

A 3D-2D leképezés alatt melyek maradnak robosztus képjellemzők?

Vagyis mely képjellemzőket „értelmes” a vetületképekből
kihámozni?

Az attól függ...

Térbeli viszonyok

Mit is látunk a képen?

(Amszterdami városképek
forrása: Robert Kosara)

- egyenes
- méret
- párh. / szög
- alak
- síkok helyzete
- mélység info



Láthatunk:

tárgyakat : folyó, part, rakparton parkoló kocsik, épületek, fák az épületek előtt, híd, égbolt

Kihámozhatjuk a képből a relatív távolsági viszonyokat is?

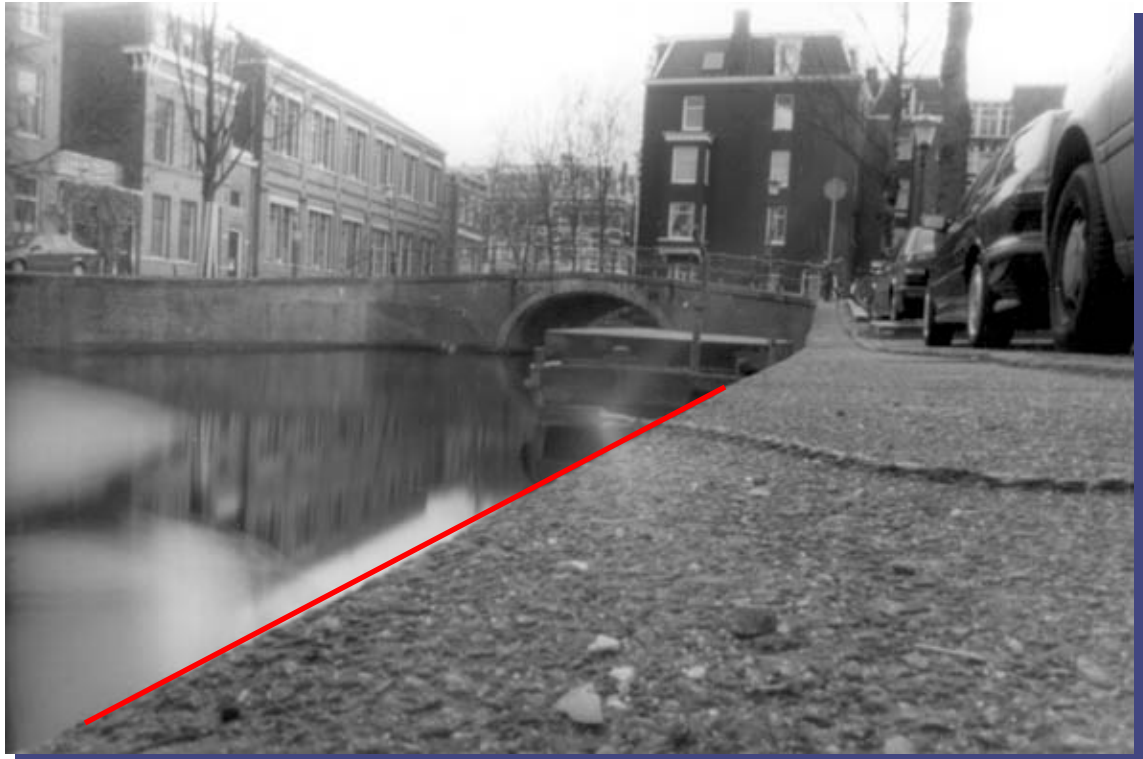
MICSODA? Mégis látjuk a 3D struktúrát egyetlen képből is?

Nézzük meg először, hogy mely geometriai jellemzők robusztusak a perspektivikus vetítésre
(kamera képsíkra való 2D leképezés)

Térbeli viszonyok

✓ egyenes

- méret
- párh. / szög
- alak
- síkok helyzete
- mélység info



Egyenesség megőrződik

Mert a pinhole kamera modell szerint: $x = fX/Z$, $y = fY/Z$:

a 3D térbeli egyenes leképeződik egyenesként a 2D képsíkra is

Térbeli viszonyok

✓ egyenes

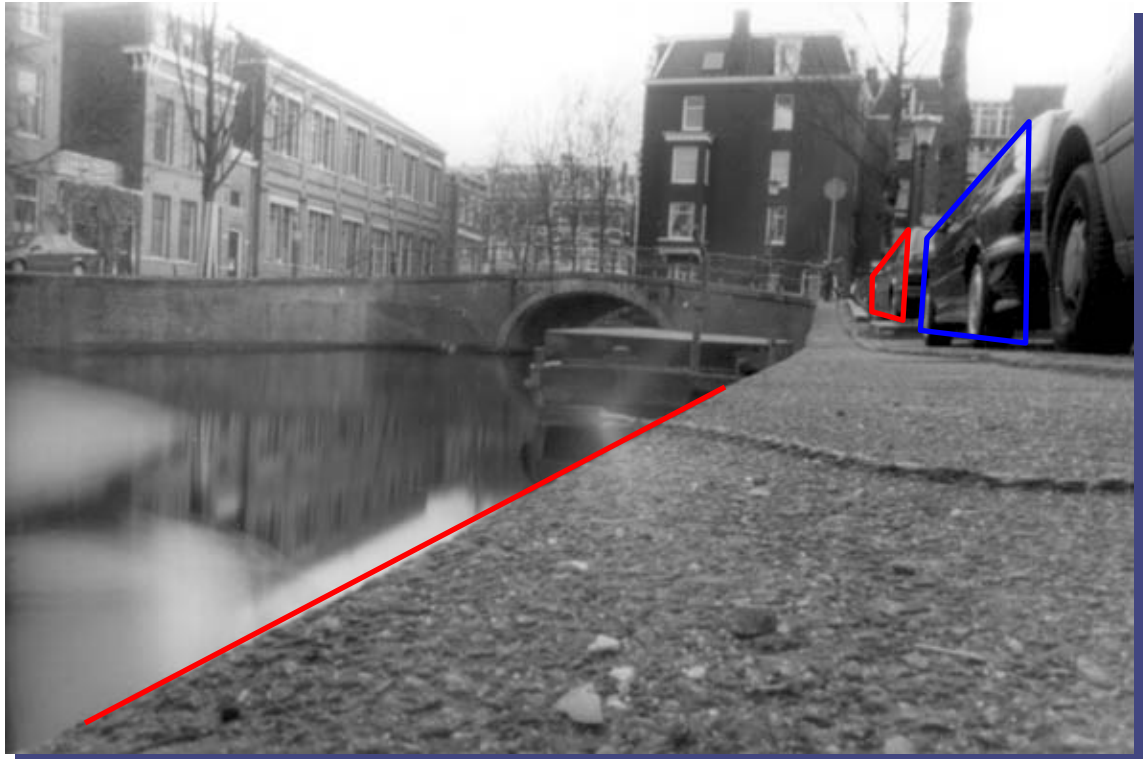
× méret

● párh. / szög

● alak

● síkok helyzete

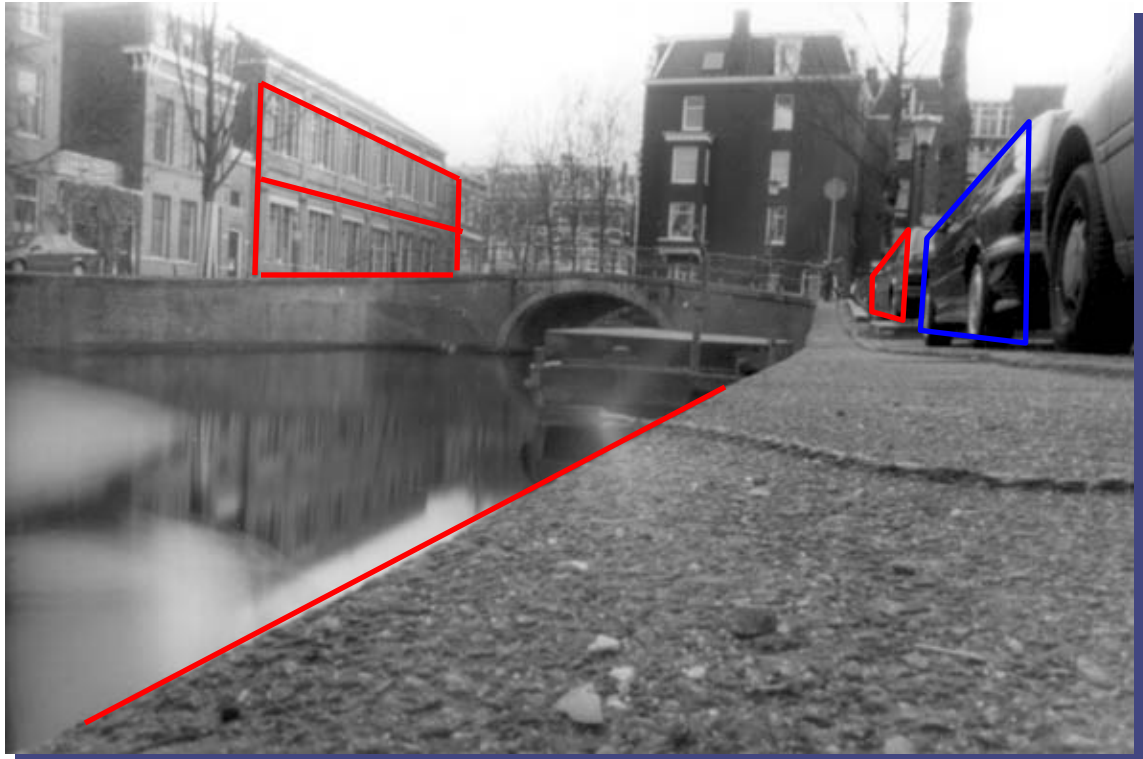
● mélység info



Méret fordítottan arányos a távolsággal (Z)

Térbeli viszonyok

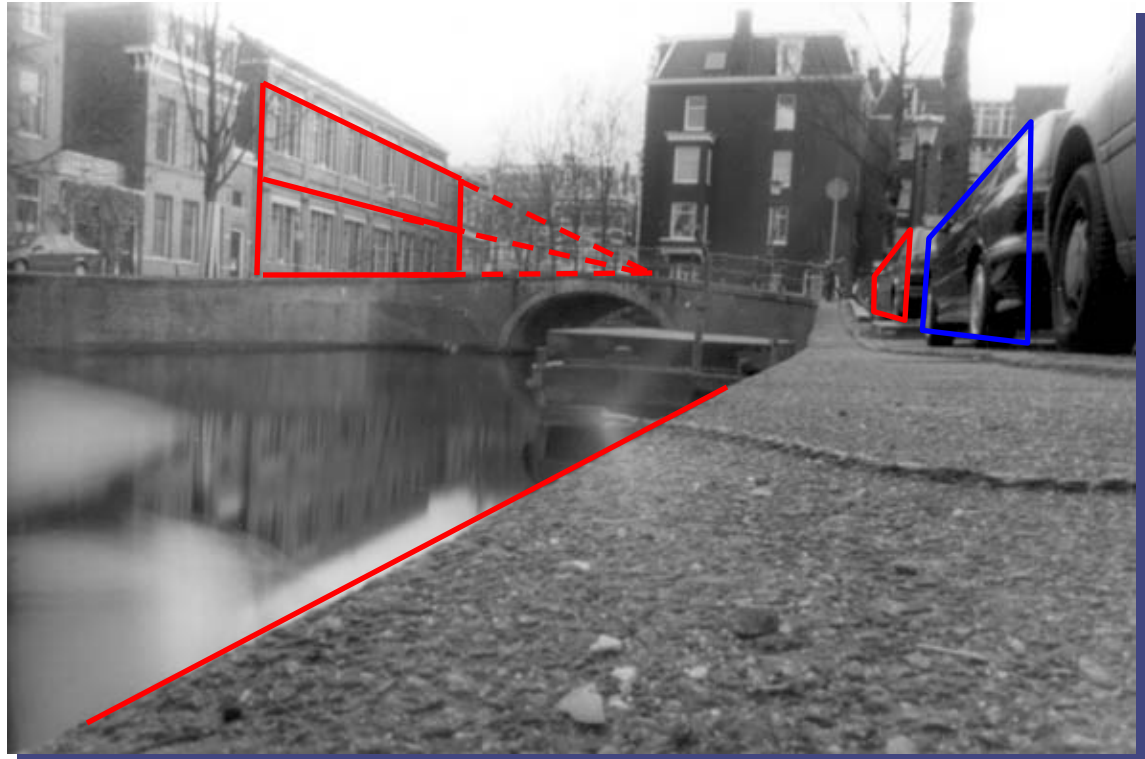
- ✓ egyenes
- × méret
- × párh. / szög
- alak
- síkok helyzete
- mélység info



Általában a szögek és párhuzamosságok nem őrződnek meg. Például a téglalap alakú épület szögei változnak

Térbeli viszonyok

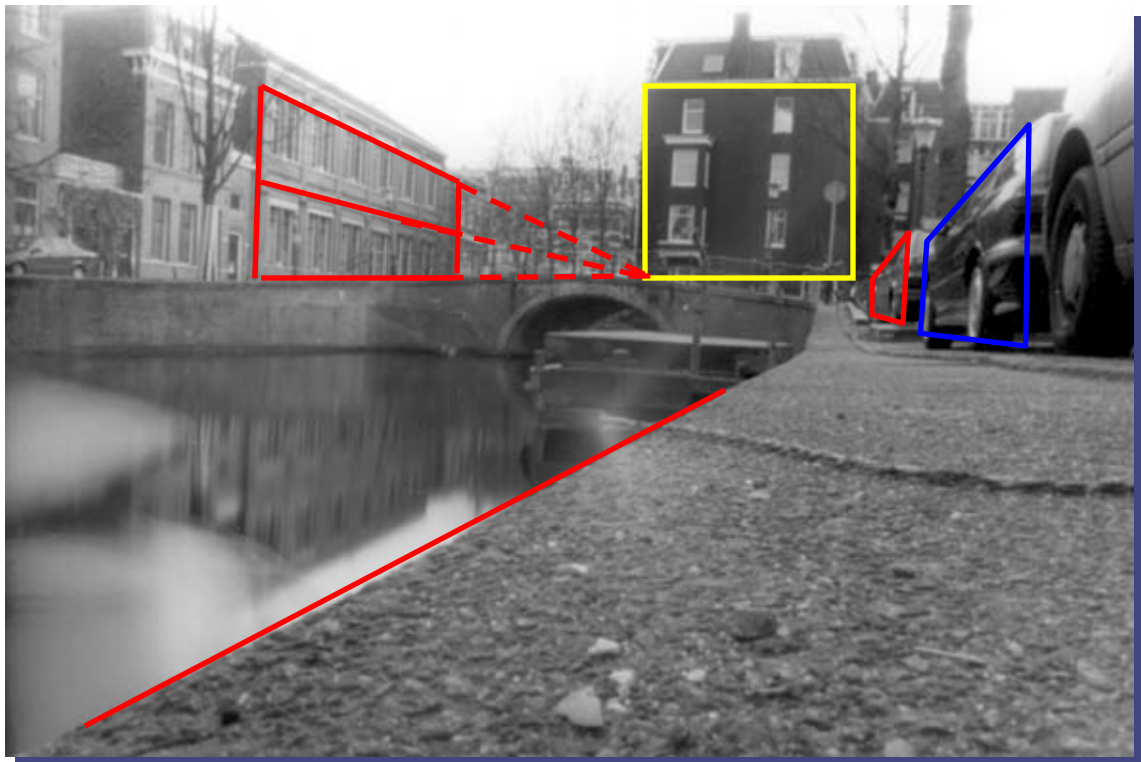
- ✓ egyenes
- × méret
- × párh. / szög
- × alak
- síkok helyzete
- mélység info



- Párhuzamos egyenesek egy pontba tartanak --- eltűnő pont

Térbeli viszonyok

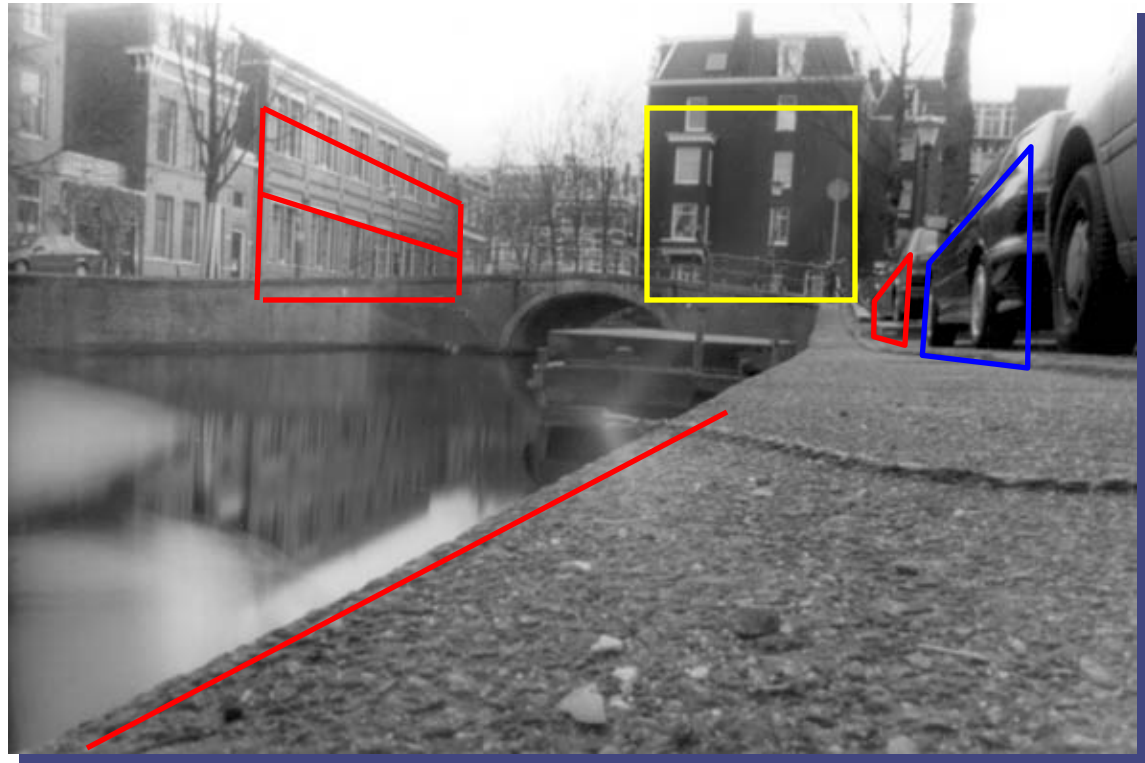
- ✓ egyenes
- × méret
- × párh. / szög
- × alak
- síkok helyzete
- ✓ párh. a képsíkkal
- mélység info



Térbeli viszonyok

És Ön mit látott?

- ✓ egyenes
- × méret
- × párh. / szög
- × alak
- síkok helyzete
- ✓ párh. a képsíkkal
- ✓ mélység info?
 - sztereo
 - mozgás
 - méret
 - struktúra ...



Inkább érzékeljük a térbeli viszonyokat mint egyedi pixeleket

Tudás: az emberi látás top-down stratégiával működik

Sztereo és Mozgás: legismertebb módszerek 3D látáshoz

(de lesz más – talán robusztusabb – gépi látás megközelítésünk is)

Ön is biztos „látja” a térbeliséget, de nem „tudja” hogyan... akkor tovább!

3D rekonstrukció

Bevezetés

Lehetséges „jó” válaszok keresése „rosszul” feltett kérdésekre

Az „ill-posed” probléma

Az “Ill-posed” probléma

Mit kezdjen egy kamera a 3D világgal...?



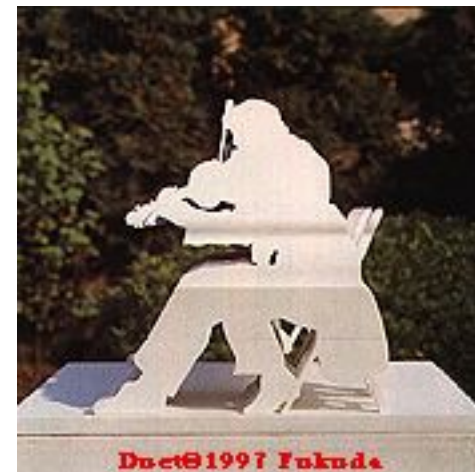
Shigeo Fukuda

Egy dimenziót eltüntettünk a leképezéssel!

Az “Ill-posed” probléma

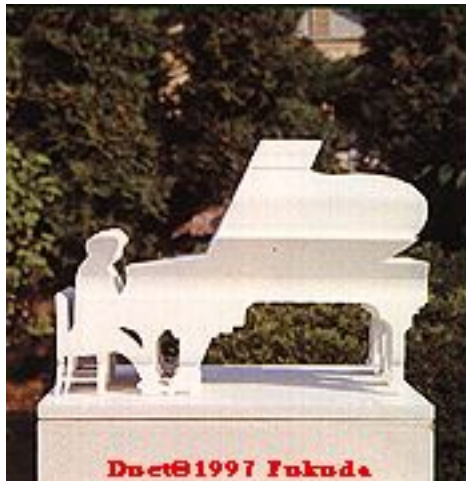
- 3D struktúrát 2D képekből: ez egy rosszul feltett kérdés

Angolul: „*ill-posed*” problem



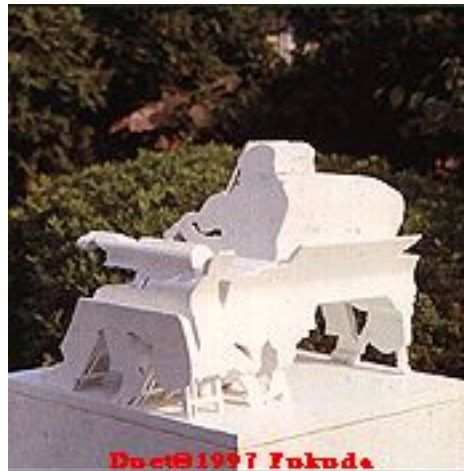
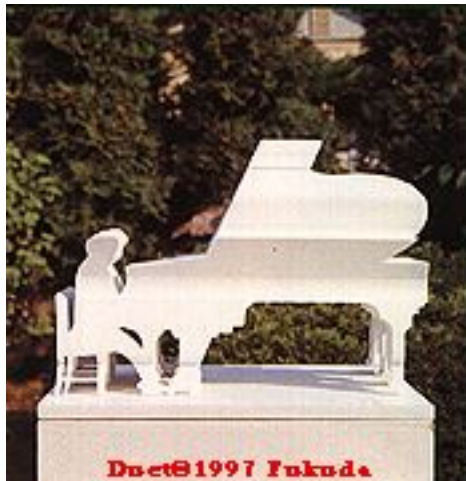
Az “Ill-posed” probléma

3D struktúrát 2D képekből: rosszul feltett kérdés
Angolul: „*ill-posed*” problem



Az “Ill-posed” probléma

3D struktúrát 2D képekből: rosszul feltett kérdés
Angolul: „*ill-posed*” problem



- Sokféle 3D világ generálhatná ugyanazt a 2D képet!

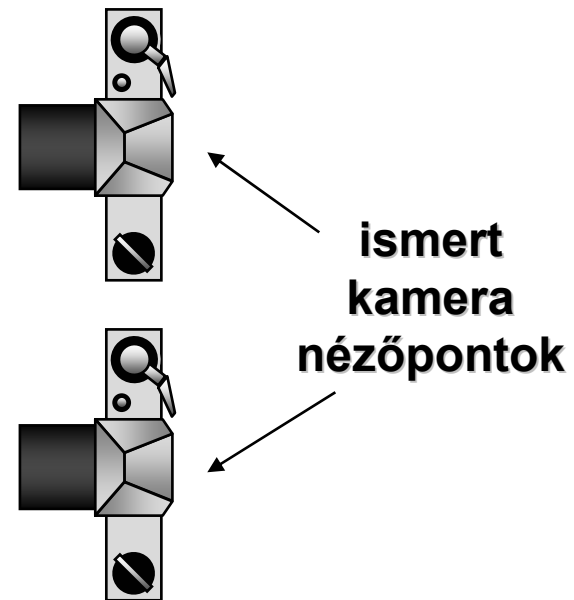
Főbb 3D rekonstrukciós módszerek

- » **Shape from stereo**
- » **Motion stereo**
- » **Strukturált fényes módszer**
- » **Shape from texture**
- » **Fotometrikus sztereo**
- » **Shape from shading**
- » **3D a perspektivikus tulajdonságokból**
- » ...

Néhány alapelv gyors bemutatása 1-1 diában:

Sztereo Rekonstrukció

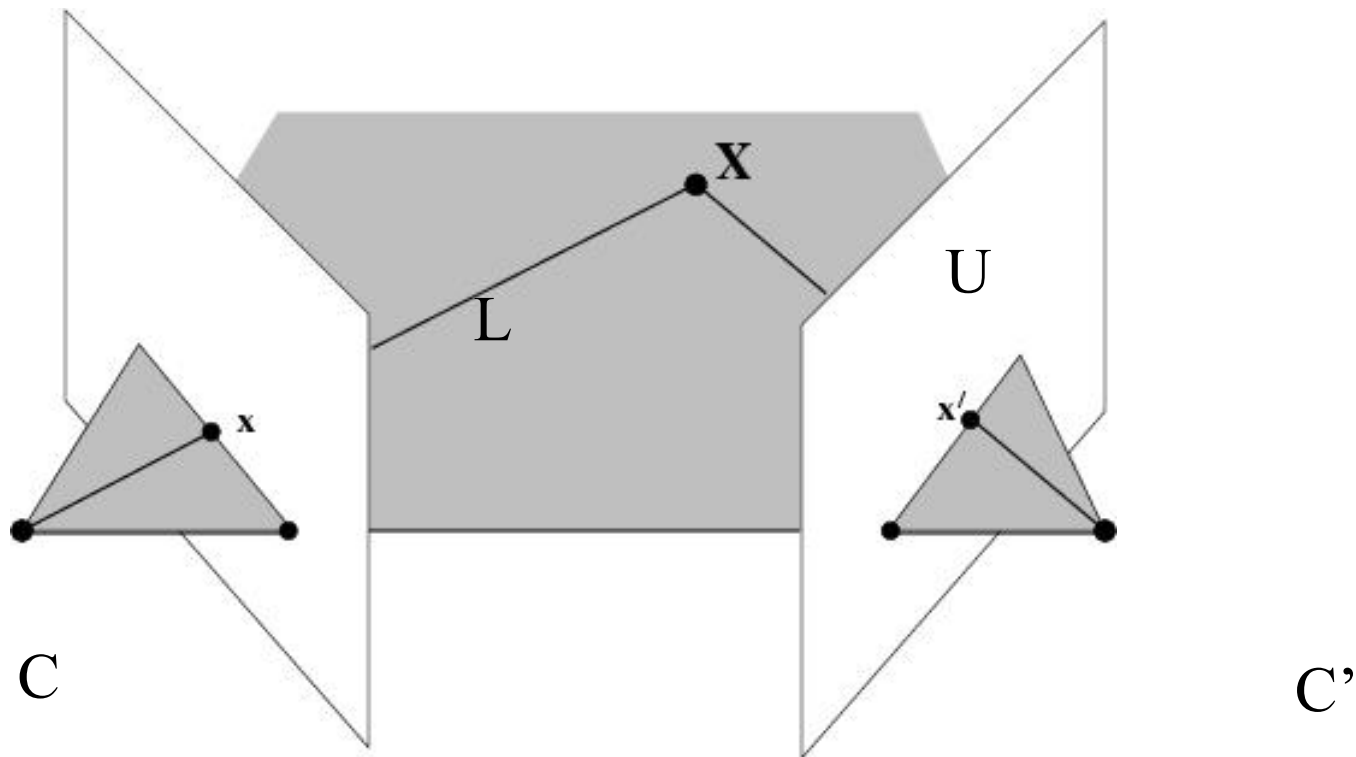
3D alak kettő (vagy több) képből



Sztereo fej



Epipoláris geometria



Az ábra feltételezi a kalibrált sztereó elrendezést

Sztereo

Adott két kép

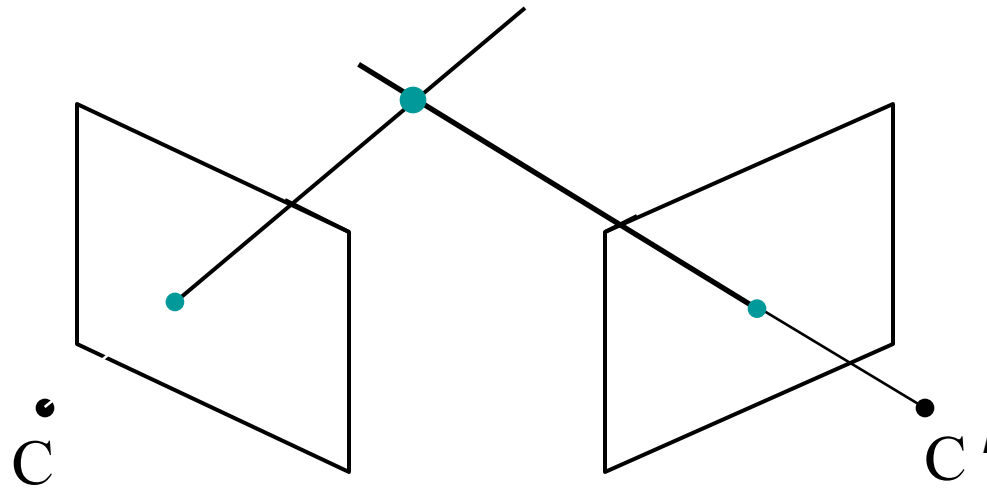


Alapelv: trianguláció egymásnak megfeleltethető pontpárokból

Egymásnak megfeleltethető pontok



Trianguláció elve



A visszavetített pontok (elvben) a 3D objektumpontban metszik egymást

A sztereo rekonstrukció általános algoritmikus lépései

1. Pontpárok megfeleltetése a két képen
(ez egy keresési probléma)
2. Minden pontpárra a 3D pont meghatározása
triangulációval
(ez egy becslési probléma)

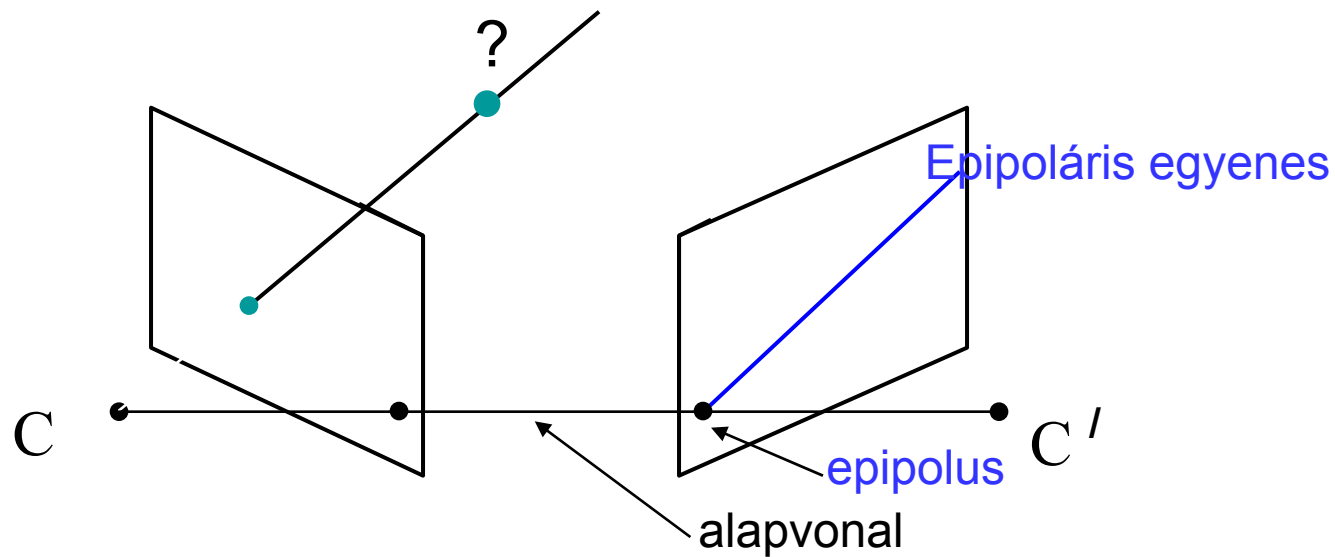
A pontpárok megfeleltetése

Kiindulás – adott egy pont a baloldali képen. Meg kell találni megfelelőjét a jobboldali képen



Ez egy 2D keresési problémának tűnik de 1D keresési problémára redukálható az **epipoláris kényszer** alkalmazásával

Epipoláris geometria



- A baloldali pont egy egyenest generál a jobboldali képen
- A megfeleltetett pont az epipoláris egyenesen keresendő

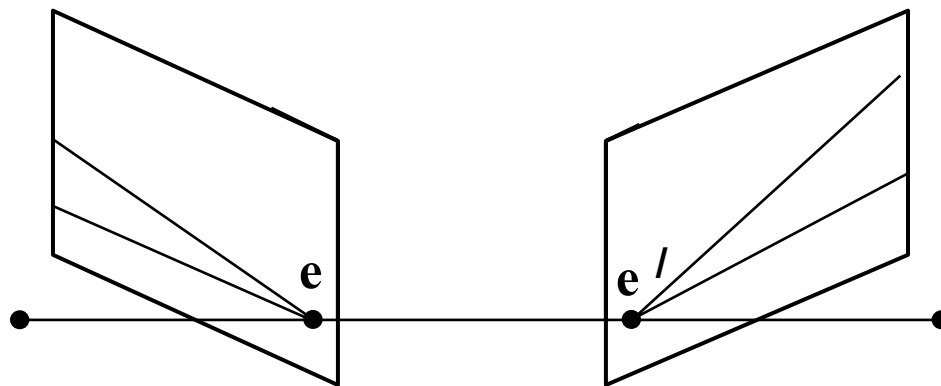
Epipoláris egyenes



Epipoláris kényszer

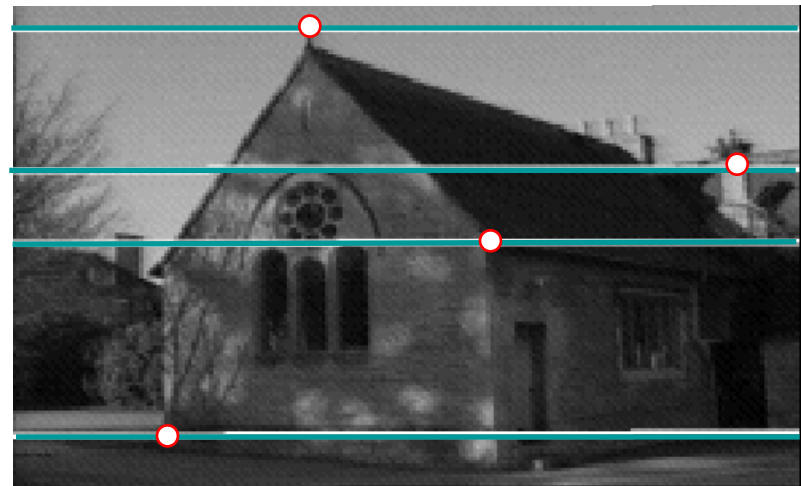
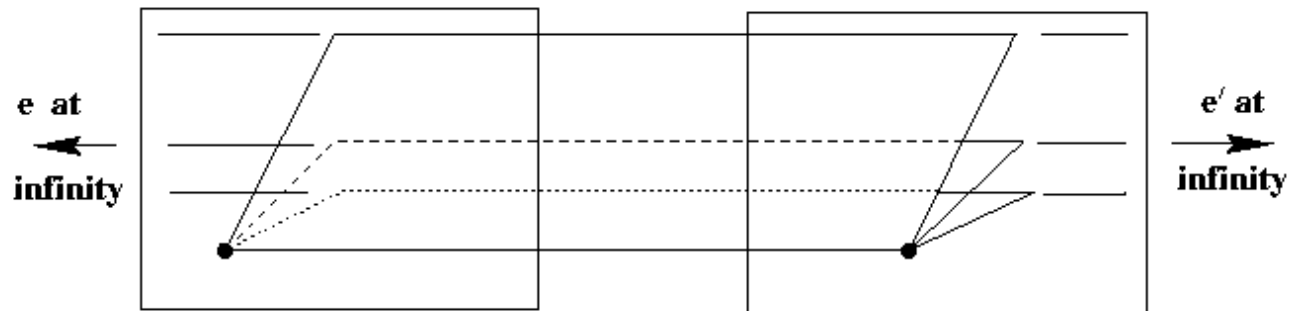
- Az epipoláris egyenesen lesz a keresett másik pont

Epipoláris geometria – általános eset



Epipoláris egyenesek ilyen esetekben nem párhuzamosak

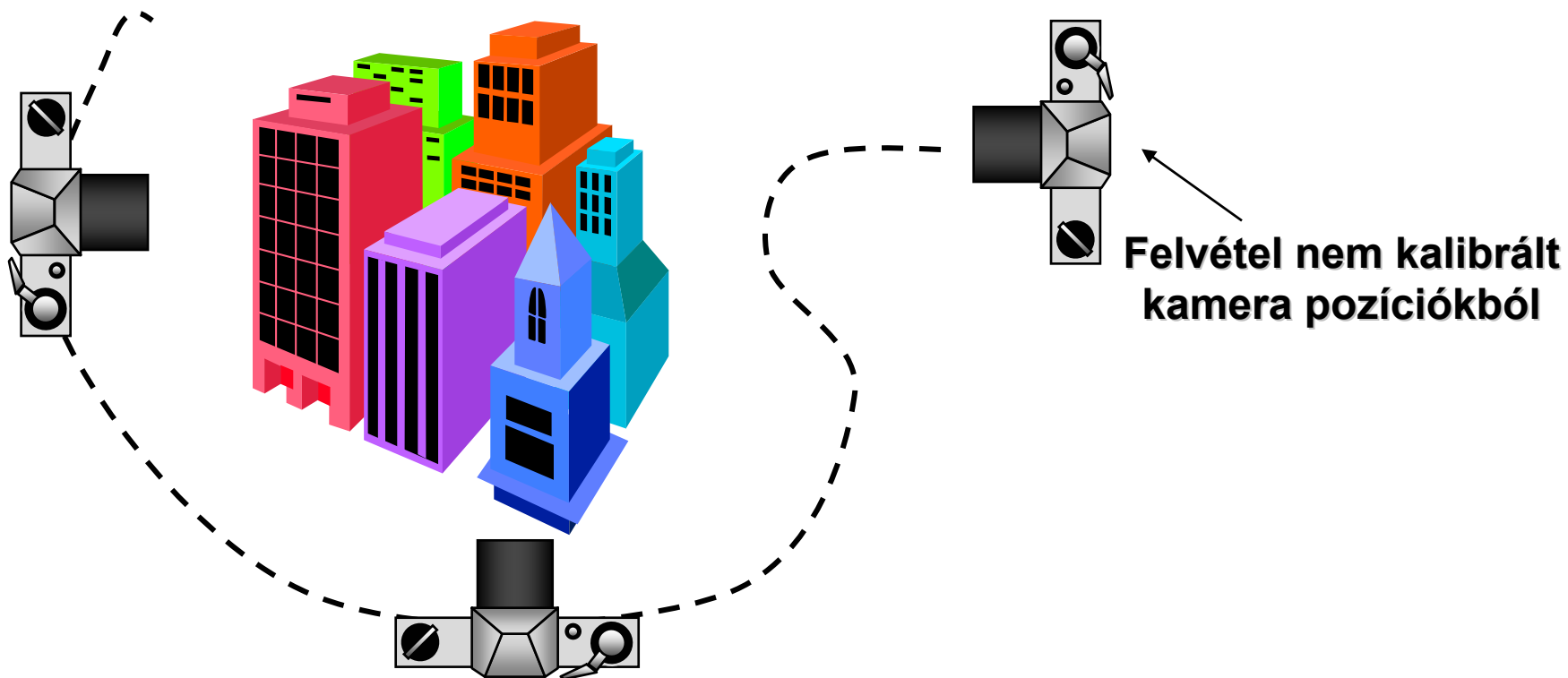
Epipoláris geometria – párhuzamos képsíkok



Az epipoláris geometria csak a két kamera relatív pozíciójától és orientációjától, illetve a két kamera belső paramétereitől függ

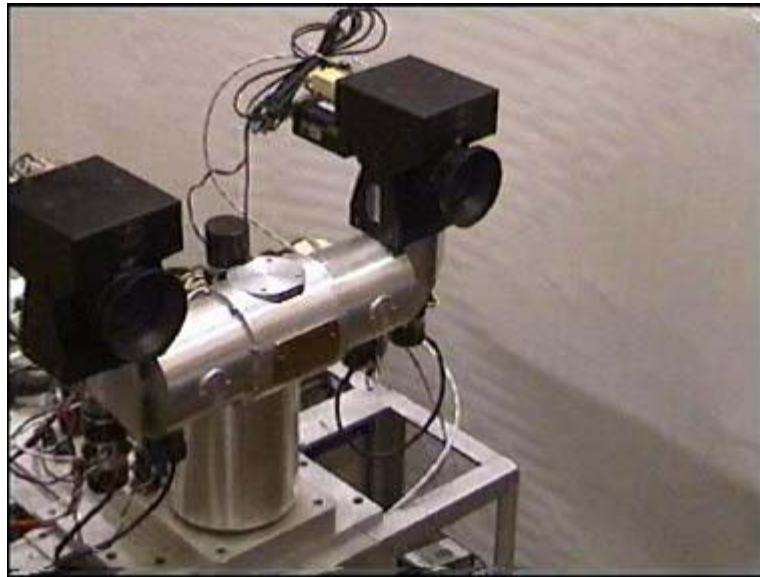
Nem függ a látványtól

Motion Stereo

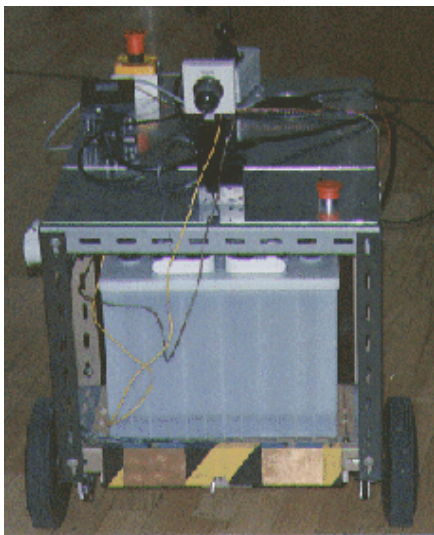


ön-kalibráció kell!

Stereo fej

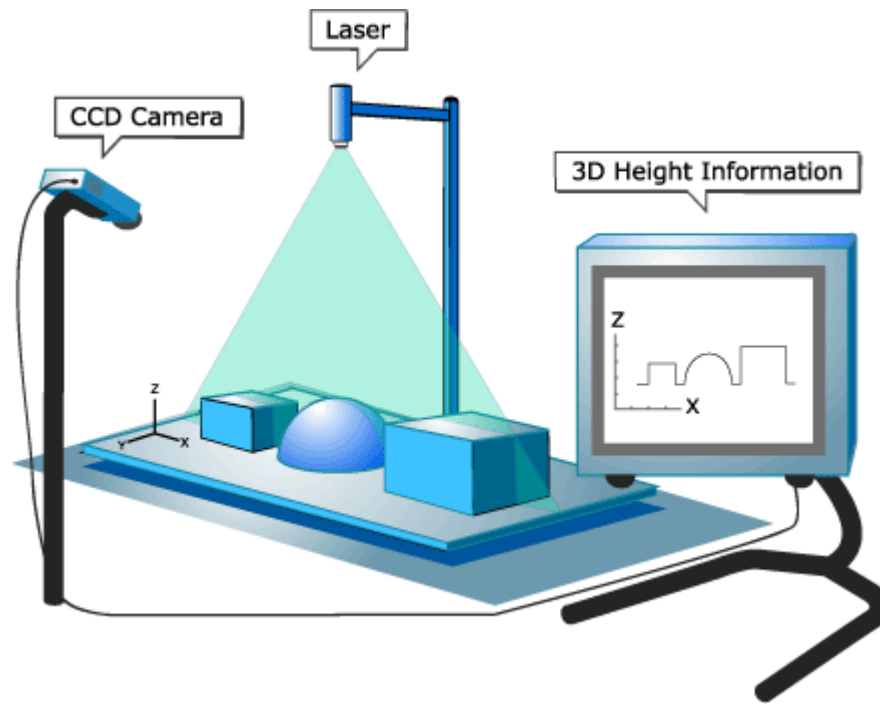


Kamera egy mobil platformon



(COURTESY SONY)

Strukturált fényes látórendszer



- Lényegkiemelés a megvilágítás szintjén
- Robusztus: jobbra a gumin „feketén fekete” minta is „látszik”
- 1D, 2D, kódolt (minta, szín) struktúra kivetítése diffrakciós ráccsal

Microsoft Kinect

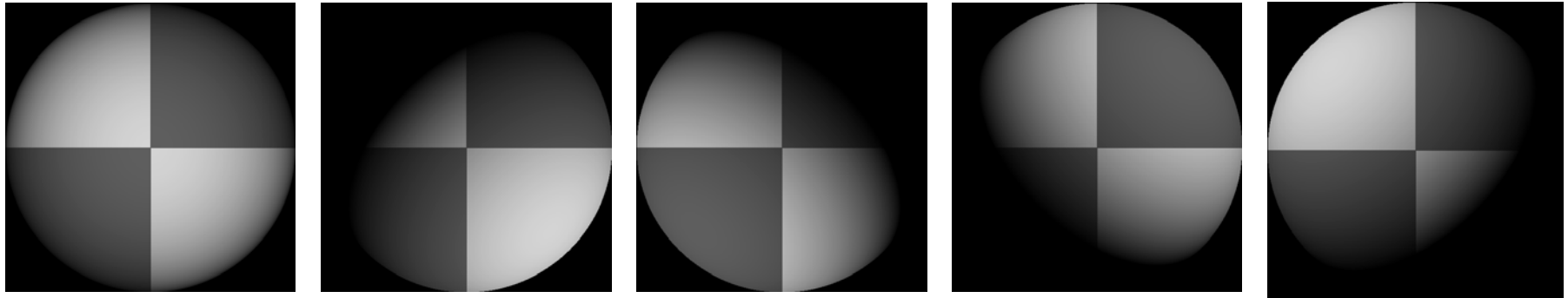


Textúrából gradiens

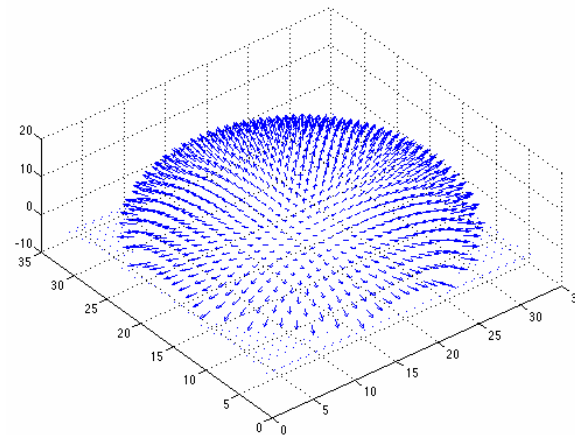
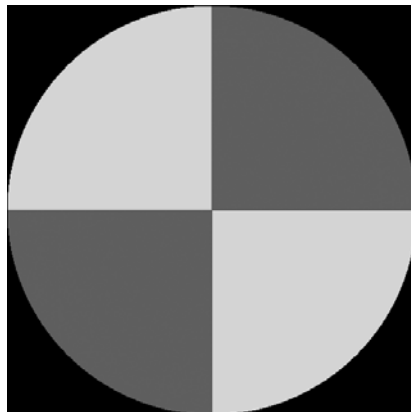


Horizont meghatározása a texel méret torzulása alapján

Fotometrikus sztereo



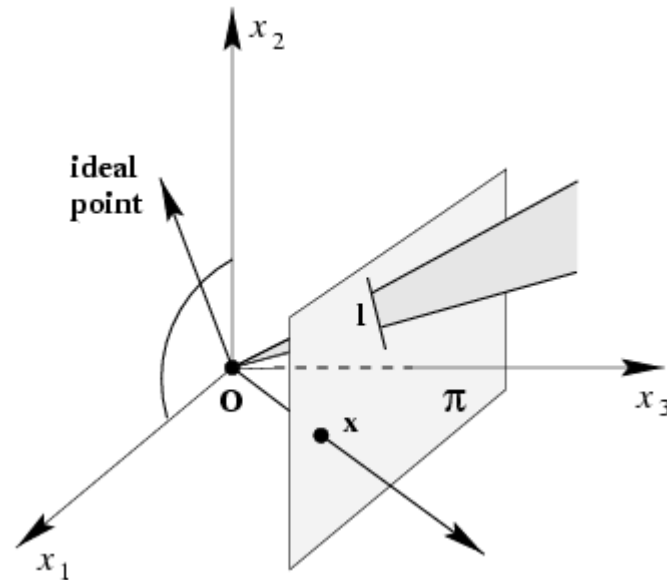
Visszaállítható a felületi reflexiós tulajdonság és a felületi normális is



1. Pin-hole kamera modell

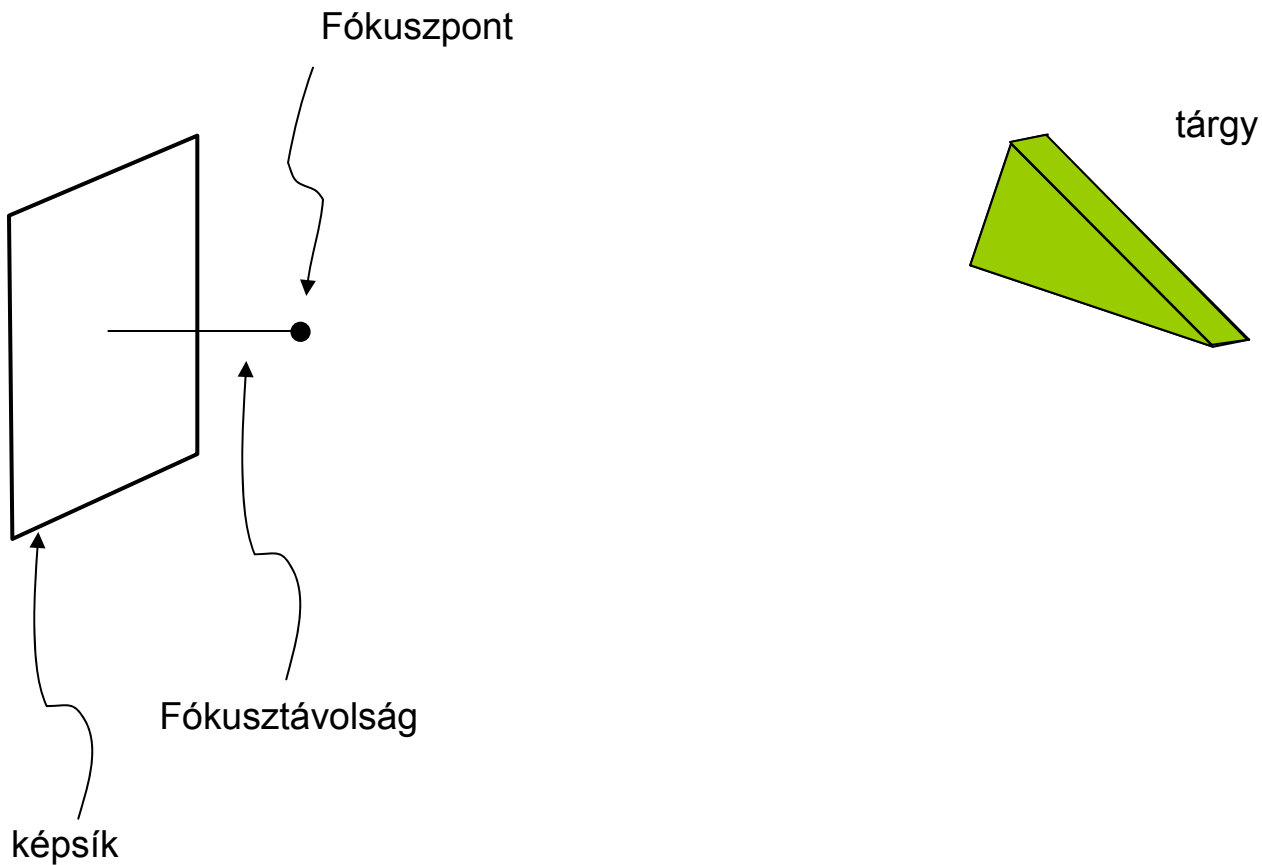
Ez a perspektivikus vetítés modellje!

- Síkból egyenes, vetítési sugárból pont lesz



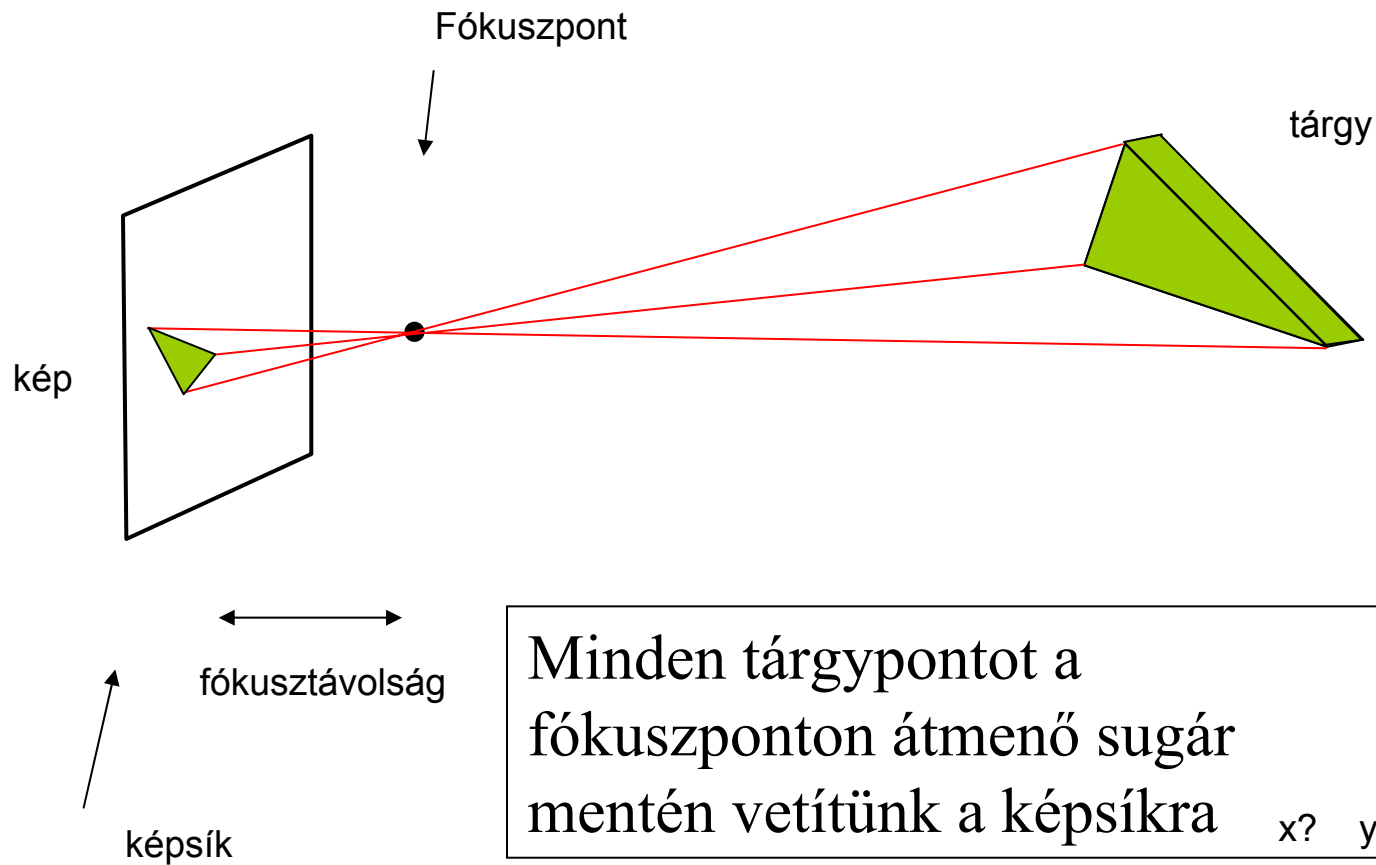
Kamera Geometria

3D $\rightarrow$ 2D transzformáció: perspektívikus vetítés

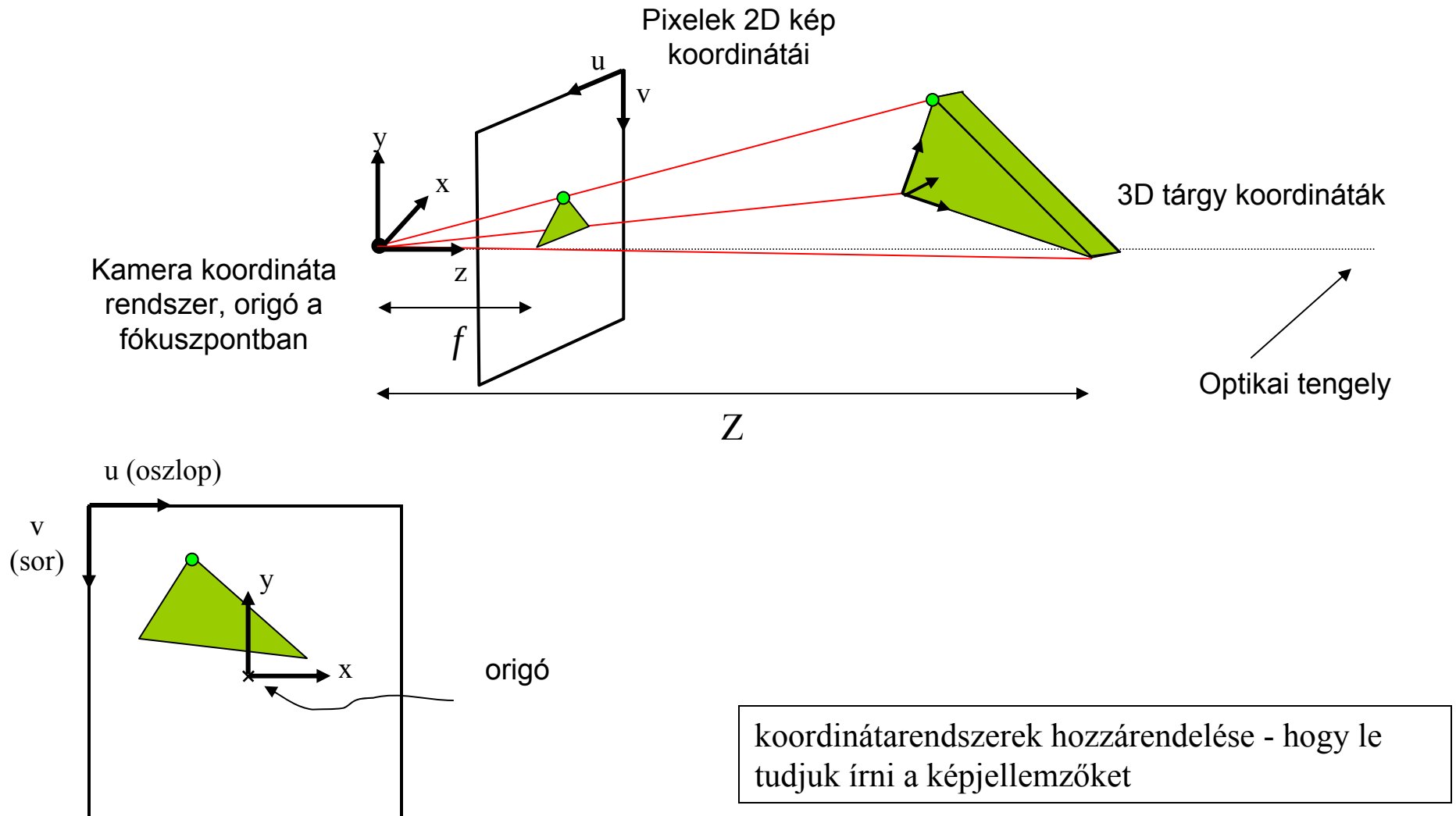


Kamera Geometria

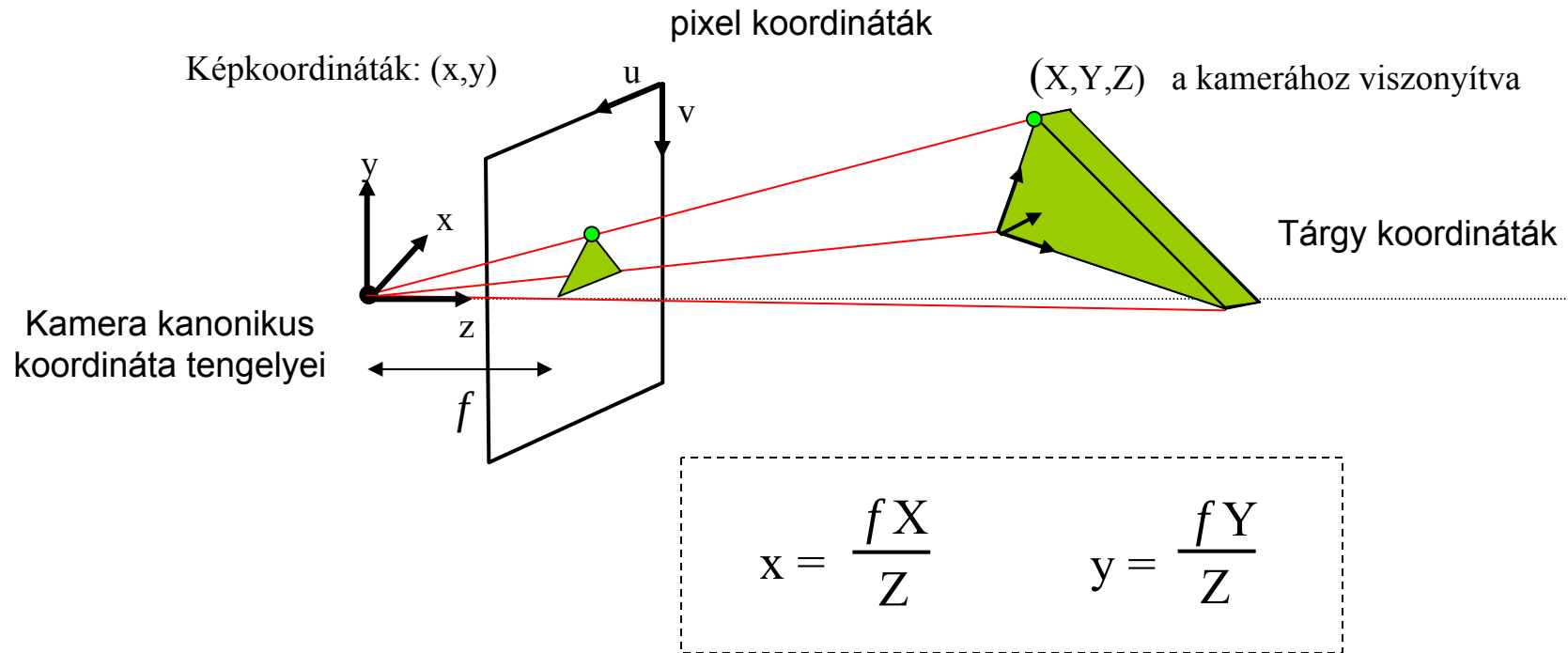
3D $\rightarrow$ 2D transzformáció: perspektívikus vetítéssel: „**pin-hole**” kamera modell



Koordinátarendszerek hozzárendelése



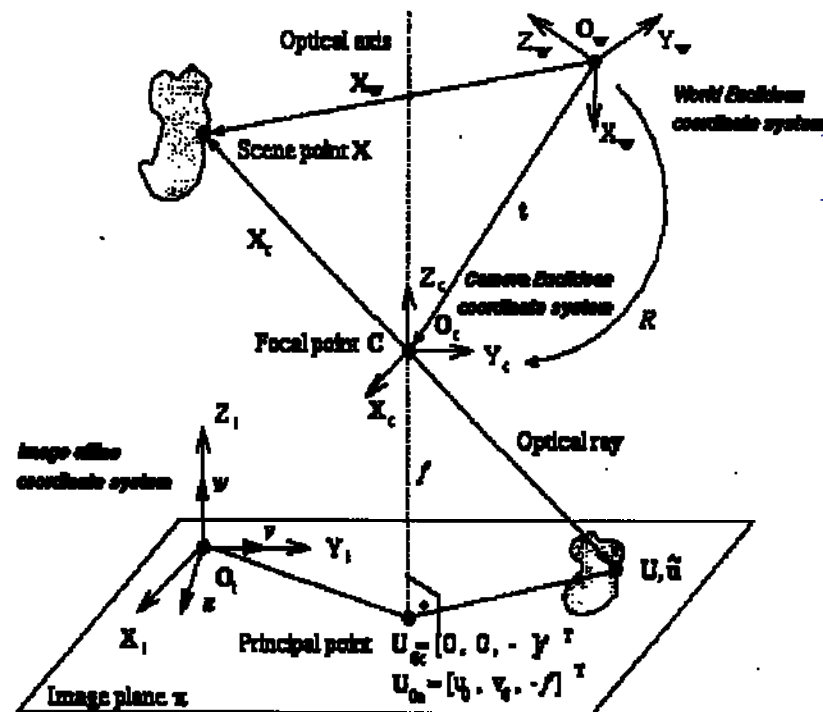
3D-2D, 2D-3D transzformációk



Cél: visszaállítani (X,Y,Z) értékeket (x,y)-ből.

Nem triviális: 2D-3D inverz transzformáció

2. Pin-hole kamera modell



9.3. Ábra: Lineáris, perspektívus kamera geometriája

Ábra jelölések:

Vízszintes sík: képsík

Szaggatott függőleges tengely: optikai tengely

A vékony lencse C optikai közép pontban (fókuszpont) az optikai tengelyre merőlegesen helyezkedik el, a képsíktól f (fókusz)távolságra.

X pont leképezése C ponton átmenő egyenessel U képpontba

4 koordináta rendszer definiálható:

Euclidesi világ koordináta rendszer (w index), origója: O_w (X, U ebben van kifejezve)

Euclidesi kamera koordináta rendszer (c index), origója: O_c a C fókuszpontban van. Egyértelmű megfeleltetés található a világ- és kamera koordinátarendszer között t transzlációval és R rotációval

Euclidesi kép koordináta rendszer (i index) origója O_i , tengelyei a kamera koordináta rendszerével párhuzamosak

Euclidesi affín kép koordináta rendszer (a index), origója O_l (kép koordináta rendszerével egyezően), koordináta tengelyei u, v, w . A w, v tengelyek megegyeznek Z_l, X_l vel, de u tengelynek lehetséges Y_l től eltérő irányja. Bevezetésének az az oka, hogy a Y_l nem szükségeszerűen merőleges az optikai tengelyre és a skálázás lehet eltérő

Kiterjesztett
pinhole modell

Valós kamera modell – homogén koordinátákkal

- 5 **belső** paraméter (**B**)
- 6 **külső** paraméter (**K: R, t**)

$$B = \begin{pmatrix} f s_x & f s_\theta & u_0 \\ 0 & f s_y & v_0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

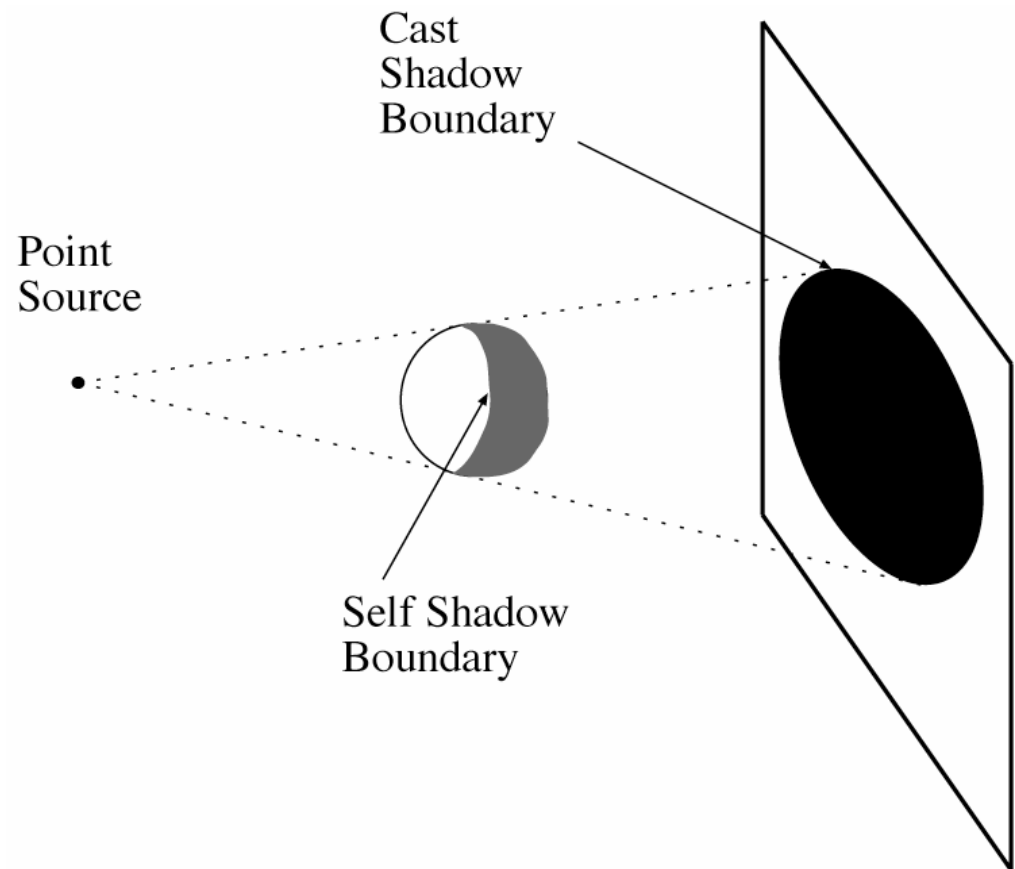
$$\lambda \begin{pmatrix} x \\ y \\ 1 \end{pmatrix} = B \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{pmatrix} K \begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{pmatrix}$$

- λ ... szabadon választható skálafaktor

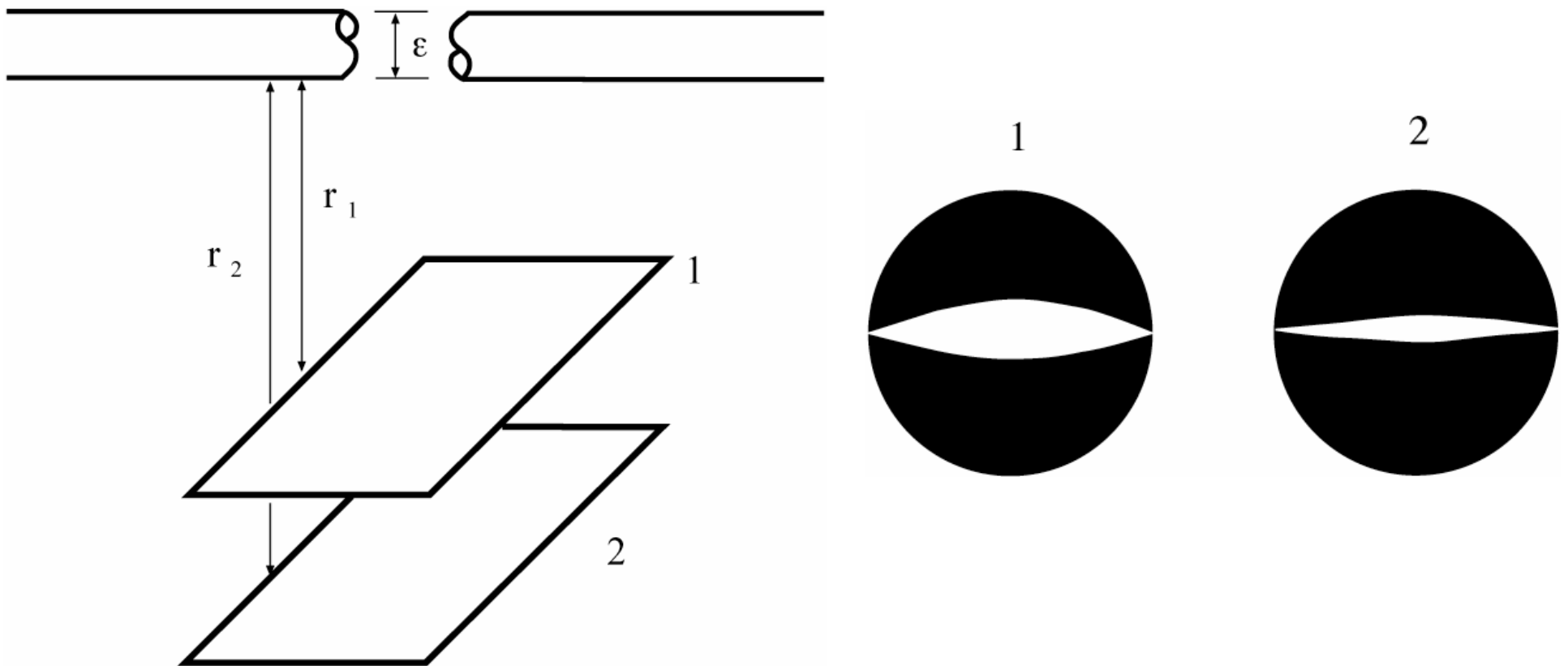
1. Fényforrás – felület – intenzitáskép kölcsönhatások

Fényerő / Árnyékolás - pontszerű fényforrás esetén

- Amelyik pont „nem látja” a forrást: árnyékpont lesz
- Egyszerű a geometriai modell
- Fényerő a távolság négyzetével fordítottan arányos



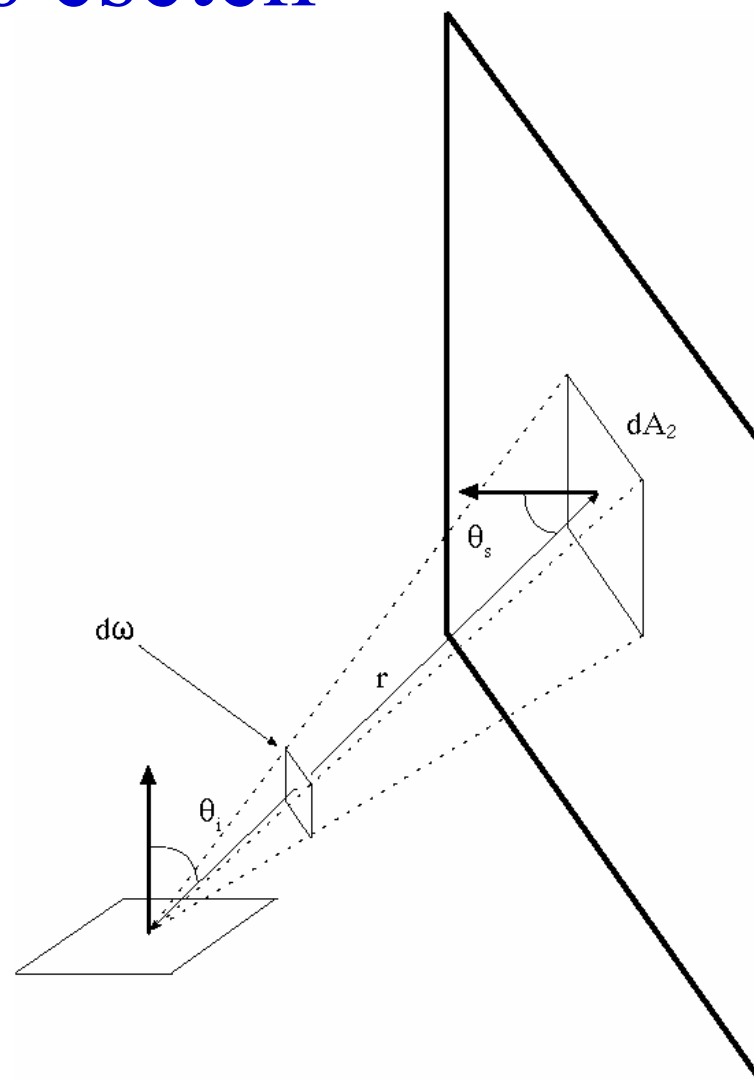
Fényerő / Árnyékolás - vonalszerű fényforrás esetén



Ha elég hosszú, a fényerő a távolsággal fordítottan arányos

Fényerő / Árnyékolás - felületi fényforrás esetén

- Például : fehér fal
háttér
- Fényerő egy pontban:
összegzés bonyolult
véges méretű felületi
megvilágítás esetén

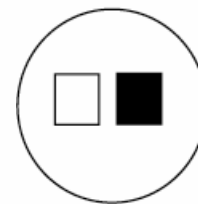


Felületi megvilágítás árnyékolása

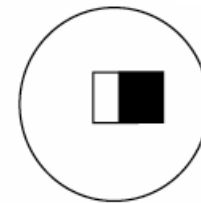
Area
Source



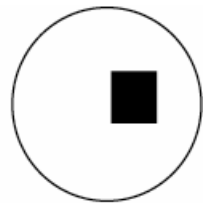
Occluder



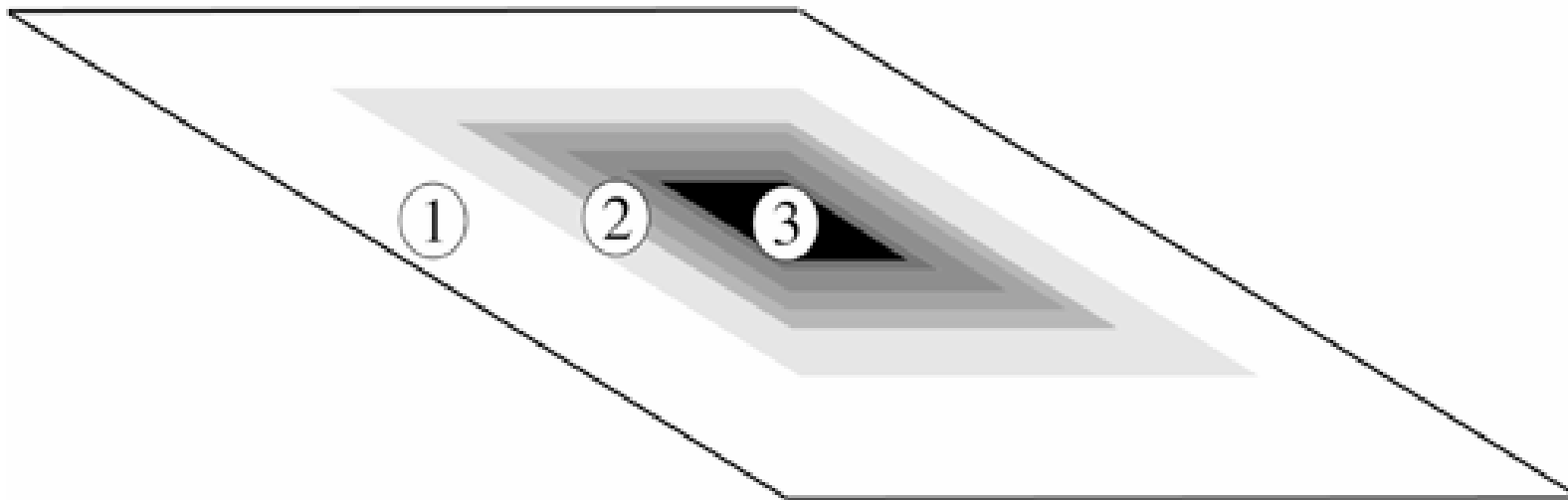
1



2



3



Árnyékolási modellek

- **Lokális**

- Figyelembe vett fényforrás minden felületi pontból látszik
- **előny:**
 - Könnyű kezelhetőség
- **hátrány:**
 - Valósághoz képest egyszerűsített modell

- **Globális**

- Nemcsak a fényforrás, de az árnyékolások és más felületi pontokról visszavert fénysugarak hatása is figyelembe véve
- **előny:**
 - Pontosabb modell
- **hátrány:**
 - Nehezen kezelhető

2. Reflexiós modellek

Képintenzitás és 3D Geometria



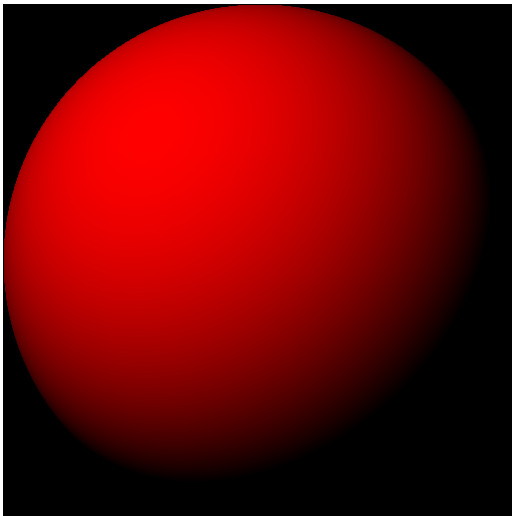
- Mi az összefüggés az intenzitás és a 3D alak között?
 - Reflexiós térkép (Reflectance Map)

REFLEXIÓS MODELLEK

LAMBERT MODELL

$$E = L \rho \cos \theta$$

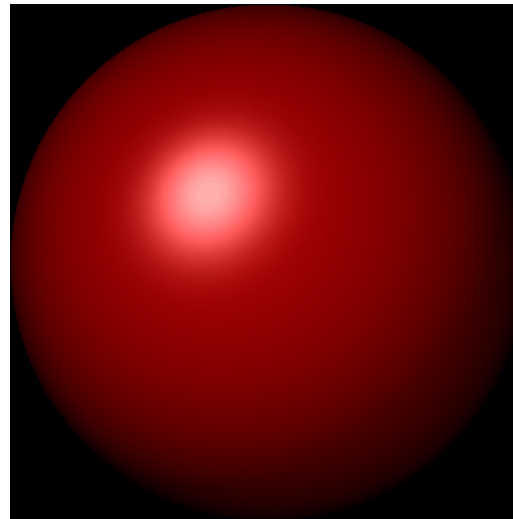
↑
albedo



PHONG MODELL

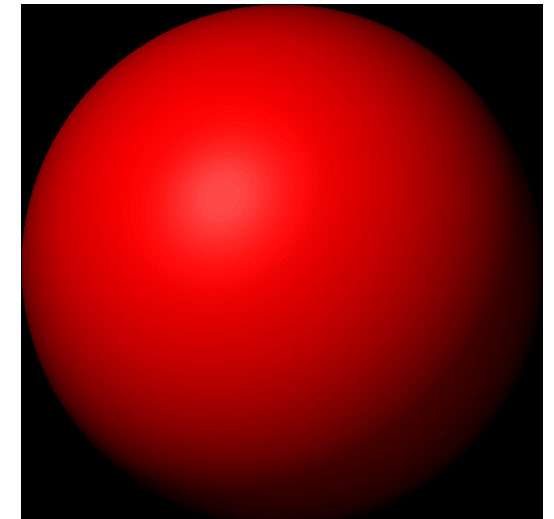
$$E = L (a \cos \theta + b \cos^n \alpha)$$

↑
Diffuz
albedo



$a=0.3, b=0.7, n=2$

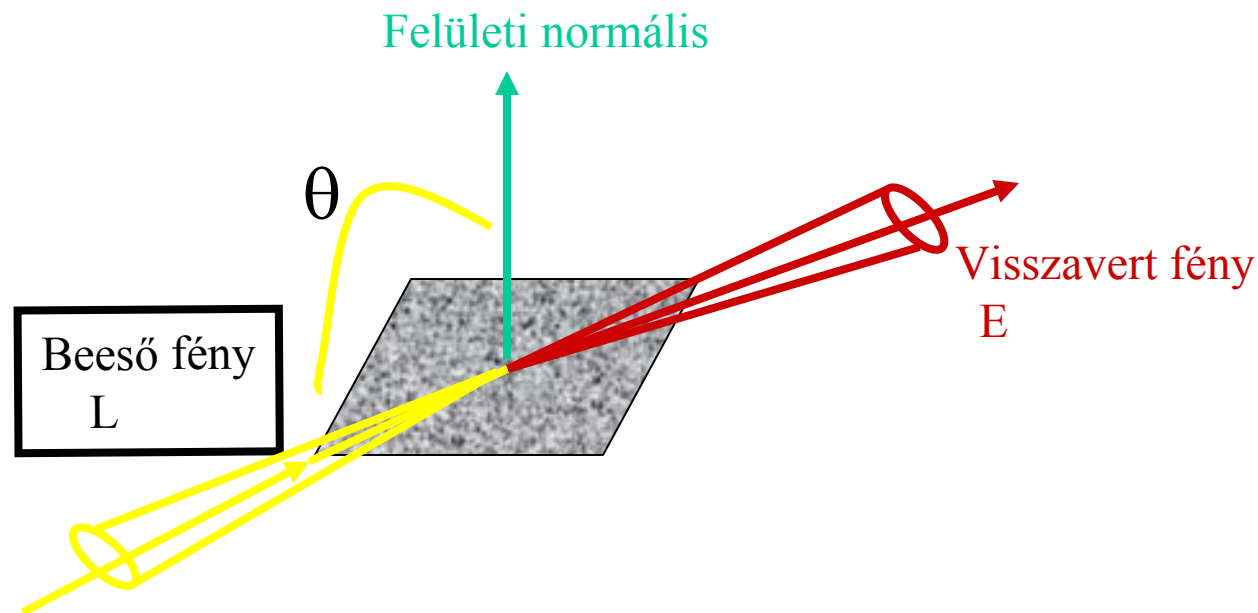
↑
Tükröződő
albedo



$a=0.7, b=0.3, n=0.5$

REFLEXIÓS MODELLEK

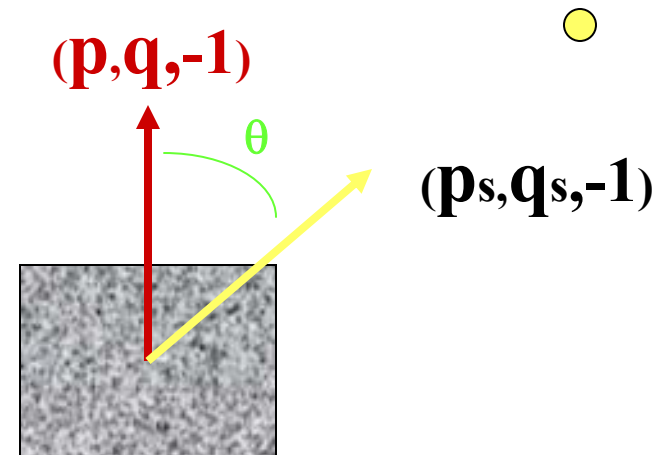
- Az objektumra beeső fényenergia hogyan verődik vissza a kamera érzékelőre?



LAMBERT REFLEXIÓS TÉRKÉP

LAMBERT MODELL

$$E = L \rho \cos \theta$$



$$\cos \theta = \frac{1 + pp_s + qq_s}{\sqrt{1 + p^2 + q^2} \sqrt{1 + p_s^2 + q_s^2}}$$

LAMBERT REFLEXIÓS TÉRKÉP

$$E = L\rho \frac{1 + pp_s + qq_s}{\sqrt{1 + p^2 + q^2} \sqrt{1 + p_s^2 + q_s^2}}$$

Azonos intenzitást generáló felületi normálisok a (p,q) gradiens térben az alábbi egyenlettel illetve görbékkel írhatók le

$$I = \frac{1 + pp_s + qq_s}{\sqrt{1 + p^2 + q^2} \sqrt{1 + p_s^2 + q_s^2}}$$

Reflexiós térkép (Reflectance Map)

- Összefüggést teremt az $I(x,y)$ képintenzitás és a felületi normális (p,q) orientációja között
- Lambert szórás:

k : fényforrás fényerő

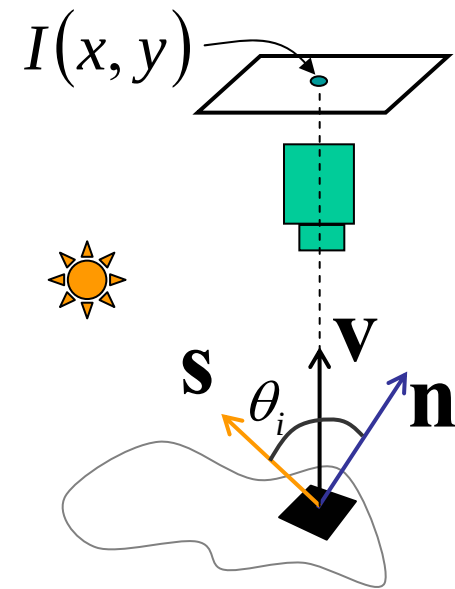
ρ : felület albedo (reflexió)

c : constans (optikai rendszer)

Képintenzitás:

$$I = \frac{\rho}{\pi} k c \cos \theta_i = \frac{\rho}{\pi} k c \mathbf{n} \cdot \mathbf{s}$$

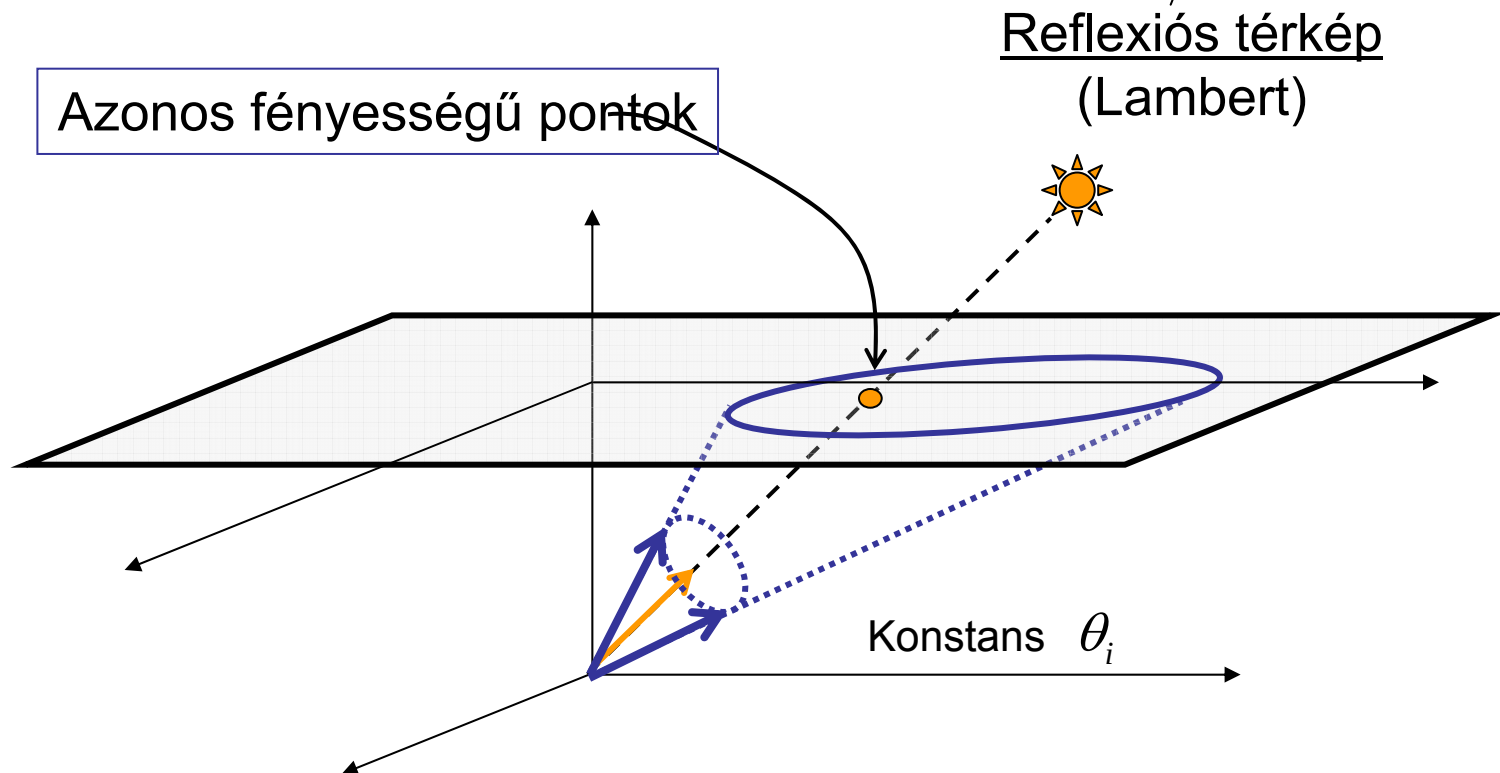
Ha $\frac{\rho}{\pi} k c = 1$ akkor $I = \cos \theta_i = \mathbf{n} \cdot \mathbf{s}$



Reflexiós térkép (Reflectance Map)

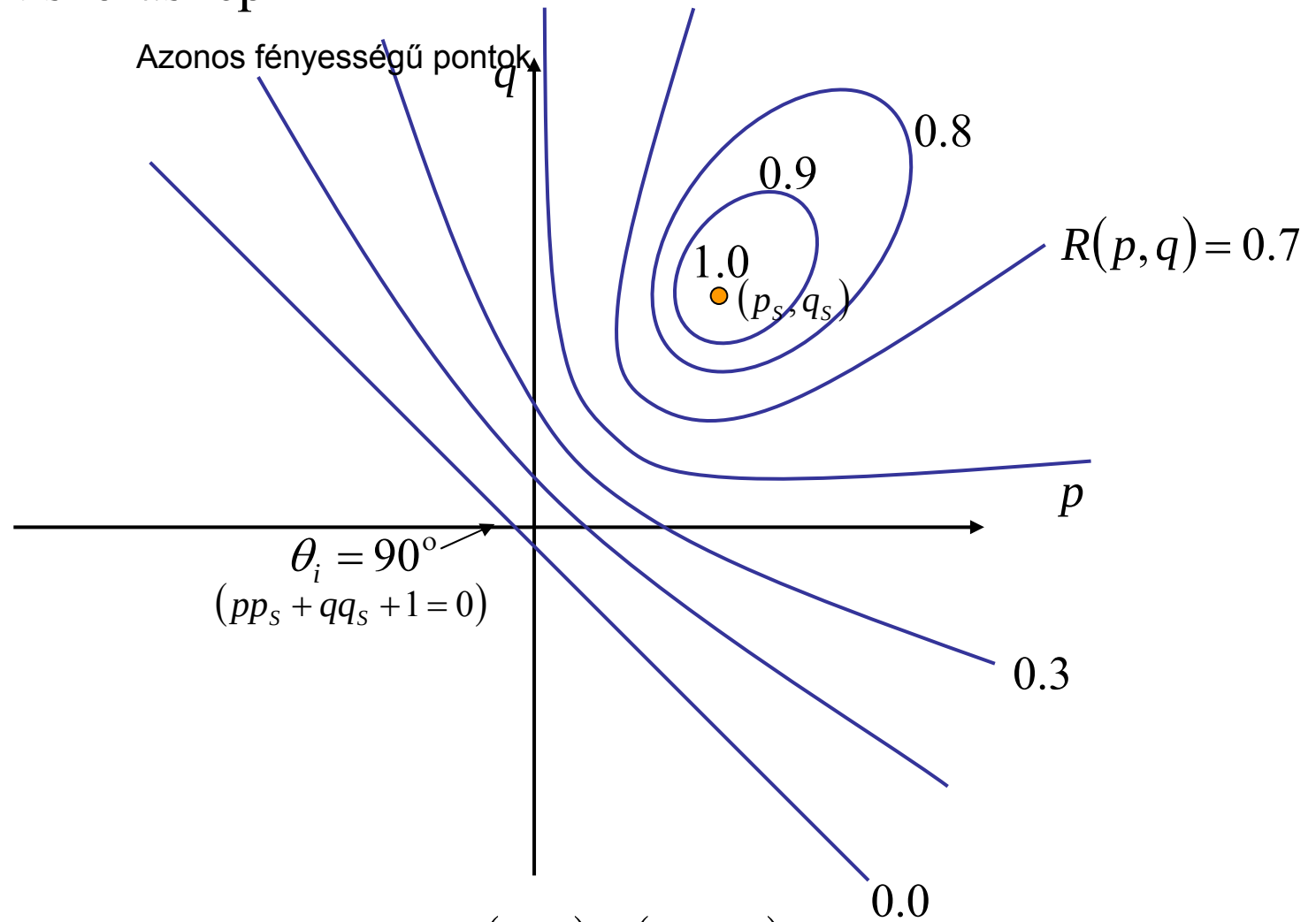
- Lambert szórás esetén

$$I = \cos \theta_i = \mathbf{n} \cdot \mathbf{s} = \frac{(pp_s + qq_s + 1)}{\sqrt{p^2 + q^2 + 1} \sqrt{p_s^2 + q_s^2 + 1}} = R(p, q)$$



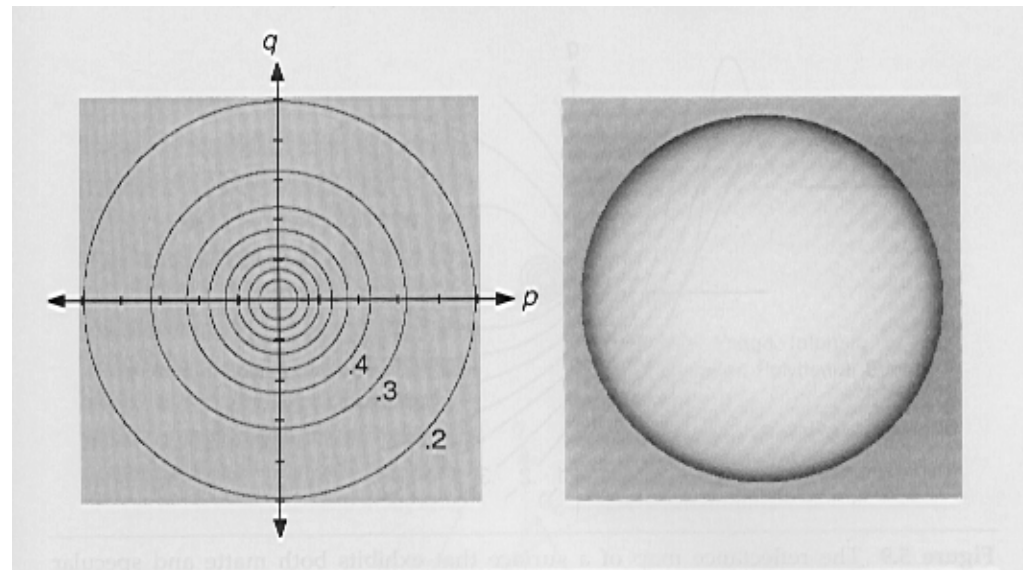
Reflexiós térkép (Reflectance Map)

- Lambert szóráskép



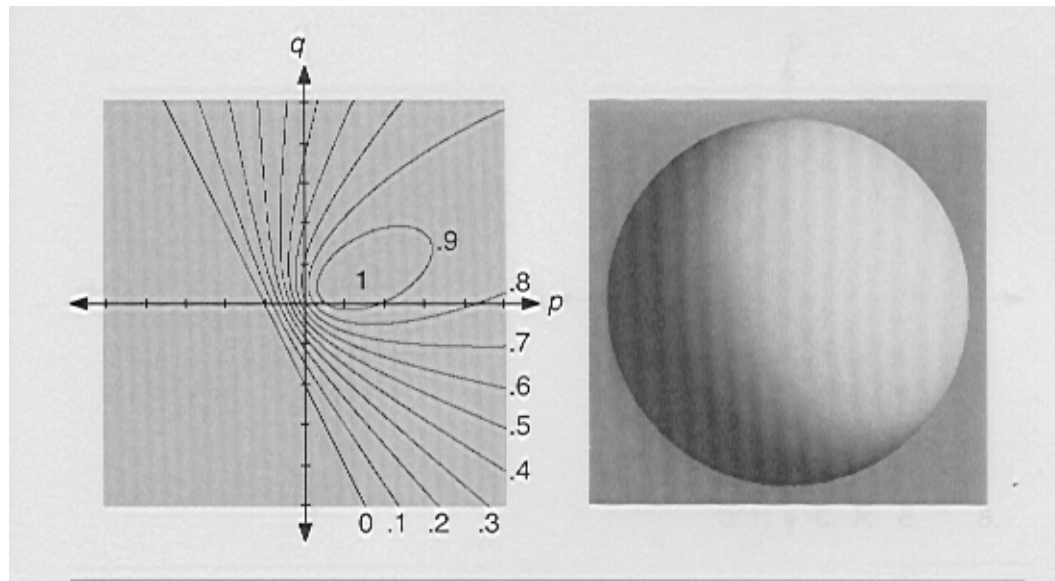
Megjegyzés: maximális a visszaverődés, ha $(p, q) = (p_s, q_s)$

LAMBERT REFLEXIÓS TÉRKÉP



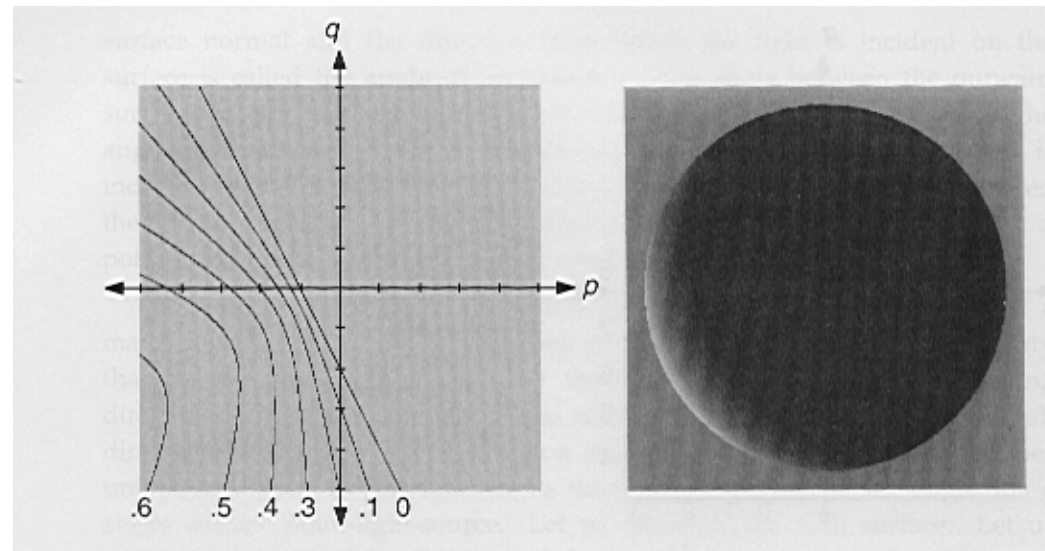
$$\mathbf{p}_{s=0} \quad \mathbf{q}_{s=0}$$

LAMBERT REFLEXIÓS TÉRKÉP



$$p_s=0.7 \quad q_s=0.3$$

LAMBERT REFLEXIÓS TÉRKÉP

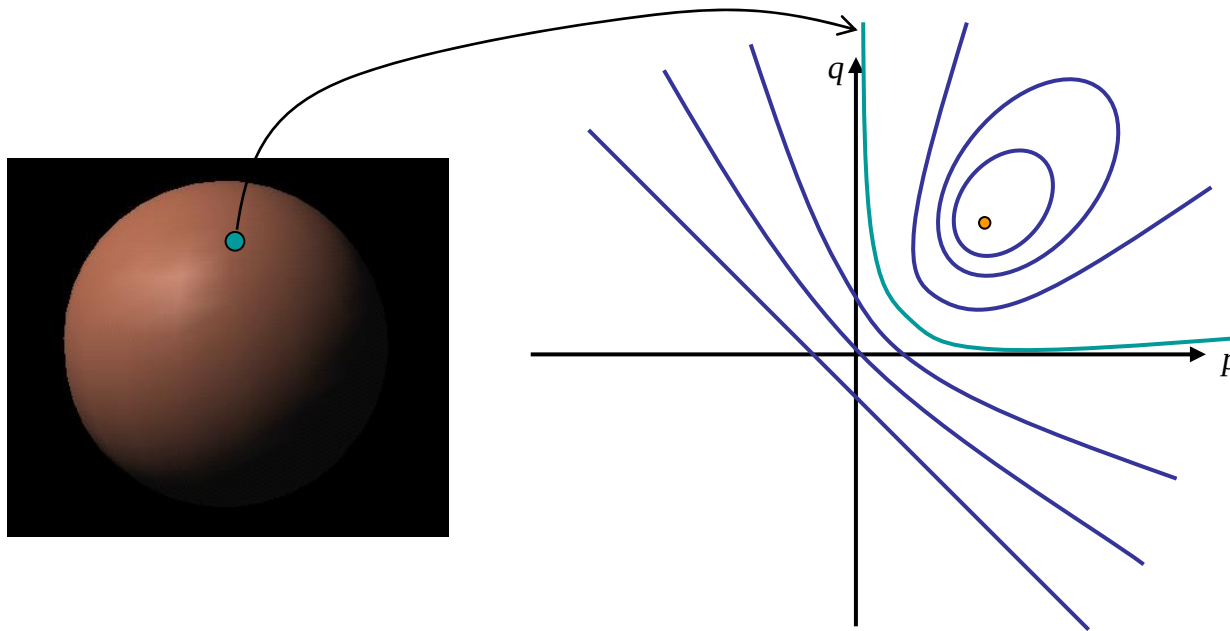


$$\mathbf{p}_s = -1 \quad \mathbf{q}_s = -1$$

3D alakot egyetlen képből?

- Adott egy objektumról egyetlen kép (ismertek még a felület reflexiós tulajdonságai és a megvilágítás paraméterei)
Visszaállítható a 3D objektum alakja?

(Adott $R(p,q)$, $((p_s, q_s))$. Meg tudjuk határozni (p,q) értékét minden képpontra?)



Nem!

3. Fotometrikus sztereo

Megoldások

1. Több kép felvétele

- Fotometrikus sztereo

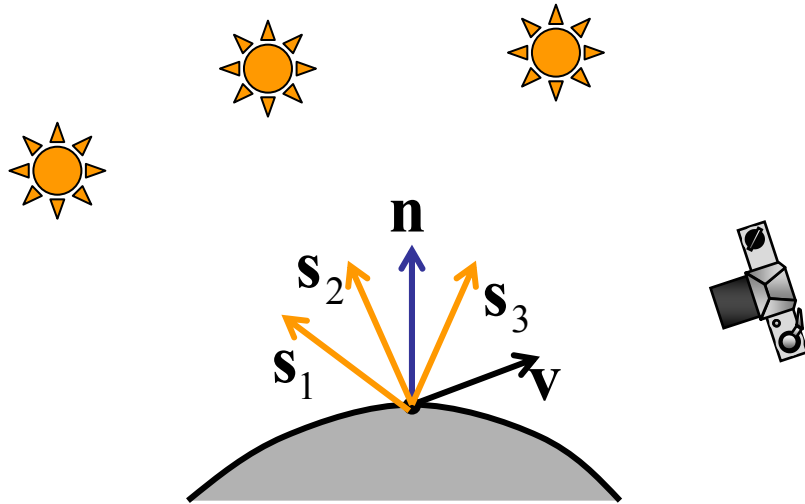
2. Több megkötés alkalmazása

- Shape-from-shading

Fotometrikus sztereó

- **Egyszerűsítő feltételezések:**
 - Lokális árnyékolási modell
 - Végtelen távolságban lévő pontszerű megvilágítás
 - Különböző fényforrások által egyenként generált képek sorozata készül ugyanazon kamerapozícióból
 - Diffúz (Lambert) felületi tulajdonságok

Fotometrikus sztereo



Lambert eset:

$$I = \frac{\rho}{\pi} kc \cos \theta_i = \rho \mathbf{n} \cdot \mathbf{s} \quad \left(\frac{kc}{\pi} = 1 \right)$$

képintenzitás:

$$I_1 = \rho \mathbf{n} \cdot \mathbf{s}_1$$

$$I_2 = \rho \mathbf{n} \cdot \mathbf{s}_2$$

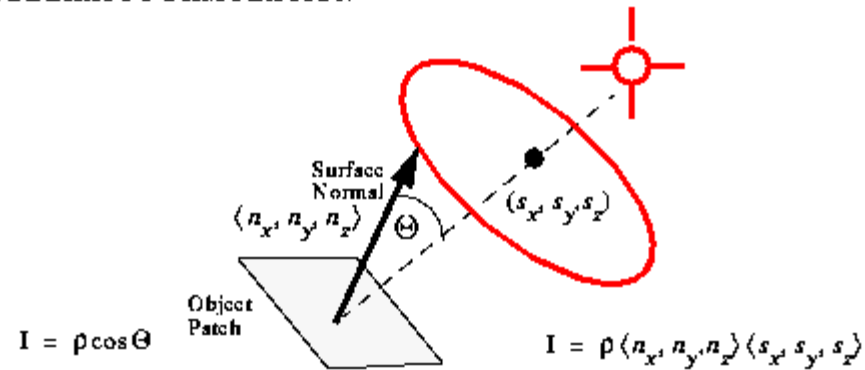
$$I_3 = \rho \mathbf{n} \cdot \mathbf{s}_3$$

- Mátrix alakban:

$$\begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_3 \end{bmatrix} = \rho \begin{bmatrix} \mathbf{s}_1^T \\ \mathbf{s}_2^T \\ \mathbf{s}_3^T \end{bmatrix} \mathbf{n}$$

CONSTRAINING SURFACE ORIENTATION FROM REFLECTANCE AND MULTIPLE ILLUMINATION

ALGEBRAIC FORMULATION

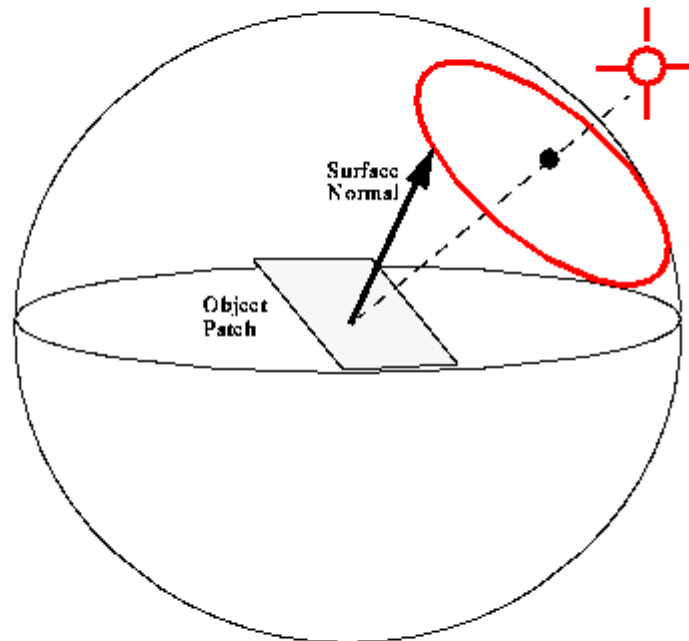


With Three light sources we have the following Matrix Equation:

$$\begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_3 \end{bmatrix} = \rho \begin{bmatrix} s_x^1 & s_y^1 & s_z^1 \\ s_x^2 & s_y^2 & s_z^2 \\ s_x^3 & s_y^3 & s_z^3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} n_x \\ n_y \\ n_z \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} s_x^1 & s_y^1 & s_z^1 \\ s_x^2 & s_y^2 & s_z^2 \\ s_x^3 & s_y^3 & s_z^3 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_3 \end{bmatrix} = \rho \begin{bmatrix} n_x \\ n_y \\ n_z \end{bmatrix}$$

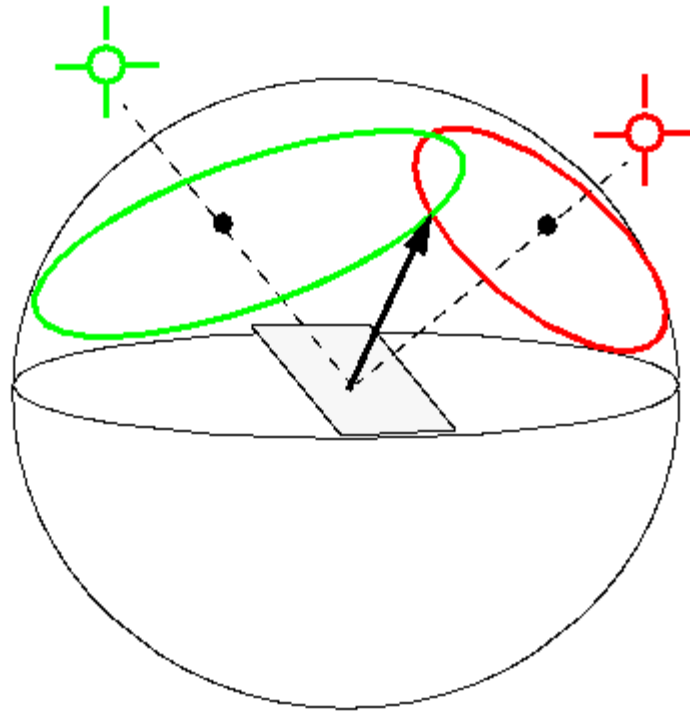
CONSTRAINING SURFACE ORIENTATION FROM REFLECTANCE AND MULTIPLE ILLUMINATION



UNIT SPHERE WITH NORTHERN HEMISPHERE REPRESENTING ALL POSSIBLE VISIBLE SURFACE ORIENTATIONS

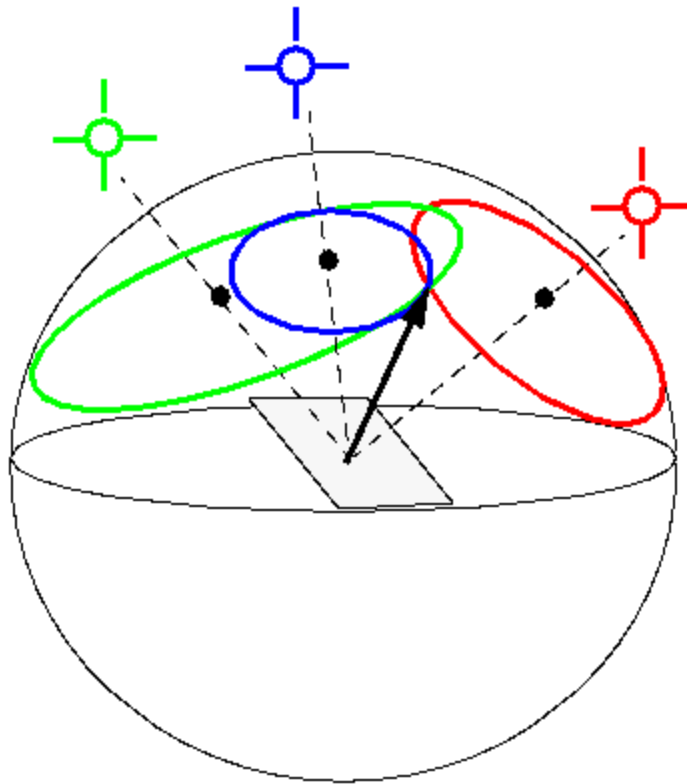
UNDER THE ASSUMPTION OF LAMBERT'S LAW, A SINGLE LIGHT SOURCE CONSTRAINS A SURFACE NORMAL TO A CONE

CONSTRAINING SURFACE ORIENTATION FROM REFLECTANCE AND MULTIPLE ILLUMINATION



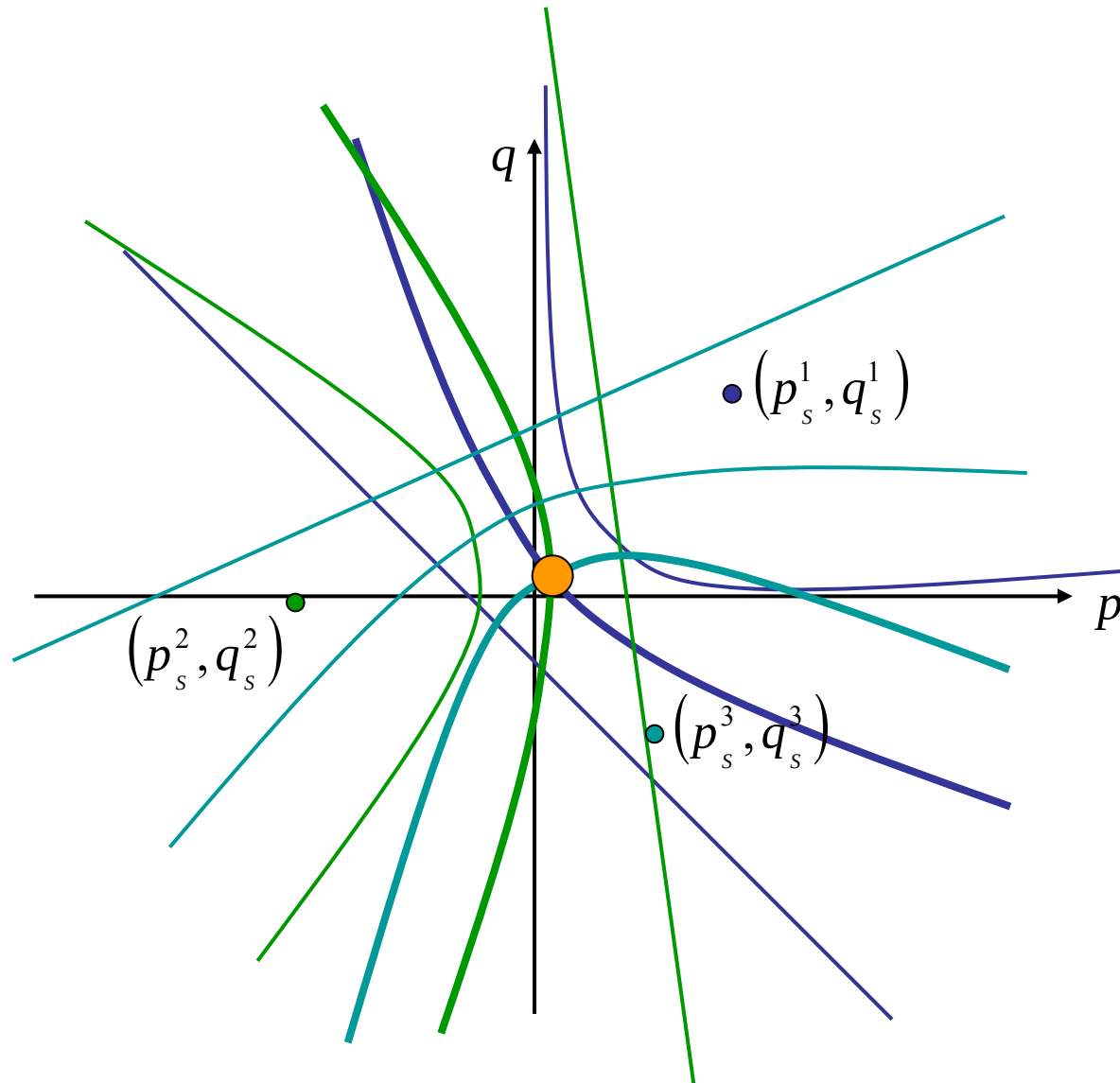
WITH TWO LIGHT SOURCES AND THE ACCURATE ASSUMPTION OF LAMBERT'S
LAW, SURFACE NORMAL CAN BE CONSTRAINED TO A FINITE NUMBER OF POSSI-
BLE ORIENTATIONS

CONSTRAINING SURFACE ORIENTATION FROM REFLECTANCE AND MULTIPLE ILLUMINATION



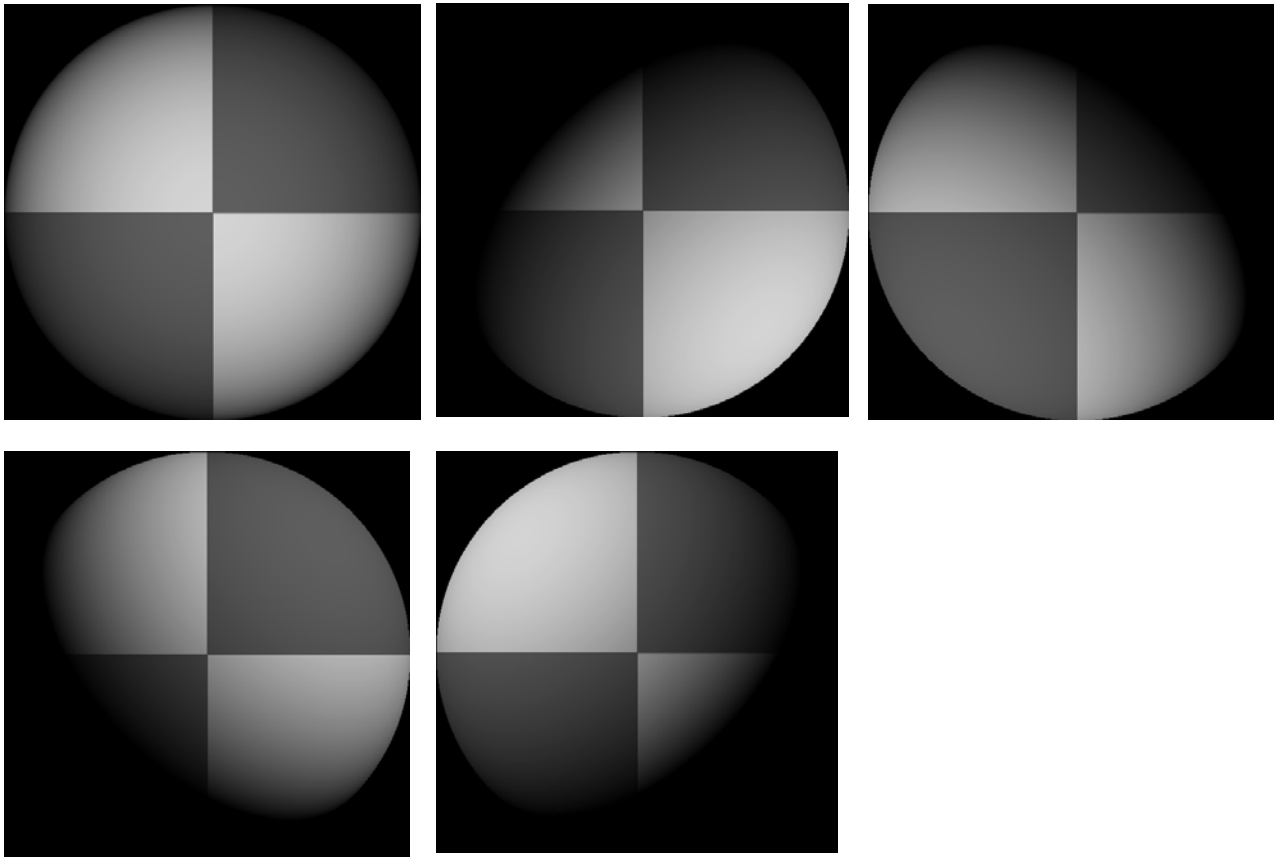
WITH THREE LIGHT SOURCES WITH NON-COPLANAR INCIDENT ORIENTATIONS,
THE SURFACE NORMAL CAN BE CONSTRAINED UNIQUELY (UNDER THE ASSUMPTION OF LAMBERT'S LAW)

Fotometrikus sztereo

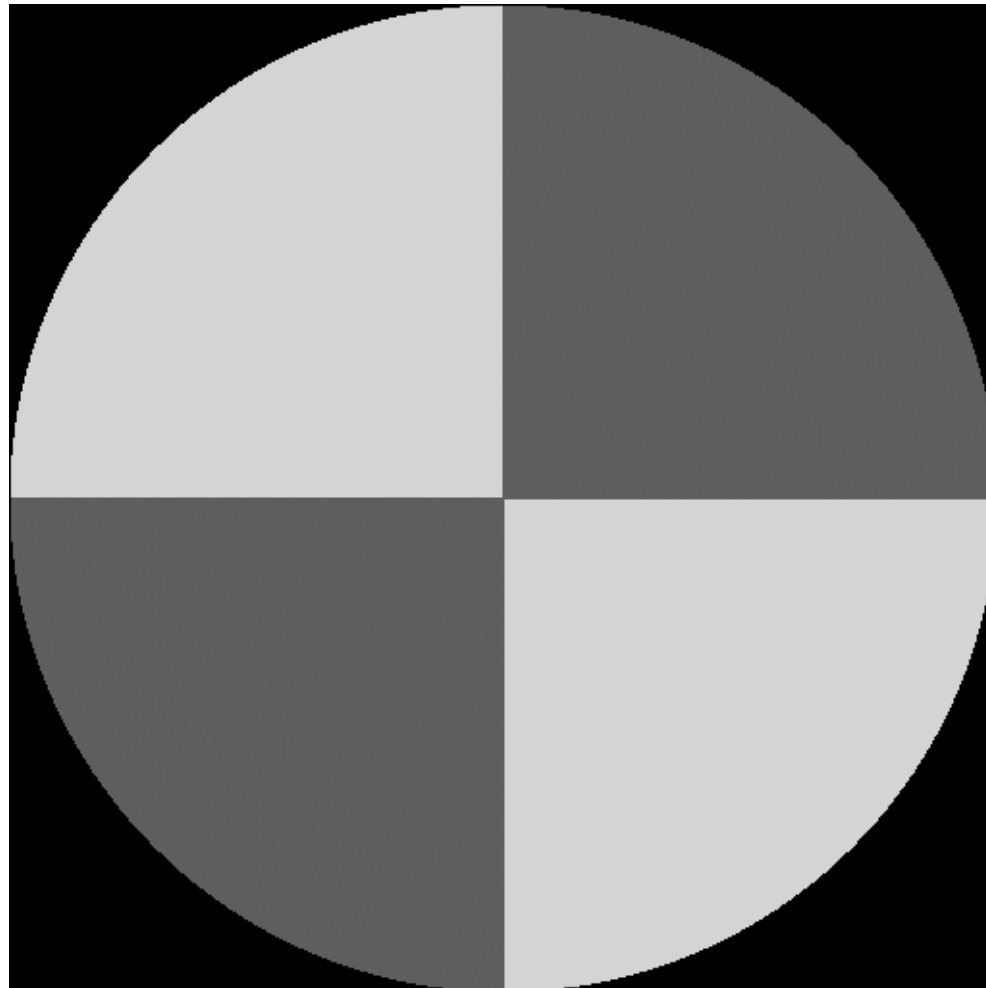


Példa

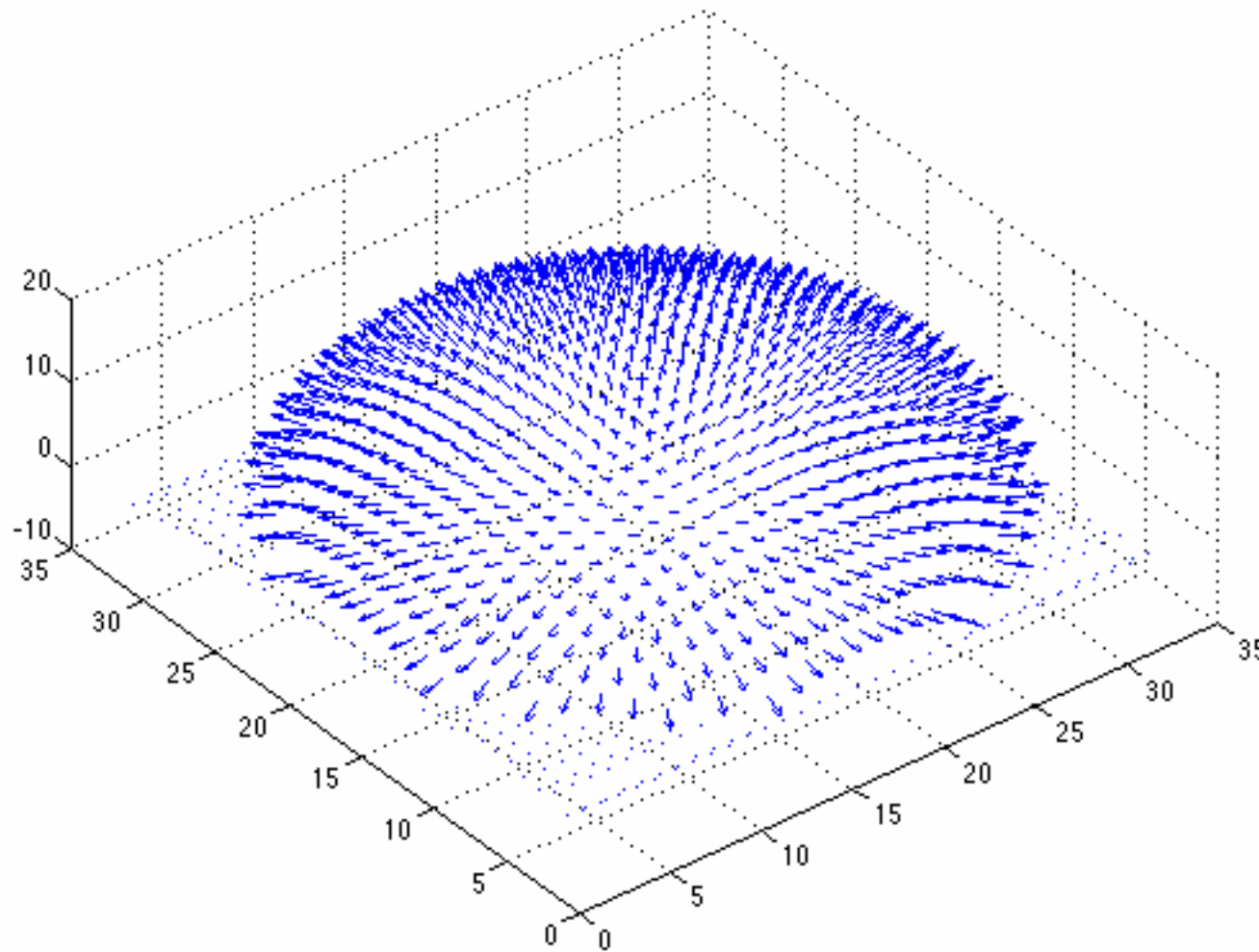
fotometrikus képsorozat



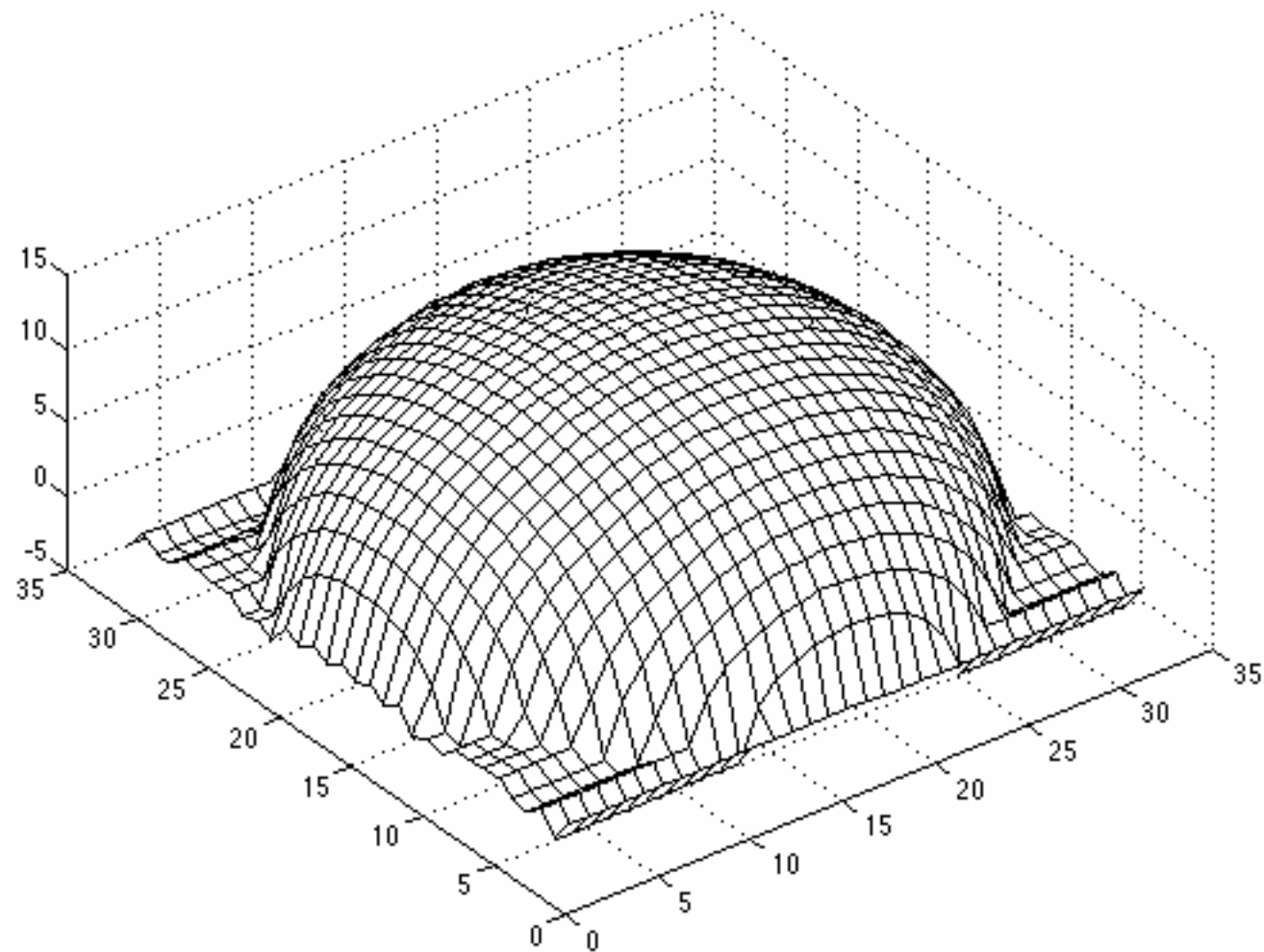
Visszaállítható a felületi reflexió tulajdonság



Visszaállítható a felületi normális



Integrálással visszaállítható a felület is



4. Shape from shading

Megoldások

1. Több kép felvétele

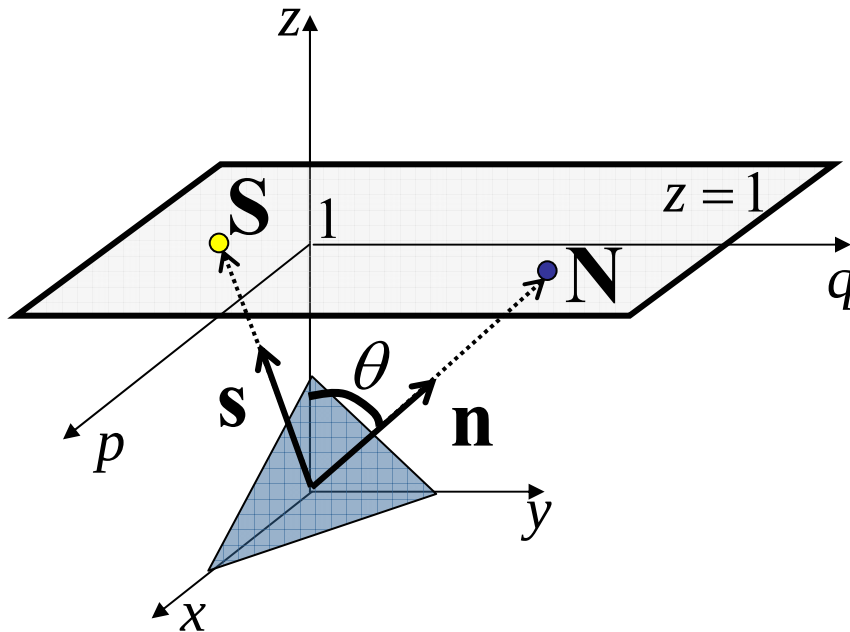
- Fotometrikus sztereo

2. Több megkötés alkalmazása

- Shape-from-shading

Shape from shading

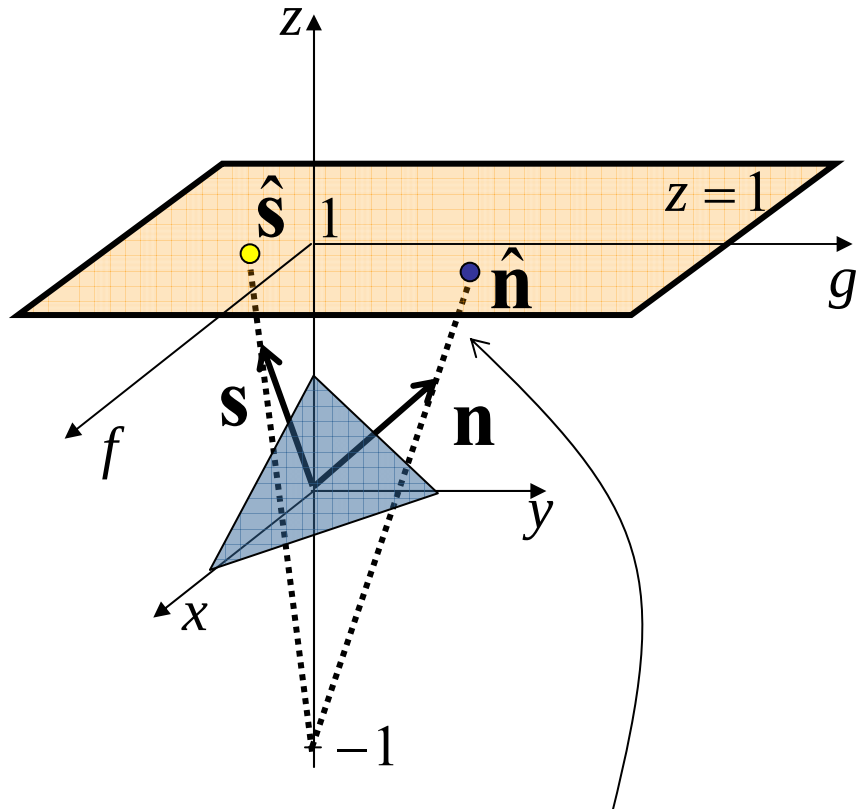
(p,q) gradients tér



Probléma

(p,q) lehet végtelen, ha $\theta = 90^\circ$

(f,g) tér



$$f = \frac{2p}{1 + \sqrt{1 + p^2 + q^2}} \quad g = \frac{2q}{1 + \sqrt{1 + p^2 + q^2}}$$

Átskálázzuk a reflexiós térképet: $R(f, g)$

Shape from shading – Intenzitás illesztés (1)

- Képintenzitásoknak és a reflexiós térképnek leginkább passzolni kell!

Minimum keresés:

$$e_i = \iint_{\text{képen}} (I(x, y) - R(f, g))^2 dx dy$$

(minimalizáljuk a „hibát”)

Shape from shading - Simasági kényszer (2)

- Összefüggés van a szomszédos felületi pontok (f,g) orientációja között

Minimum keresés:

$$e_s = \iint_{\text{képen}} (f_x^2 + f_y^2) + (g_x^2 + g_y^2) dx dy$$

(f, g) : felületi orientációra

$$f_x = \frac{\partial f}{\partial x}, f_y = \frac{\partial f}{\partial y}, g_x = \frac{\partial g}{\partial x}, g_y = \frac{\partial g}{\partial y}$$

(bünteti a hirtelen f és g irányváltásokat)

Shape from shading (1)+(2) kényszerekkel

- Keressük (f,g) orientációt minden képpontban úgy, hogy minimalizáljuk:

$$e = e_s + \lambda e_i$$

súly
↓

↑
Simasági kényszer

↑
Képintenzitás illesztés

Minimum keresés:

$$e = \iint_{\text{képen}} (f_x^2 + f_y^2) + (g_x^2 + g_y^2) + \lambda (I(x, y) - R(f, g))^2 dx dy$$

Shape-from-Shading - Ikeuchi & Horn 89

- **Simasági hiba** (i,j) képpontban

$$s_{i,j} = \frac{1}{4} \left((f_{i+1,j} - f_{i,j})^2 + (f_{i,j+1} - f_{i,j})^2 + (g_{i+1,j} - g_{i,j})^2 + (g_{i,j+1} - g_{i,j})^2 \right)$$

Több szomszéd figyelembevétele esetén „símább” eredményt kapnánk

- **Intenzitás hiba** (i,j) képpontban

$$r_{i,j} = \left(I_{i,j} - R(f_{i,j}, g_{i,j}) \right)^2$$

Minimum keresés:

$$\begin{matrix} \{f_{i,j}\} & \{g_{i,j}\} \\ e = \sum_i \sum_j (s_{i,j} + \lambda r_{i,j}) \end{matrix}$$

Shape-from-Shading - Ikeuchi & Horn 89

$$\{f_{i,j}\} \text{ és } \{g_{i,j}\} \text{ Minimalizálni: } e = \sum_i \sum_j (s_{i,j} + \lambda r_{i,j})$$

ha $f_{k,l}$ és $g_{k,l}$ minimalizálja e , akkor $\frac{\partial e}{\partial f_{k,l}} = 0, \frac{\partial e}{\partial g_{k,l}} = 0$

$$\frac{\partial e}{\partial f_{k,l}} = 2(f_{k,l} - \bar{f}_{k,l}) - 2\lambda(I_{k,l} - R(f_{k,l}, g_{k,l})) \frac{\partial R}{\partial f} \bigg|_{f_{k,l}} = 0$$

$$\frac{\partial e}{\partial g_{k,l}} = 2(g_{k,l} - \bar{g}_{k,l}) - 2\lambda(I_{k,l} - R(f_{k,l}, g_{k,l})) \frac{\partial R}{\partial g} \bigg|_{g_{k,l}} = 0$$

ahol $\bar{f}_{k,l}$ és $\bar{g}_{k,l}$ 4-szomszédú átlag (k,l) - ben

$$\bar{f}_{k,l} = \frac{1}{8}(f_{i+1,j} + f_{i,j+1} + f_{i-1,j} + f_{i,j-1})$$

$$\bar{g}_{k,l} = \frac{1}{8}(g_{i+1,j} + g_{i,j+1} + g_{i-1,j} + g_{i,j-1})$$

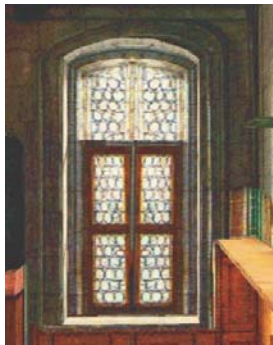
2. A 3D rekonstrukció egy képből

3D rekonstrukció egy képből

Szent Jeromos a dolgozójában (1630, Hendrick van Steenwijck)

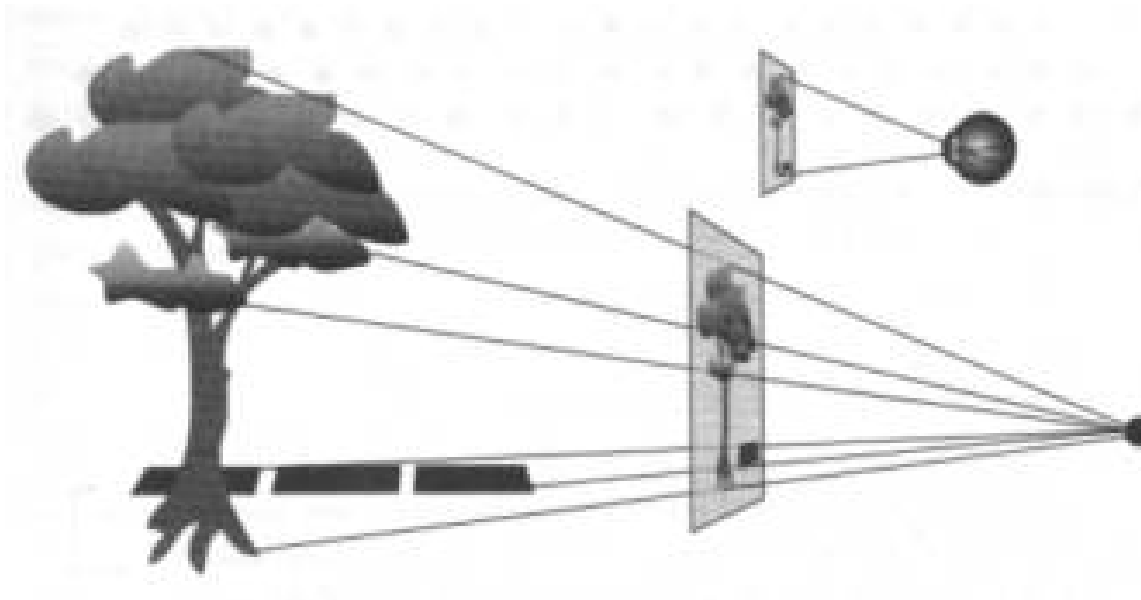
Feltételezésekkel kell élnünk:

- a festő tudott festeni
- valóságban párhuzamos egyenesek, horizont, ... keresése

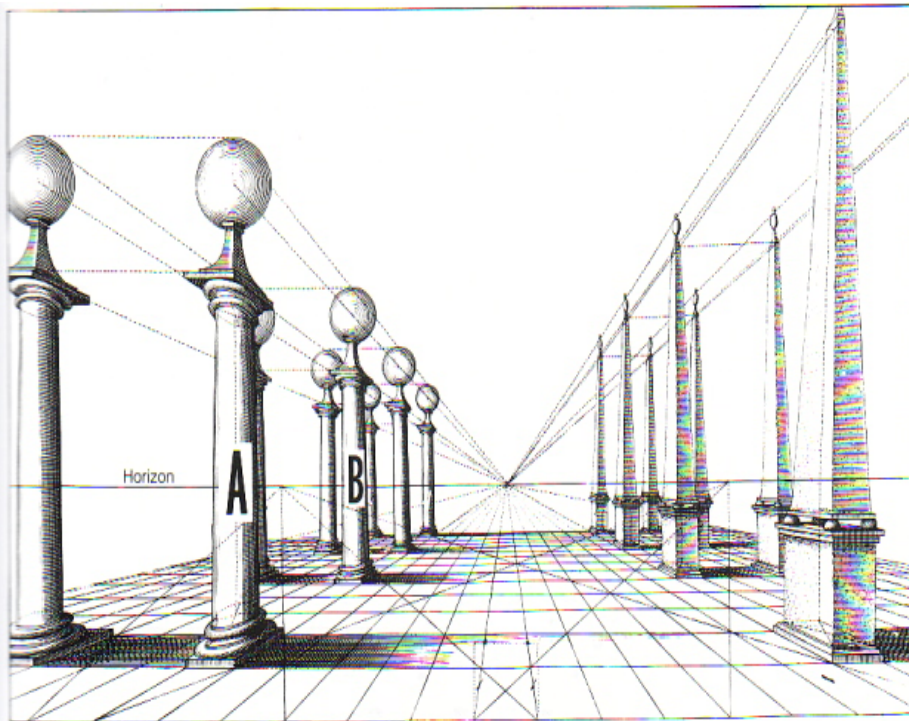


Perspektívikus tulajdonságok

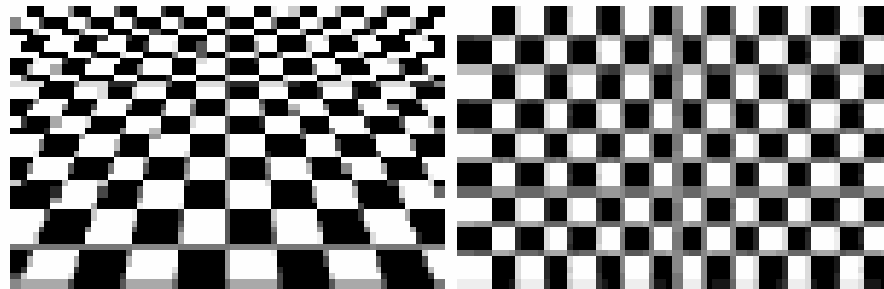
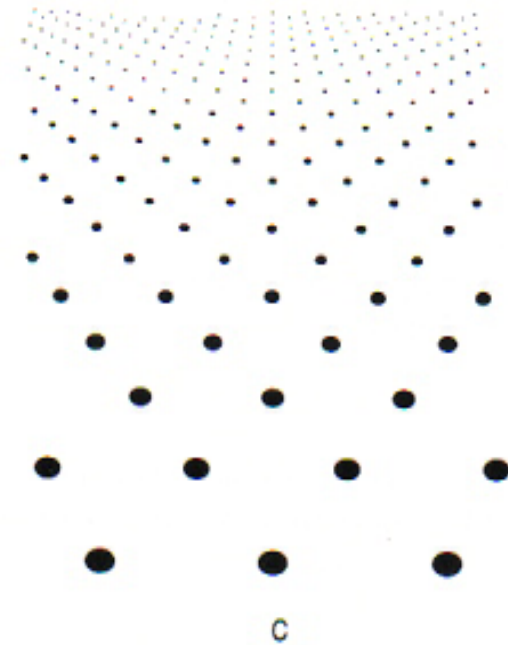
- Párhuzamos egyenesek konvergálnak
- Távoli objektumok kisebbek
- Távoli textúra elemek (texelek) kisebbek



Perspektivikus tulajdonságok



<http://www.wlu.ca/~wwwpsych/tsang/8Depth.ppt>



Perspektívikus tulajdonságok



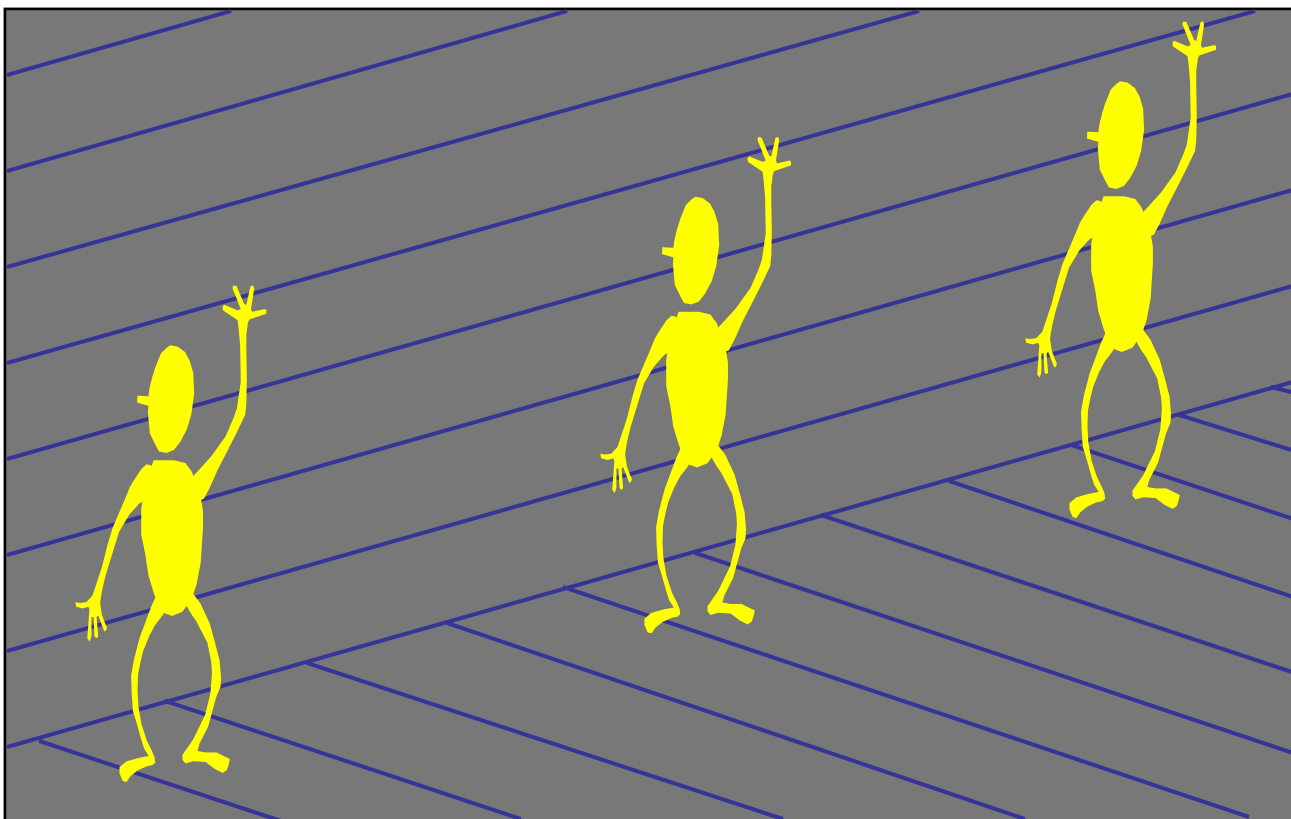
<http://www.wlu.ca/~wwwpsych/tsang/8Depth.ppt>

Perspektívikus tulajdonságok

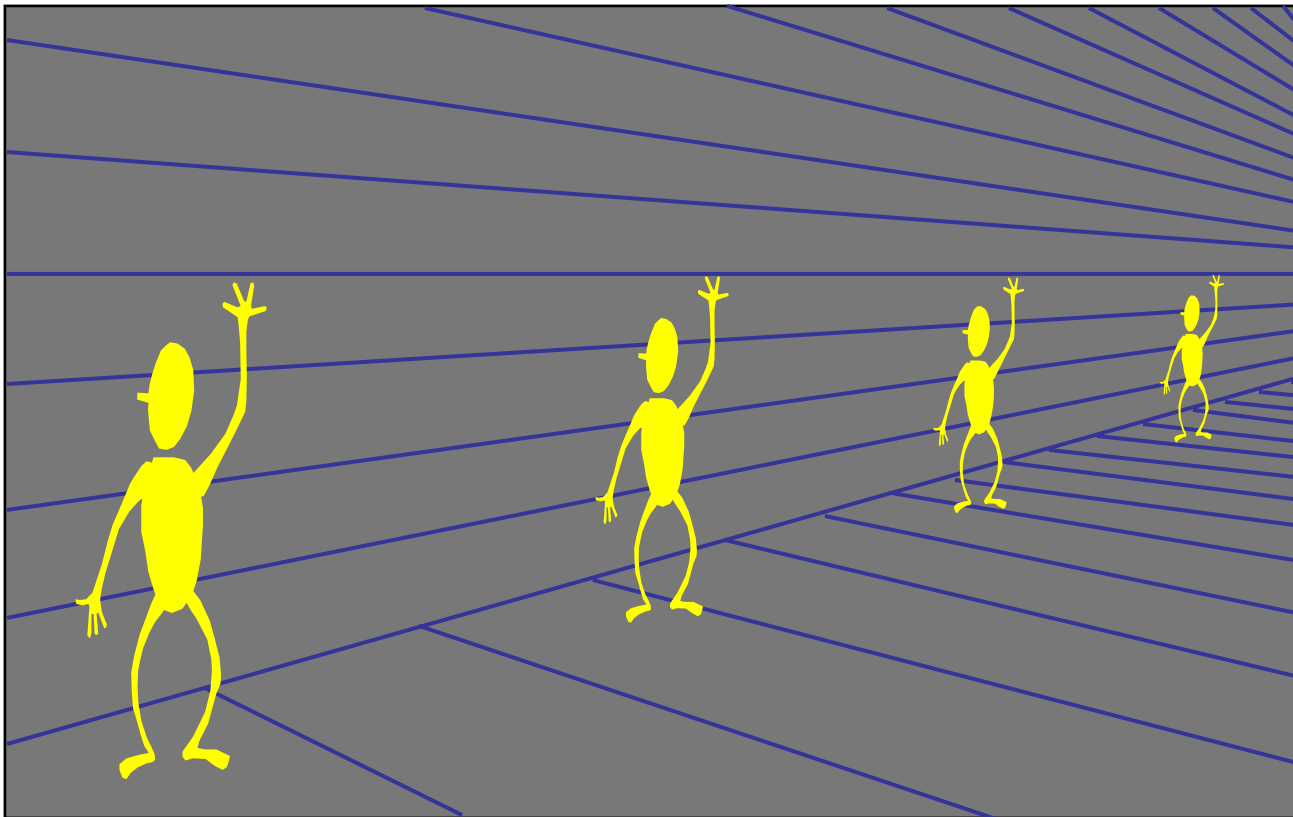


<http://www.wlu.ca/~wwwpsych/tsang/8Depth.ppt>

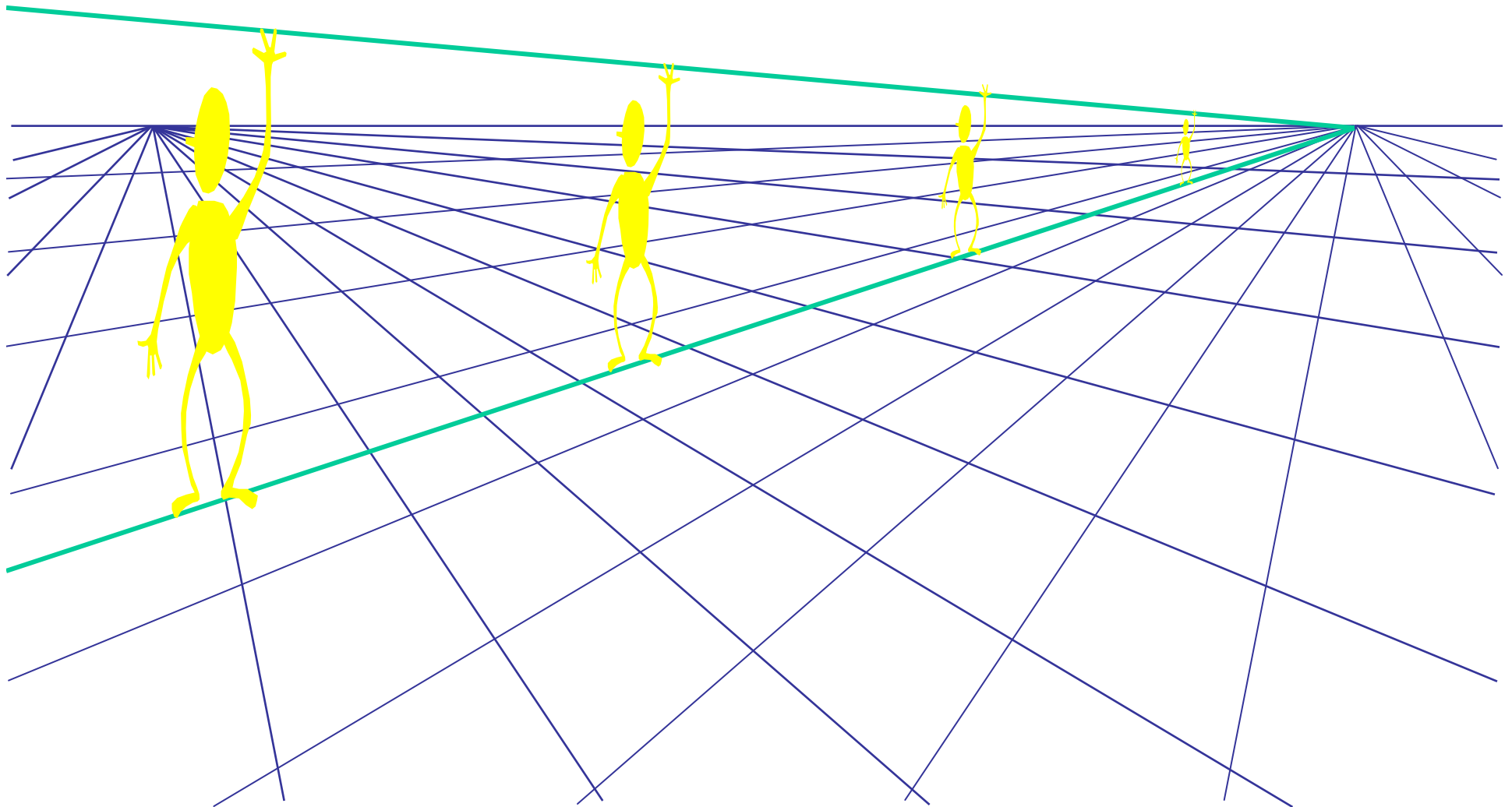
Perspektívikus tulajdonságok



Perspektívikus tulajdonságok

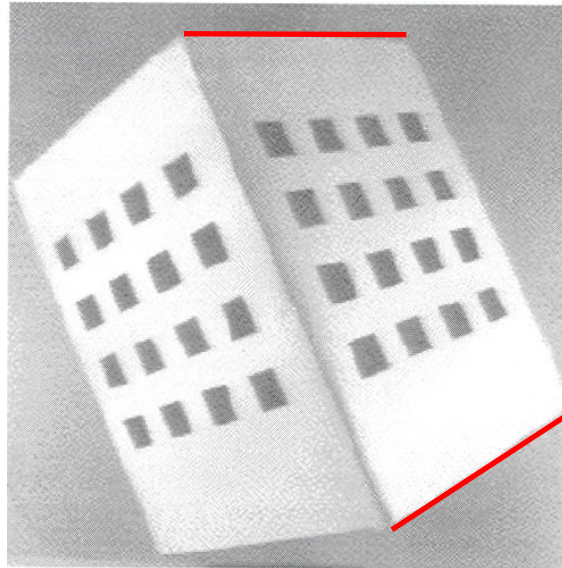


Az „eltűnő pont” fogalma



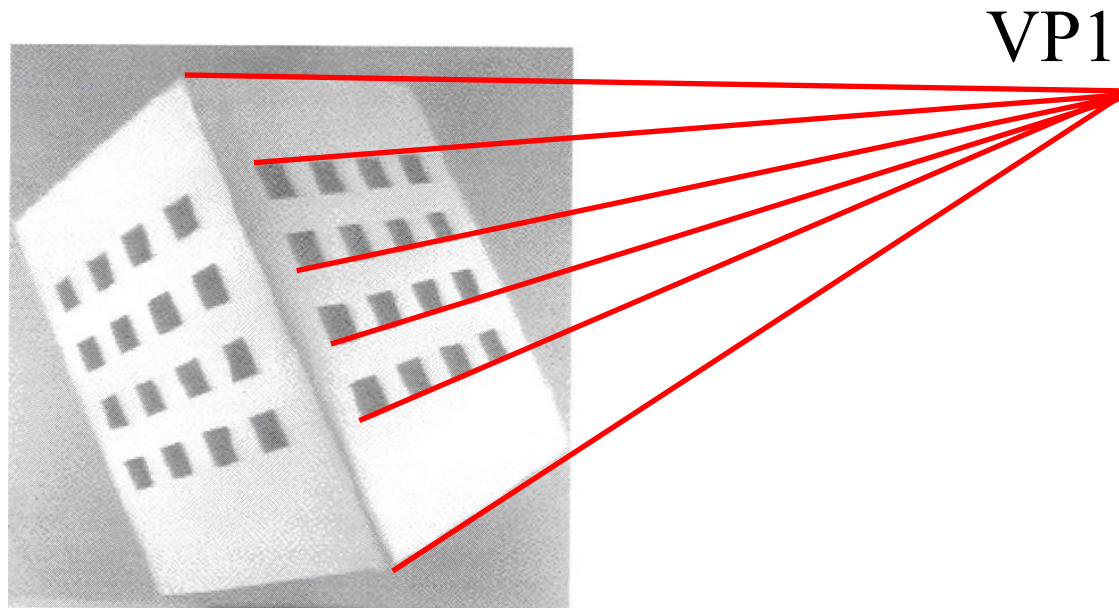
Optikai középpont megkeresése

- Optikai középpont: ahol a kamera optikai tengely metszi a képsíkot
- Eltűnő pontokból (Vanishing Point) határozzuk meg



Optikai középpont megkeresése

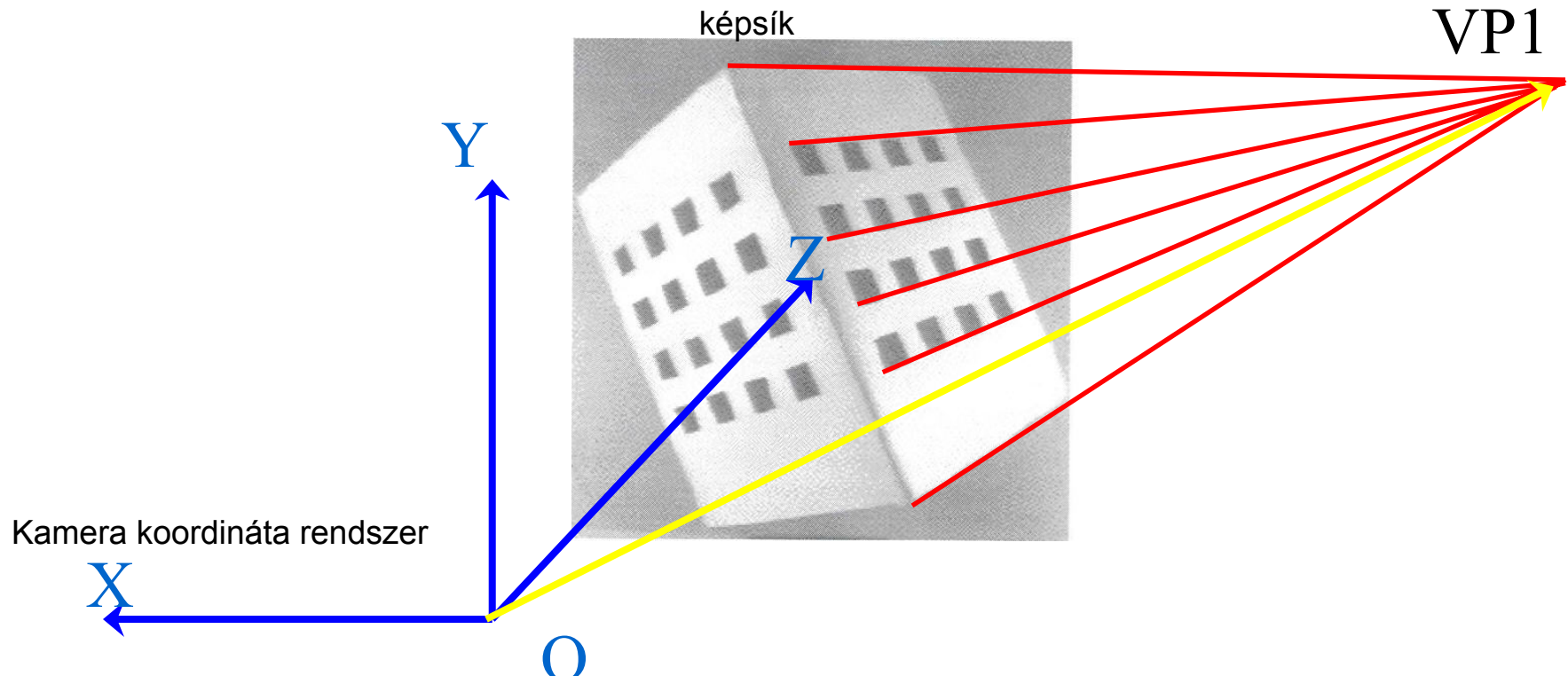
- Eltűnő pontokból (Vanishing Point)



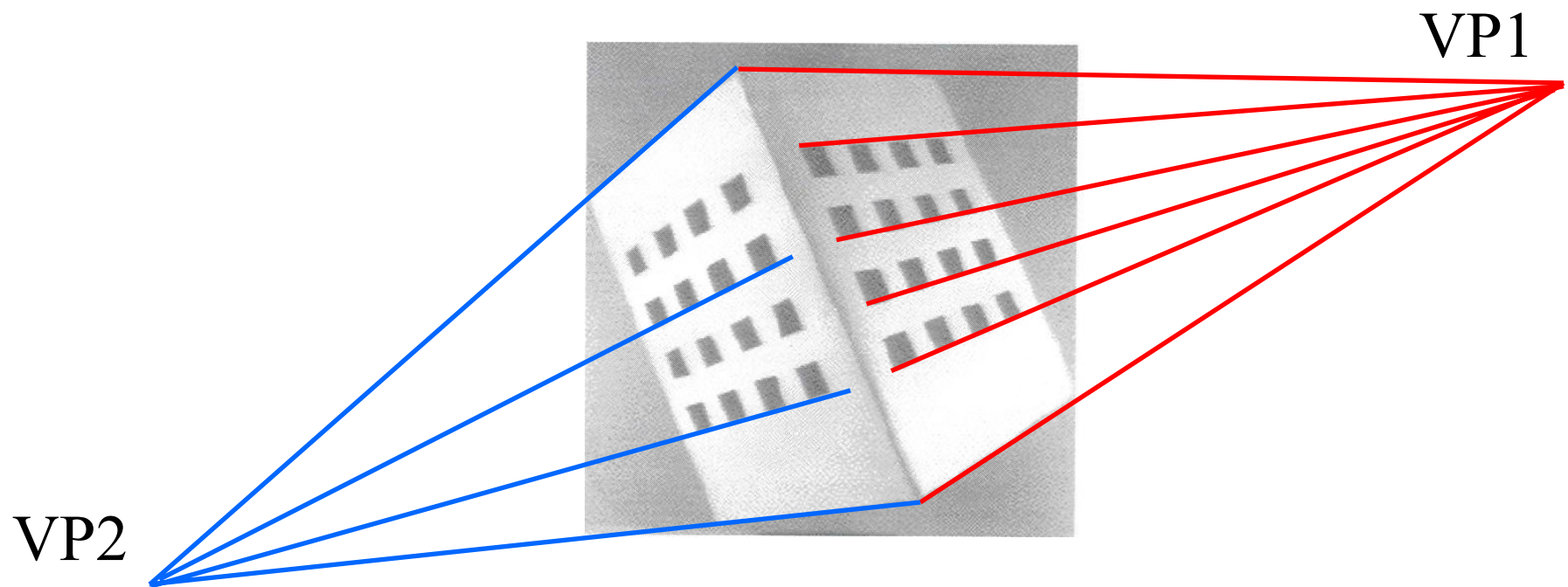
Optikai középpont megkeresése

Eltűnő pontokból (Vanishing Point)

Fontos tulajdonság: **OVP1 párhuzamos** az adott VP1-et meghatározó párhuzamos vonalakkal



Optikai középpont megkeresése

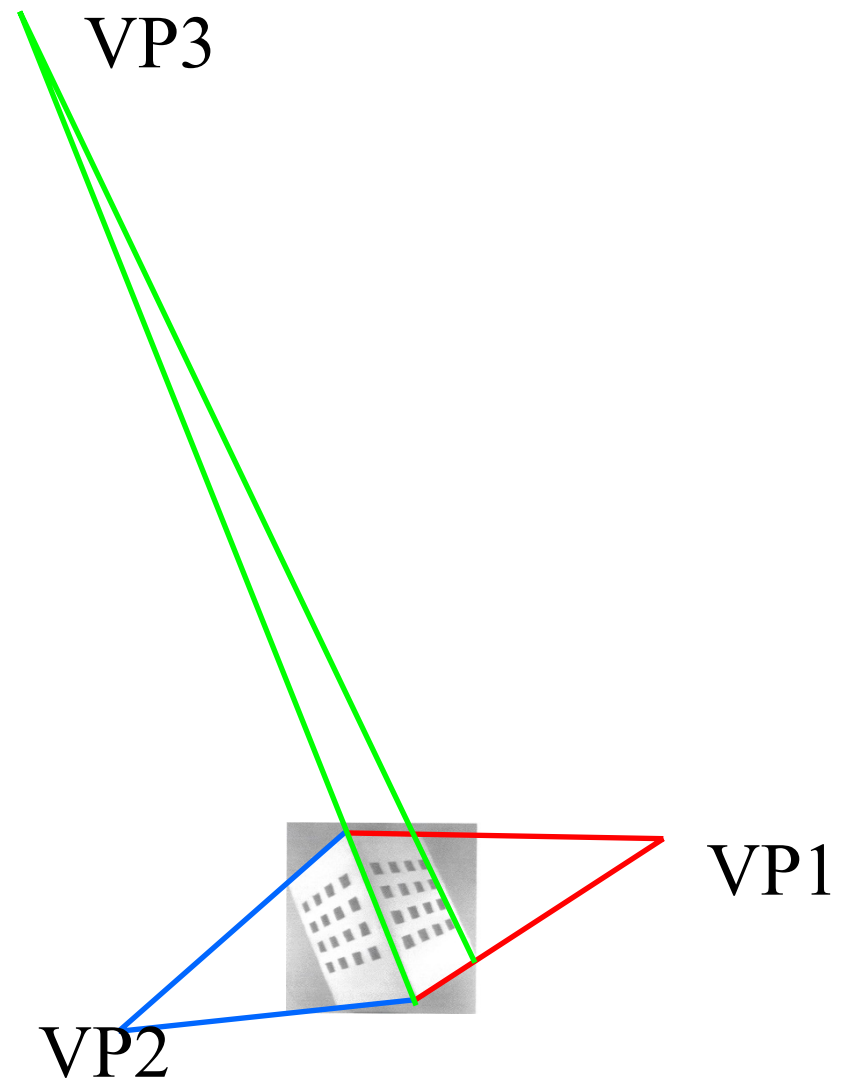


Optikai középpont megkeresése

adott:

párhuzamos egyenesek

minimum 3(!) ortogonális halmaza

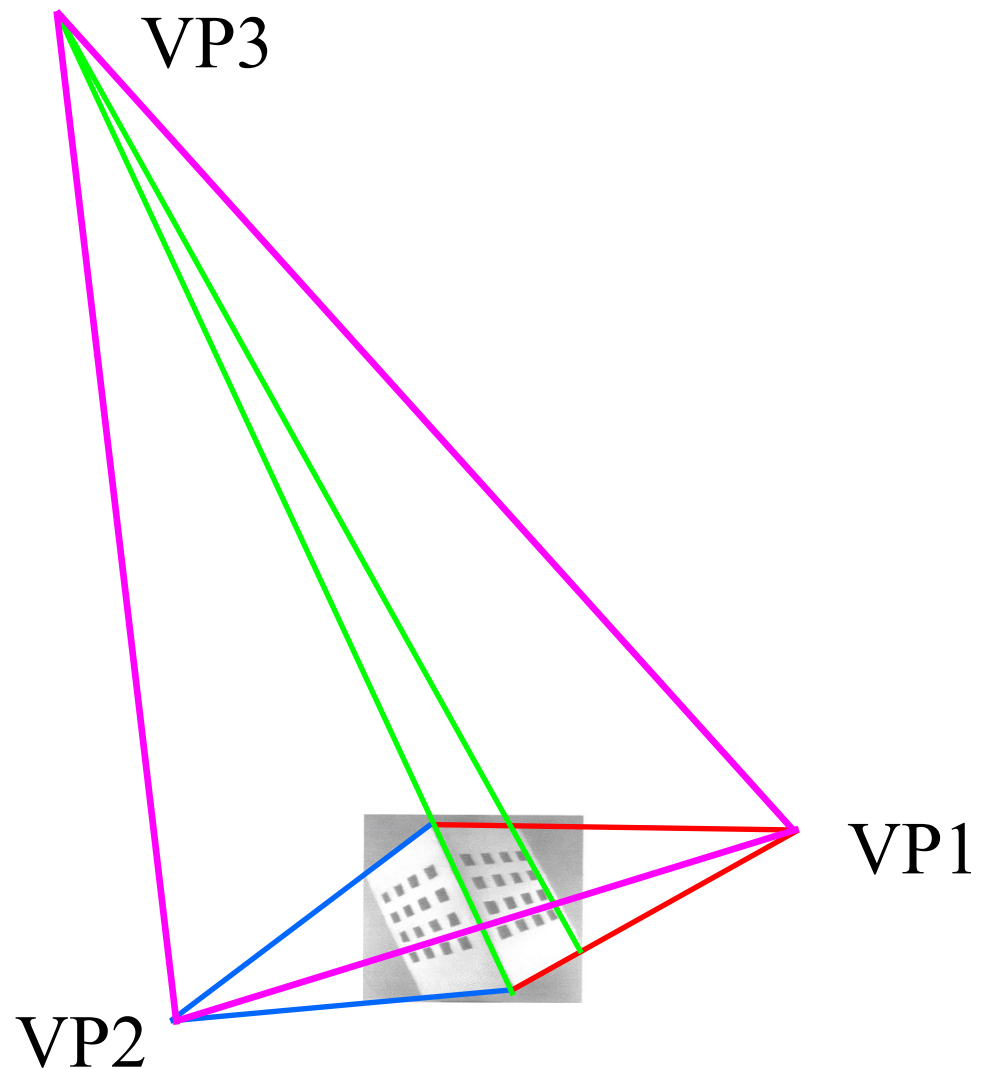


Optikai középpont megkeresése

adott:

párhuzamos egyenesek

minimum 3(!) ortogonális halmaza

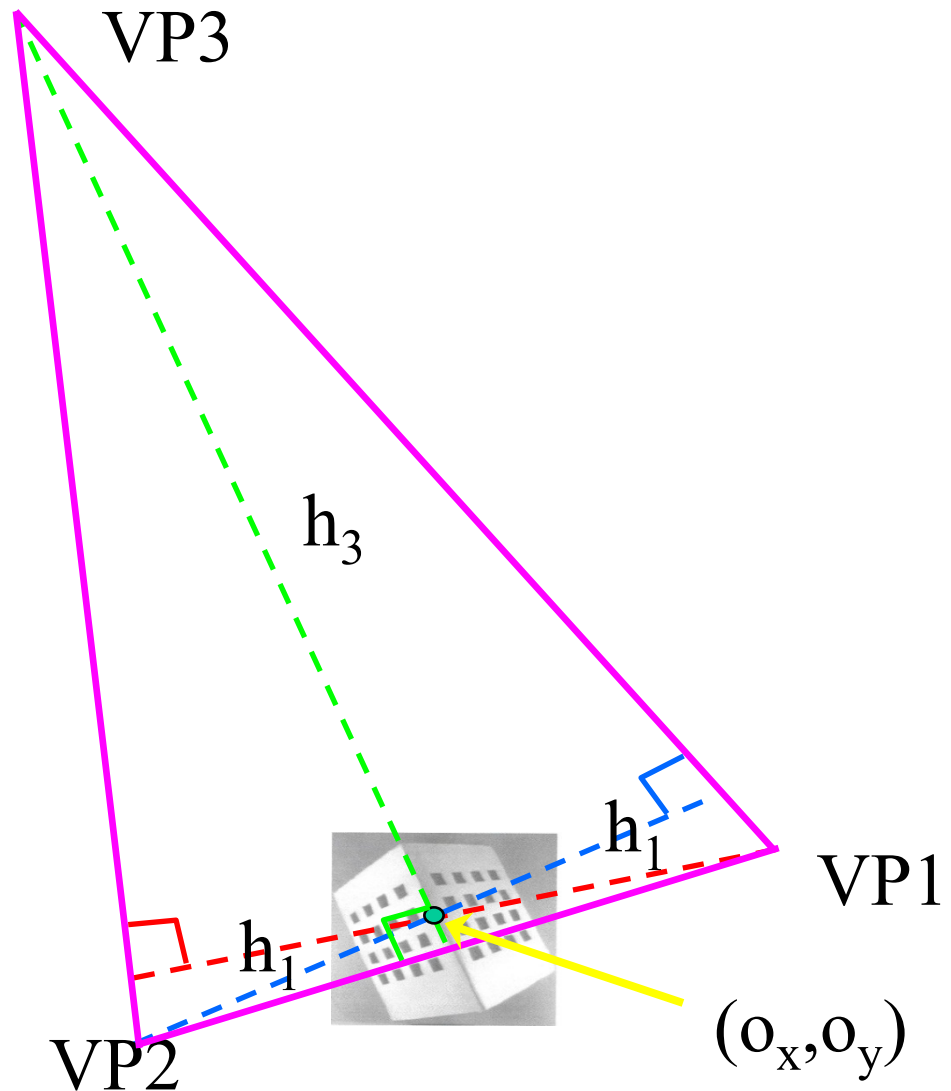


Optikai középpont megkeresése

adott:

párhuzamos egyenesek

minimum 3(!) ortogonális halmaza



Optikai középpont megkeresése

Kép nemlineáris torzítása után is működik!

