vtxPos, 1) * MVP; // to NDC

   vec4 wPos = vec4(vtxPos, 1) * M;
   vec3 L = normalize( wLiPos.xyz/wLiPos.w - wPos.xyz/wPos.w);
   vec3 V = normalize(wEye - wPos.xyz/wPos.w);
   vec4 wNormal = Minv * vec4(vtxNorm, 0);
   vec3 N = normalize(wNormal.xyz);
   vec3 H = normalize(L + V);
   float cost = max(dot(N, L), 0), cosd = max(dot(N, H), 0);
   color = ka * La + (kd * cost + ks * pow(cosd, shine)) * Le;
}
```

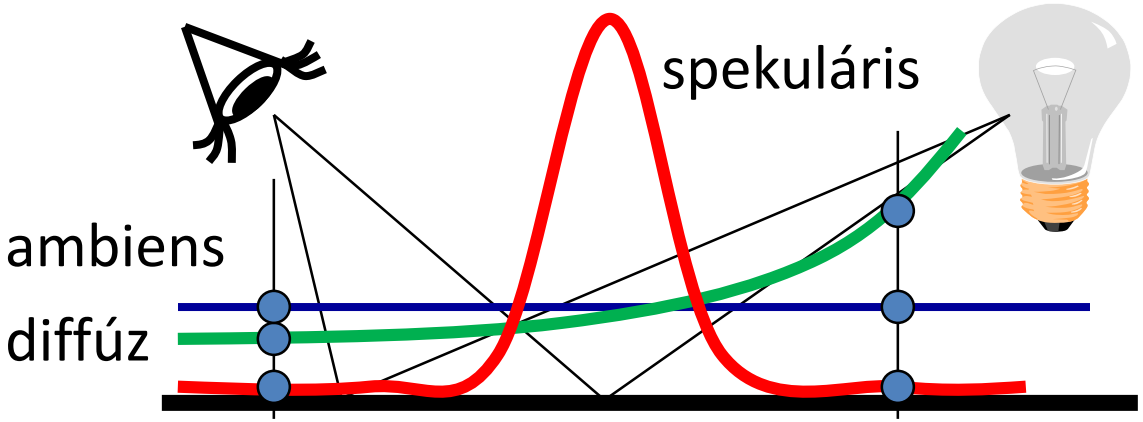
Per-vertex shading: Pixel shader

```
in vec4 color;           // interpolated color of vertex shader
out vec4 fragmentColor; // output goes to frame buffer

void main() {
   fragmentColor = color;
}
```

(Henri) Gouraud árnyalás problémái





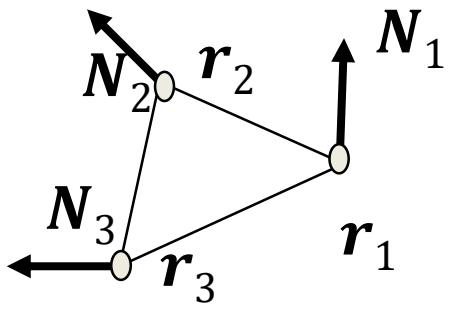


<u>További bajok:</u>

- anyagtulajdonság konstans
- árnyék nincs

különben a színt nem lehet interpolálni

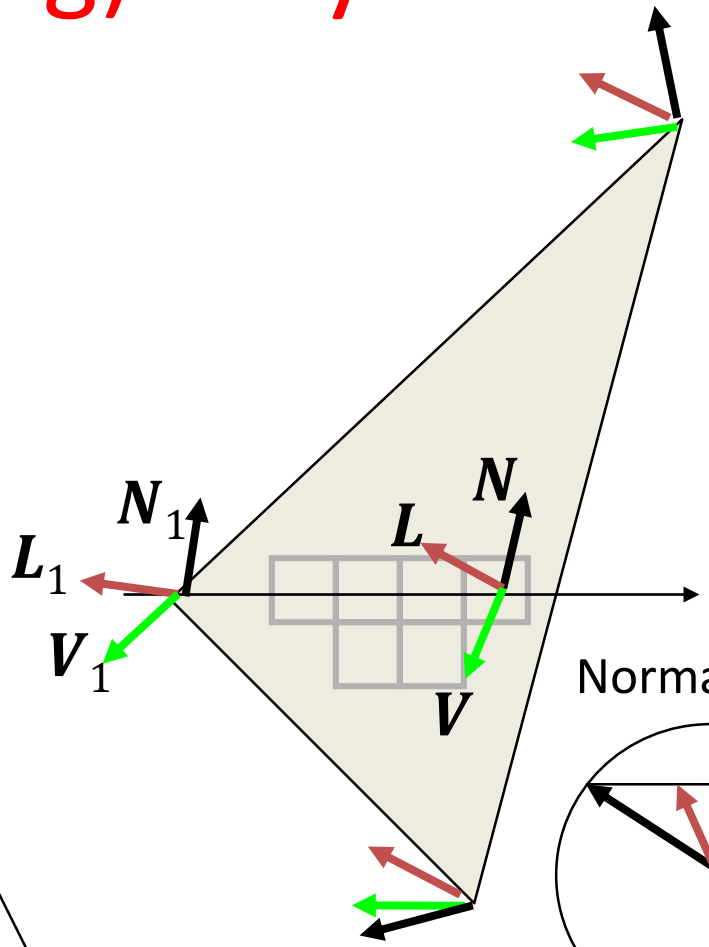
Per-pixel (Phong) árnyalás



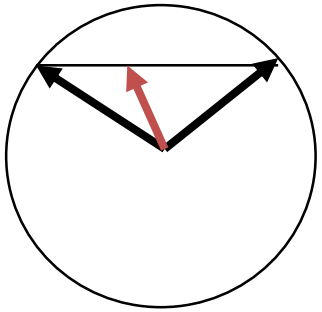
M: Modell

Vektor másolás

VP +
viewport



Normalizálás!



(per-pixel shading)

Képernyő

$$L(\boldsymbol{V}) \approx \sum_l L^{in}{}_l \; * f_r(\boldsymbol{L}_l, \boldsymbol{N}, \boldsymbol{V}) \cdot \cos^{+}\theta^{in}{}_l$$

Per-pixel shading: Vertex shader

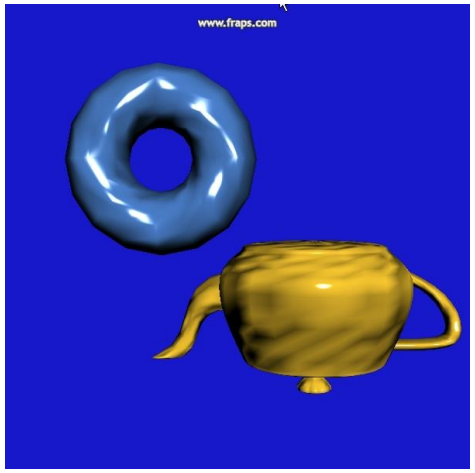
```
uniform mat4  MVP, M, Minv; // MVP, Model, Model-inverse
uniform vec4  wLiPos;       // pos of light source
uniform vec3  wEye;         // pos of eye

layout(location = 0) in vec3 vtxPos; // pos in model sp
layout(location = 1) in vec3 vtxNorm;// normal in mod sp

out vec3 wNormal;           // normal in world space
out vec3 wView;             // view in world space
out vec3 wLight;            // light dir in world space

void main() {
    gl_Position = vec4(vtxPos, 1) * MVP; // to NDC

    vec4 wPos = vec4(vtxPos, 1) * M;
    wLight  = wLiPos.xyz/wLiPos.w - wPos.xyz/wPos.w;
    wView   = wEye - wPos.xyz/wPos.w;
    wNormal = (Minv * vec4(vtxNorm, 0)).xyz;
}
```

Per-pixel shading: Pixel shader

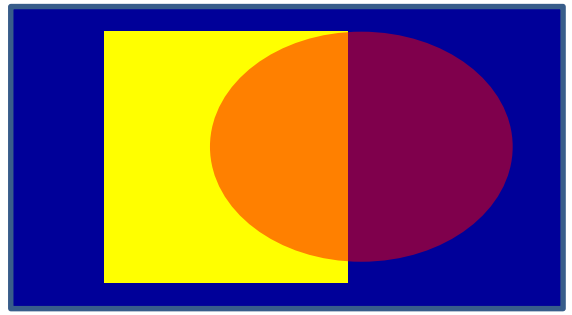
```
uniform vec3 kd, ks, ka;// diffuse, specular, ambient ref
uniform float shine;    // shininess for specular ref
uniform vec3 La, Le;    // ambient and dir/point source rad
in  vec3 wNormal;       // interpolated world sp normal
in  vec3 wView;         // interpolated world sp view
in  vec3 wLight;        // interpolated world sp illum dir
out vec4 fragmentColor; // output goes to frame buffer

void main() {
   vec3 N = normalize(wNormal);
   vec3 V = normalize(wView);
   vec3 L = normalize(wLight);
   vec3 H = normalize(L + V);
   float cost = max(dot(N,L), 0), cosd = max(dot(N,H), 0);
   vec3 color = ka * La + (kd * cost + ks * pow(cosd,shine)) * Le;
   fragmentColor = vec4(color, 1);
}
```

NPR: Non-Photorealistic Rendering

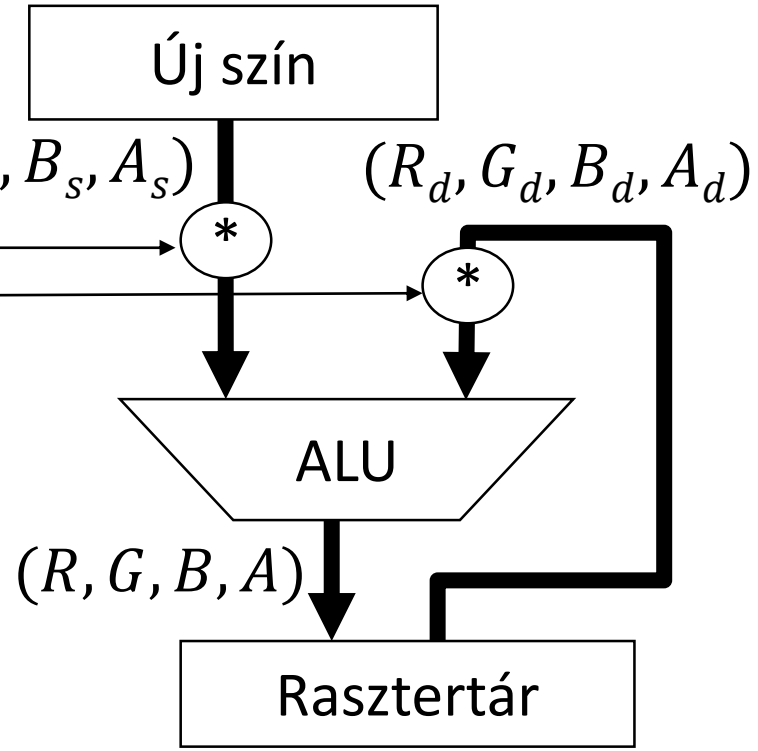
```
uniform vec3 kd;                        // diffuse ref
in  vec3 wNormal, wView, wLight; // interpolated
out vec4 fragColor;                     // output to frame buffer

void main() {
    vec3 N = normalize(wNormal);
    vec3 V = normalize(wView);
    vec3 L = normalize(wLight);
    float y = (dot(N, L) > 0.5) ? 1 : 0.5;
    fragColor = (abs(dot(N, V)) < 0.2) ? vec4(0, 0, 0, 1) : vec4(y * kd, 1);
}
```



Kompozitálás és átlátszóság
Sorrend számít!



```
glEnable(GL_BLEND);

glBlendFunc(
    GL_SRC_ALPHA,
    GL_ONE_MINUS_SRC_ALPHA
);

glDrawArrays(GL_TRIANGLES, 0, nVtx);

glDisable(GL_BLEND);
```

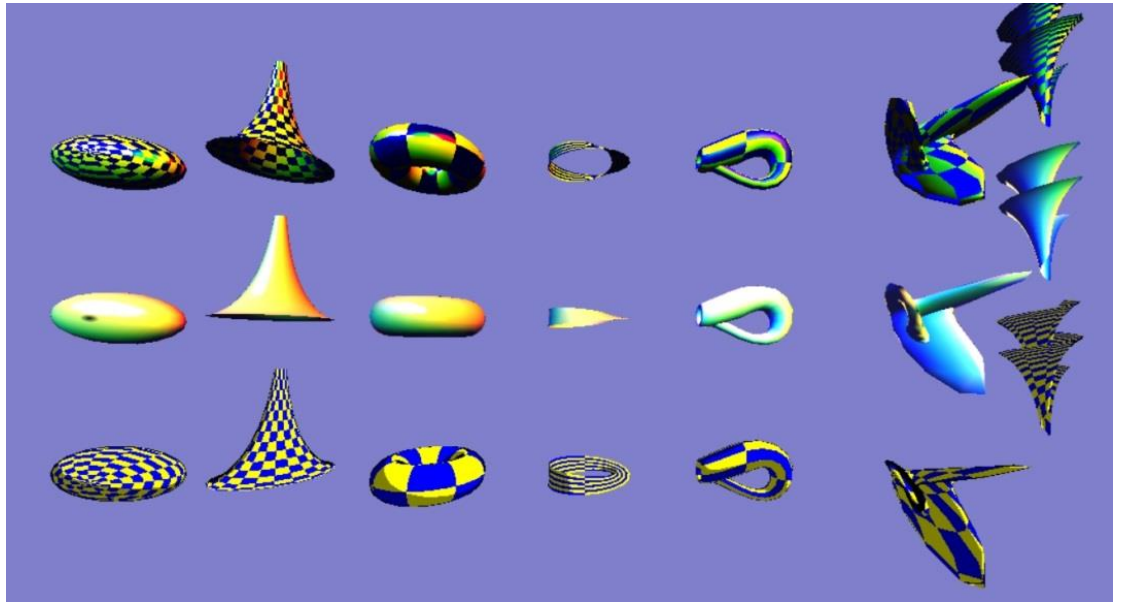


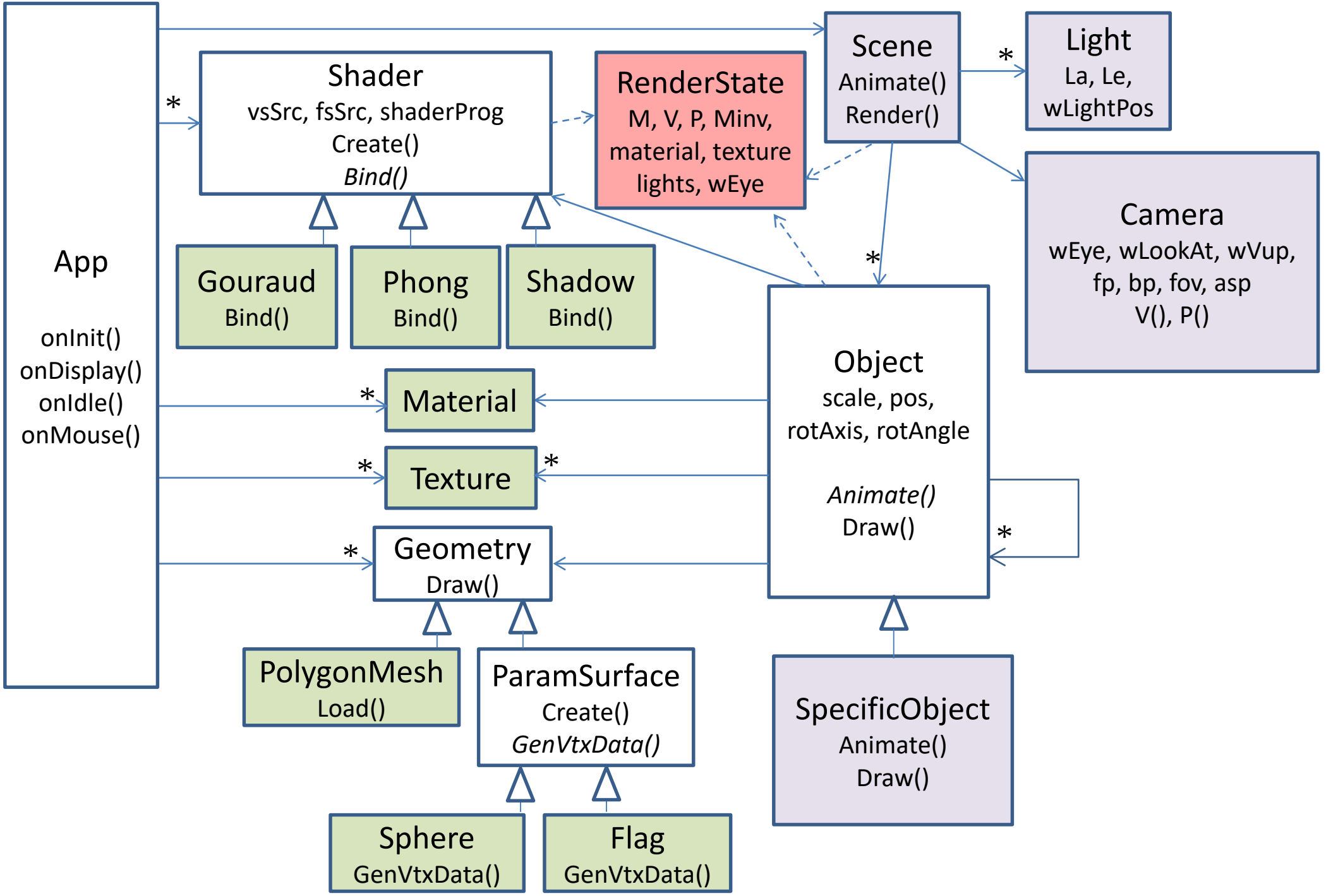
Inkrementális képszintézis csővezeték

- Azért transzformáltunk, hogy a láthatósági feladatot és a vetítést képernyő koordináta-rendszerben oldhassuk meg
  - Triviális hátsó lap eldobás
  - Z-buffer algoritmus
  - Vetítés = z eldobása, 3D háromszög = 2D háromszög
- Per-pixel árnyalás:
  - Vektorokat csúcspontonként számítjuk és pixelekre interpoláljuk
  - Illuminációs képlet pixelenként

Inkrementális 3D képszintézis
5. Program: 3D motorka

Szirmay-Kalos László




App
onInit()
onDisplay()
onIdle()
onMouse()
Shader
vsSrc, fsSrc, shaderProg
Create()
Bind()
RenderState
M, V, P, Minv,
material, texture
lights, wEye
Scene
Animate()
Render()
Light
La, Le,
wLightPos
Camera
wEye, wLookAt, wVup,
fp, bp, fov, asp
V(), P()
Gouraud
Bind()
Phong
Bind()
Shadow
Bind()
Material
Texture
Geometry
Draw()
Object
scale, pos,
rotAxis, rotAngle
Animate()
Draw()
PolygonMesh
Load()
ParamSurface
Create()
GenVtxData()
SpecificObject
Animate()
Draw()
Sphere
GenVtxData()
Flag
GenVtxData()
*

Scene

```
class Scene {
   Camera camera;
   vector<Object *> objects;
   vector<Light *> lights;
public:
   void Render() {
      RenderState state;
      state.M = state.Minv = UnitMatrix();
      state.wEye = camera.wEye;
      state.V = camera.V();
      state.P = camera.P();
      state.lights = lights;
      for (Object * obj : objects) obj->Draw(state);
   }
   void Animate(float ts, float te) {
      for (Object * obj : objects) obj->Animate(ts, te);
   }
};
```

Object

```
class Object {
    Shader *   shader;
    Material * material;
    Texture *  texture;
    Geometry * geometry;
    vec3 scale, pos, rotAxis;
    float rotAngle;
    vector<Object *> children;
public:
    virtual void Draw(RenderState state) {
        state.M = Scale(scale.x, scale.y, scale.z) *
                  Rotate(rotAngle,rotAxis.x,rotAxis.y,rotAxis.z) *
                  Translate(pos.x, pos.y, pos.z) * state.M;
        state.Minv = state.Minv *
                  Translate(-pos.x, -pos.y, -pos.z) *
                  Rotate(-rotAngle,rotAxis.x,rotAxis.y,rotAxis.z) *
                  Scale(1/scale.x, 1/scale.y, 1/scale.z);
        state.material = material; state.texture = texture;
        shader->Bind(state); // uniform változók beállítása
        geometry->Draw(); // háromszögek végigmennek a pipeline-on
        for (Object * child : children) child->Draw(state);
    }
    virtual void Animate(float ts, float te) {}
};
```

Érték szerinti paraméterátadás:
Objektumok nem zavarják egymást

Shader

```
struct Shader {
   unsigned int shaderProg;

   void Create(const char * vsSrc,
               const char * fsSrc, const char * fsOuput) {
      unsigned int vs = glCreateShader(GL_VERTEX_SHADER);
      glShaderSource(vs,1,&vsSrc,NULL); glCompileShader(vs);
      unsigned int fs = glCreateShader(GL_FRAGMENT_SHADER);
      glShaderSource(fs,1,&fsSrc,NULL); glCompileShader(fs);
      shaderProg = glCreateProgram();
      glAttachShader(shaderProg, vs);
      glAttachShader(shaderProg, fs);
      glBindFragDataLocation(shaderProg, 0, fsOuput);
      glLinkProgram(shaderProg);
   }
   virtual void Bind(RenderState& state) {
      glUseProgram(shaderProg);
   }
};
```

ShadowShader

```
class ShadowShader : public Shader {
    const char * vsSrc = R"(
        uniform mat4 MVP;
        layout(location = 0) in vec3 vtxPos;
        void main() { gl_Position = vec4(vtxPos, 1) * MVP; }
    )";
    const char * fsSrc = R"(
        out vec4 fragmentColor;
        void main() { fragmentColor = vec4(0, 0, 0, 1); }
    )";
public:
    ShadowShader() {
        Create(vsSrc, fsSrc, "fragmentColor");
    }
    void Bind(RenderState& state) {
        glUseProgram(shaderProg);
        mat4 MVP = state.M * state.V * state.P;
        MVP.SetUniform(shaderProg, "MVP");
    }
};
```