

Mozgáskövetés

Dr. Loványi István

BME-IIT

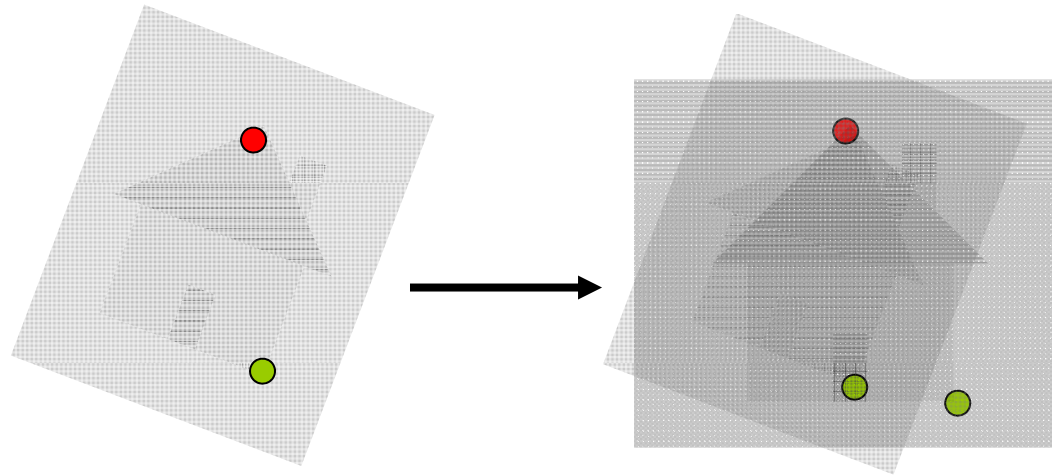
2014. április

(Mubarak Shah, Gonzales-Woods Steve Seitz diáinak felhasználásával)

Mozgás követési alternatívák

1. Robusztus képjellemzők követésével? (ezt részletesen ld. később...)

Jellemző alapú képilesztés elve

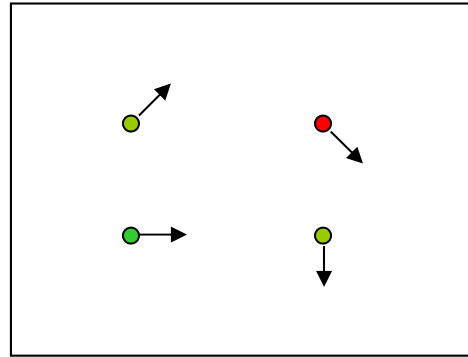


- Hogy illesztünk két képet automatikusan?
- Két alapvető megközelítés
 - Jellemző alapú
 - Megtalálni mindkét képen az illeszkedő jellemzőket
 - illesztés
 - Direkt (pixel-alapú) illesztés
 - Keressük azt az illesztést mely optimális a pixelek összességére

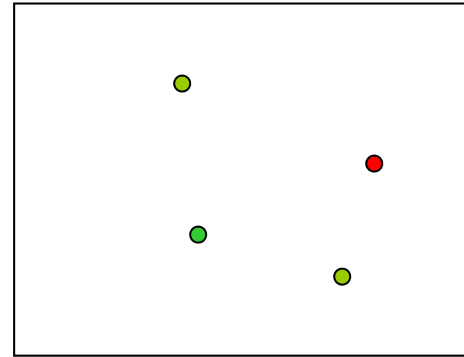
Mozgás követése – egy másik alternatíva

2. Vagy inkább optikai áramlással?

Optikai áramlás elve



$H(x, y)$



$I(x, y)$

Hogyan becsülhető egyszerűen a pixelek elmozgása H képből I képbe? Korlátozó feltevésekkel élünk:

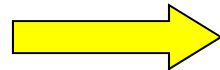
- intenzitás (szín) állandóság
- pixelek kismértékű elvándorlása

Megoldások – Optikai áramlással



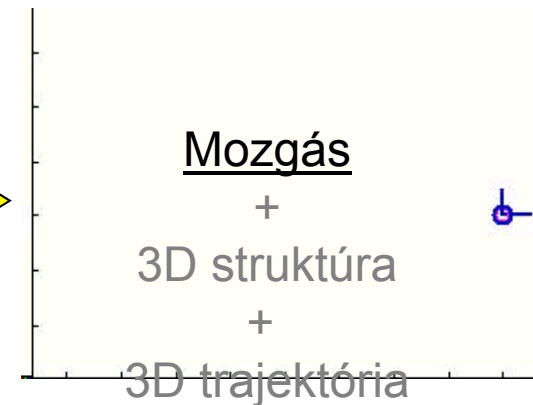
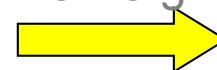
Képsorozatból
(egy mozgó kamera)

Követés



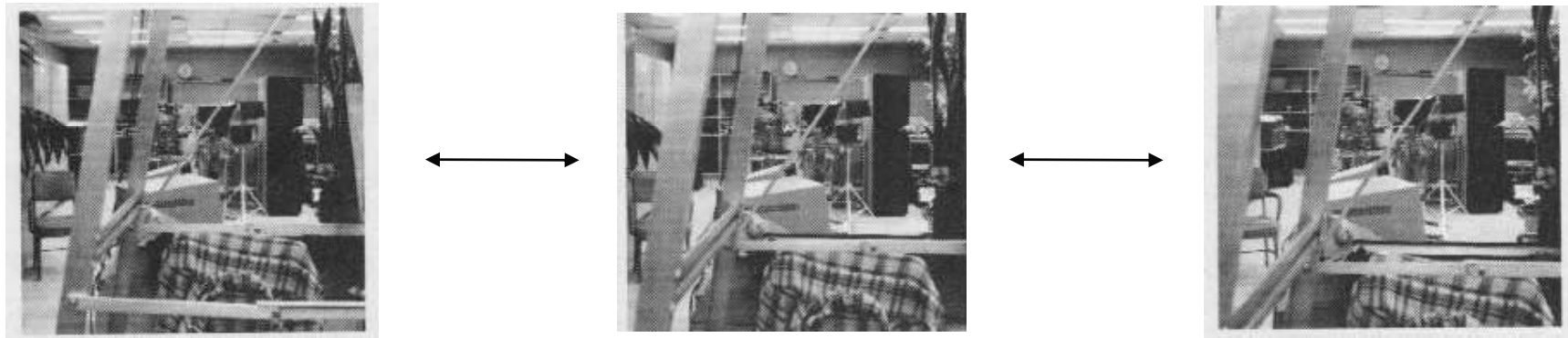
Követett pontok

3D alg.



Optikai áramlás

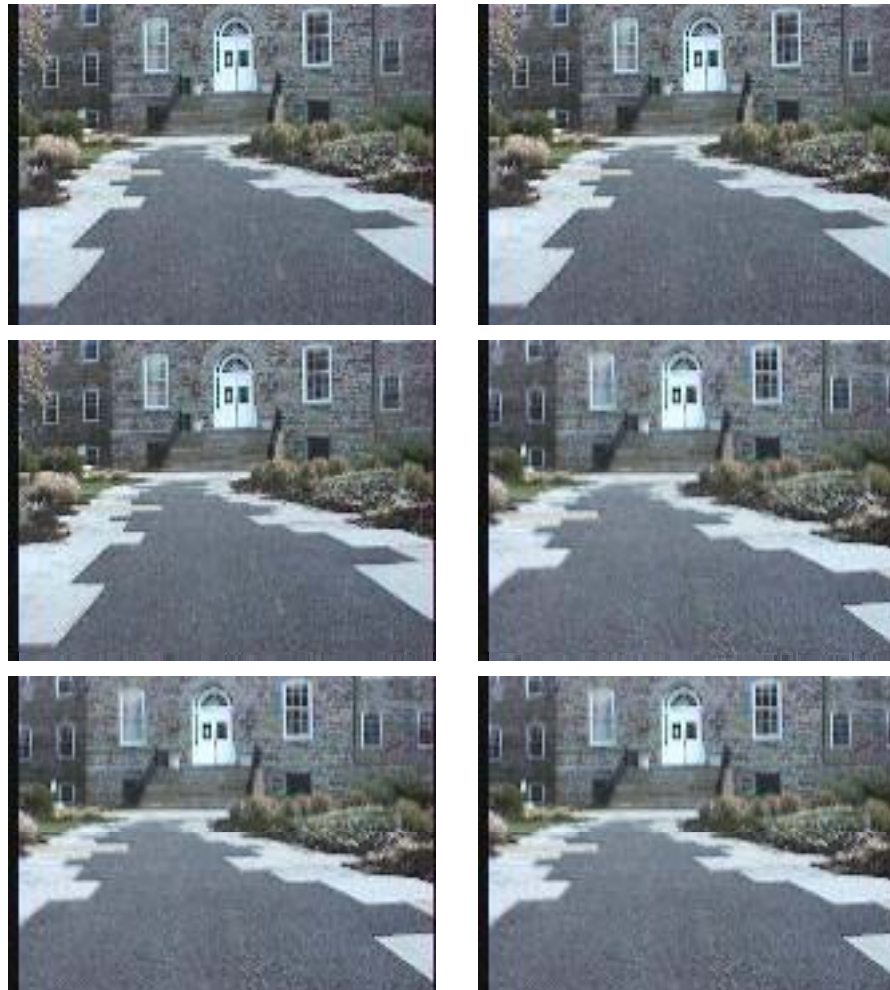
A keresett információ: inkább a *mozgás* mint a *látvány*



Képek sorozata

Optikai áramlás meghatározás fő motívációja: mozgásdetektálás képsorozatból

- ha a pixelek interpretálása önmagában nehéz lenne...
- ha inkább a mozgás mint a 3D környezet pontos rekonstruálása érdekes



Információ szerzéshez
kihasználhatjuk a robot, jármű,
stb. relatív mozgását...

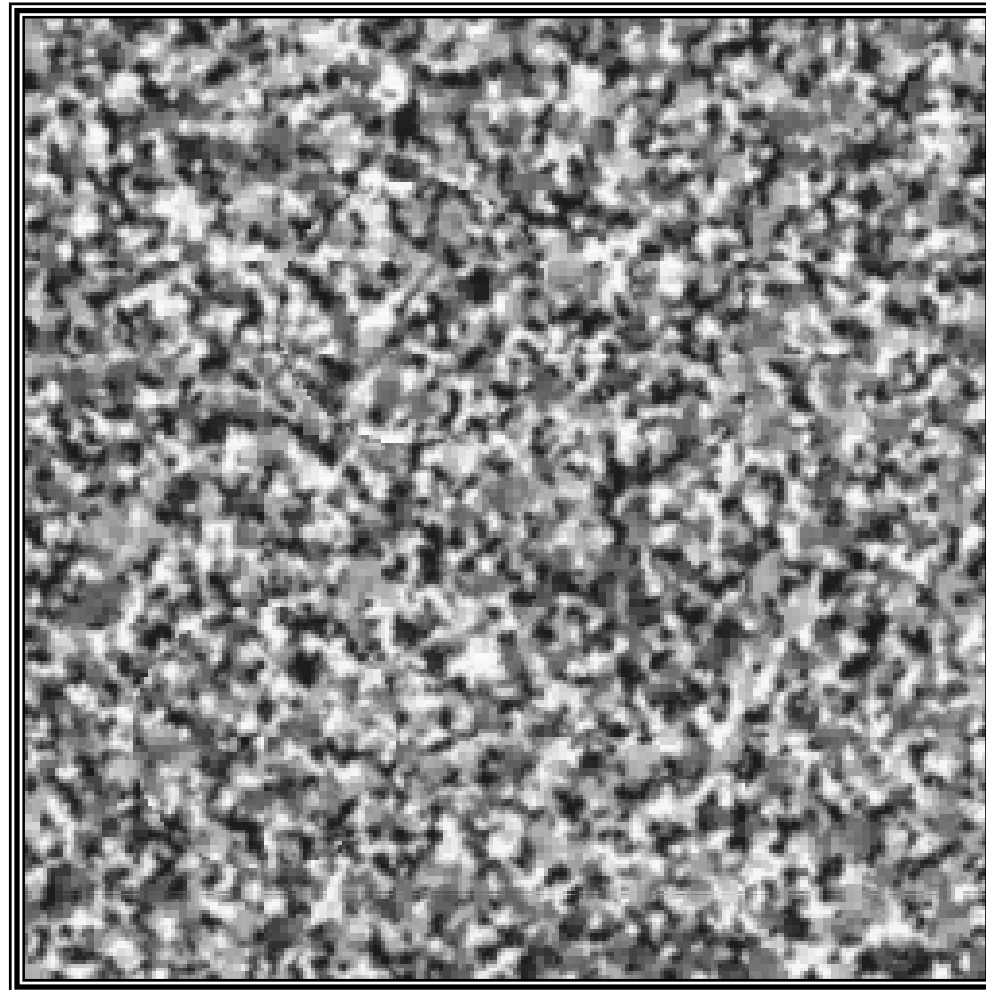
Optikai áramlás:

Hová mozognak a 2D képen az egyes pixelek?



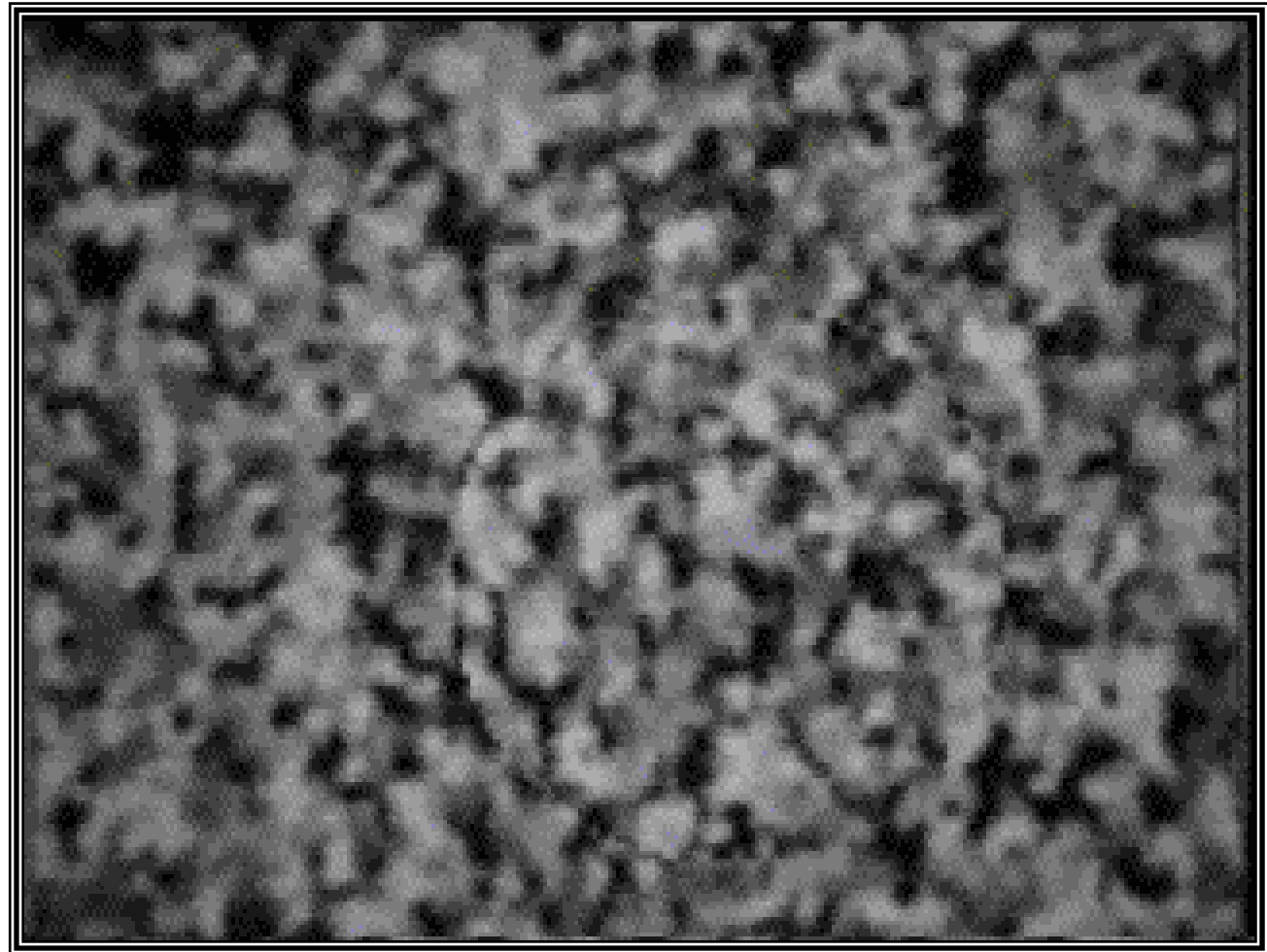
A mozgás egy alapvető képjellemző

Csak a mozgás révén lehet ezen a képen szegmentálni



A Mozgás egy alapvető képjellemző

Csak a mozgás révén lehet ezen a lépen szegmentálni



A Mozgás egy alapvető képjellemő

A mozgás detektálásával itt hatékony szegmentálás volt lehetséges !



Optikai áramlás

Egy természet által is inspirált megoldás!



Légy
pontosan
landol



Méh a virágra...

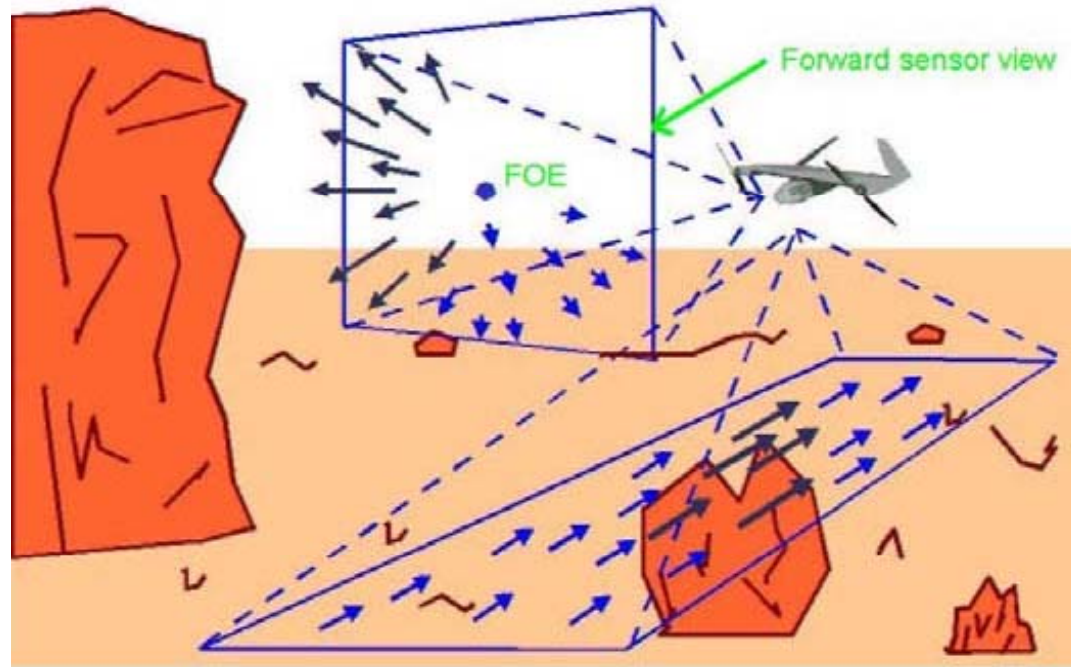


Denevér röptében a
legyet...

Mesterséges példák az optikai áramlás alkalmazására:

Kritikusan valósidejű a probléma!

3D navigáció optikai áramlással



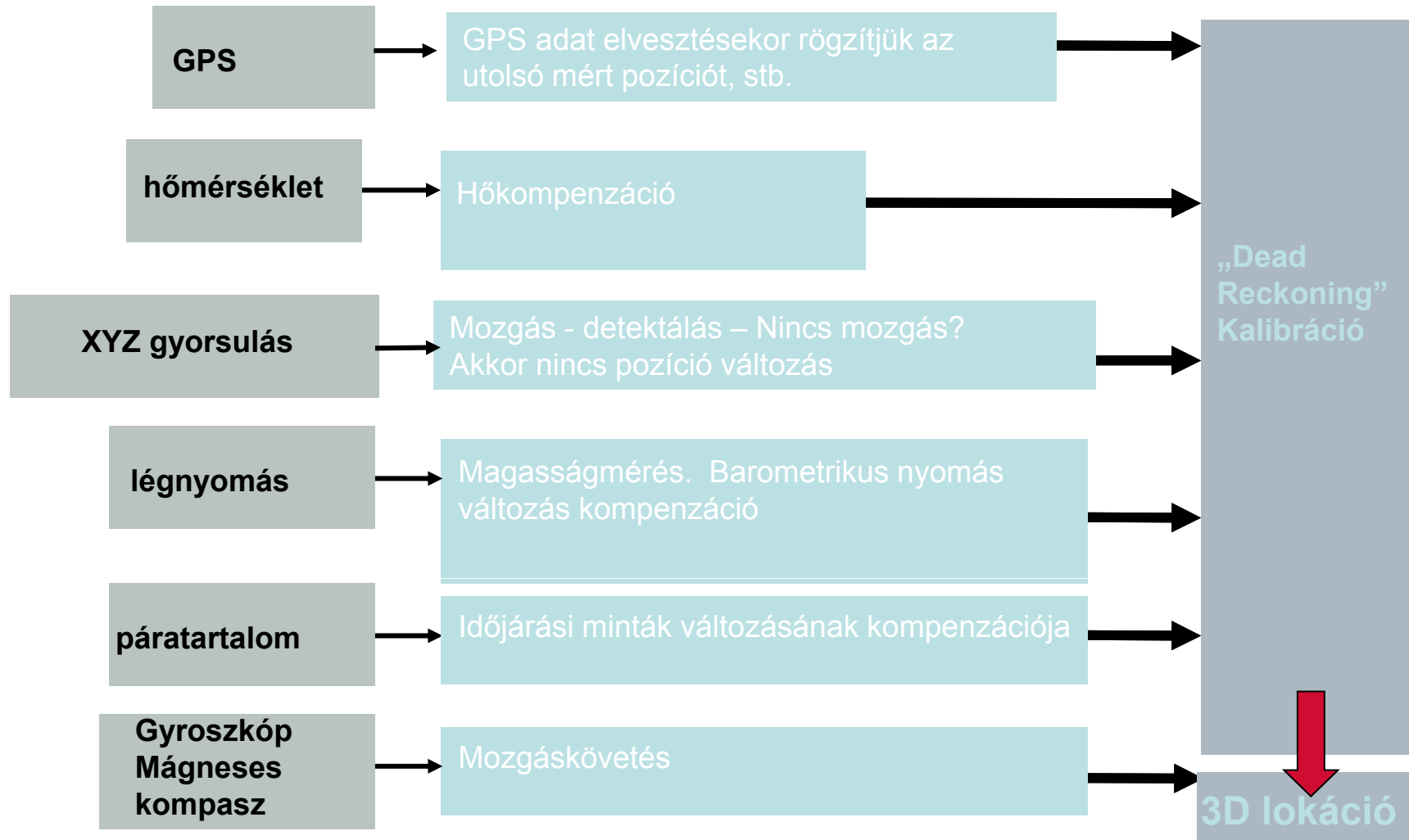
Egy jó stratégia a valósidejűség biztosítására:
szenzorfúzió+optikai áramlás+neurális hálók

Valós idejű navigáció - algoritmikus háttér

- Szenzorfúzió
- Neural Network (NN) – Neurális háló
- Optical Flow - Optikai áramlás

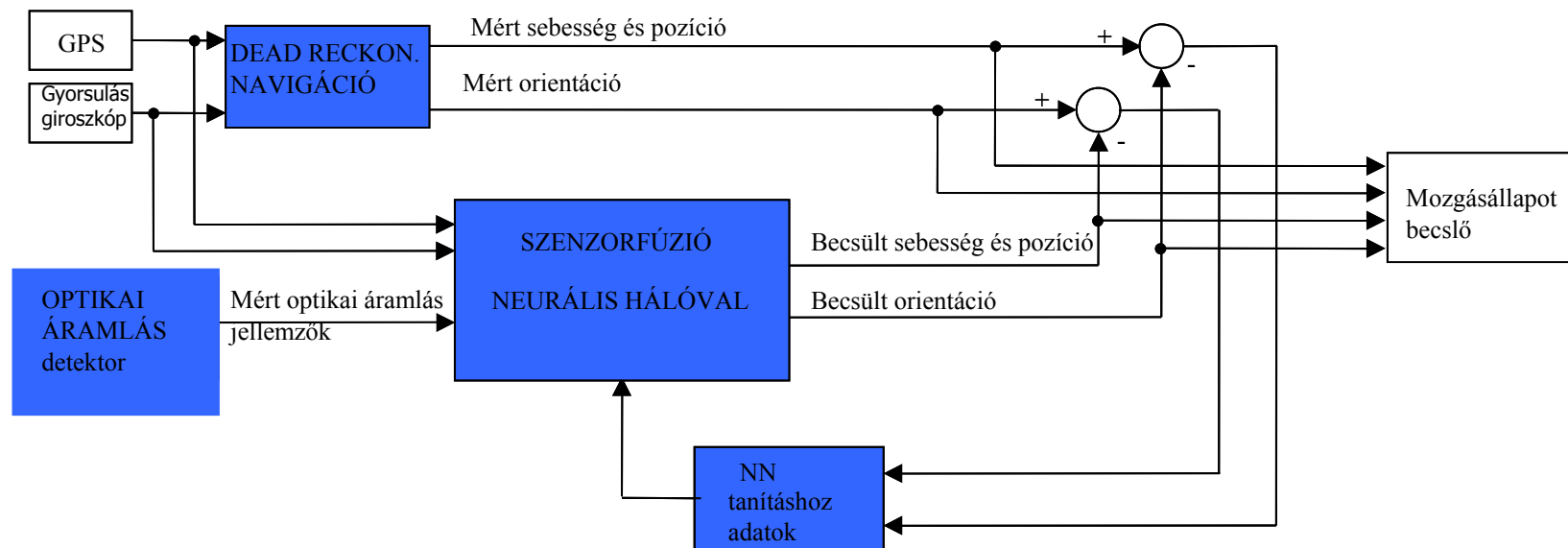
„Dead Reckoning” navigáció

hívják ritkábban Ded Reckoning - nak is (a deduced és nem a dead szóból eredeztetve)



Szenzorfúzió Neurális hálóval

3D valós idejű navigáció



Kékkel jelölöm amit valamennyire konkrétan is kifejték
Ez csak első lépés a valós idejű implementációhoz...

Valós idejű navigáció - algoritmikus háttér

- Szenzorfúzió
- Neural Network (NN) – Neurális háló
- Optical Flow - Optikai áramlás

Neural Network (NN) alapok...

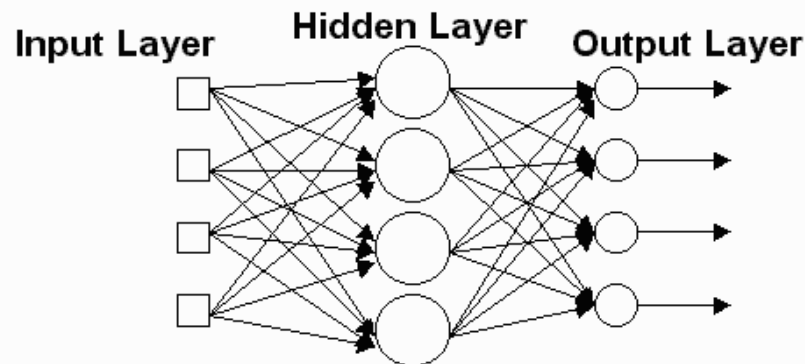
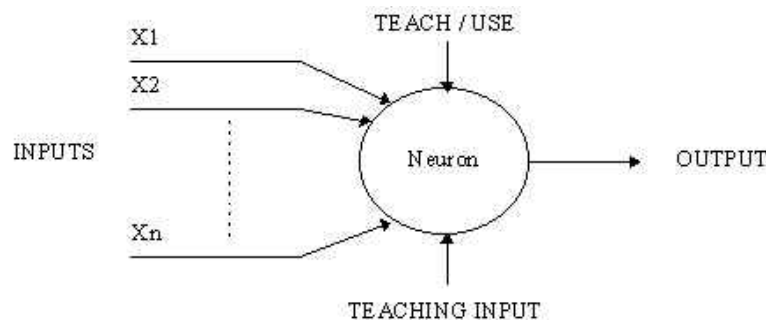


Figure 2 The anatomy of a neural network.

NEURÁLIS HÁLÓ ?

- Iránymutató biológiai minta: az emberi agy
- Neurális háló (NN): neuronokból álló hálózat
- gyors lehet: elosztott, párhuzamos működési elv
- gyors lehet: sw / hw / vegyes implementáció optimuma
- kapcsolatok egyirányúak: ezért rétegekre bonthatjuk
- Bemeneti réteg – Rejtett réteg(ek) – Kimeneti réteg
- Többcélúan alkalmazható járművekben is:

Osztályozás: vezetői döntés támogatása veszélyhelyzet felismerésével mérési adatok alapján

Asszociatív memória: bemeneti mérési adat sorhoz (pl. optikai áramlás jól megválasztott jellemzői) a kimeneten ugyancsak adatsort rendelni (pl. 3D mozgásadatok)

- mintaadatokkal tanítható (pl. neuron válaszfüggvény súlyok hangolása)
- versenyképes implementáció: az elv egyszerű, de az ördög a részletekben...

NEURÁLIS HÁLÓ NEHÉZSÉGEK

- nemlineáris dinamikus rendszer
- "black box" jelleg
- tanítás kell
- nehéz validálni a helyes működést

Érdeklődőknek bővebb magyaryelvű forrás:

Dr. Horváth Gábor (szerkesztő): Neurális hálózatok és műszaki alkalmazásai, Műegyetemi Kiadó, Budapest, 1998.

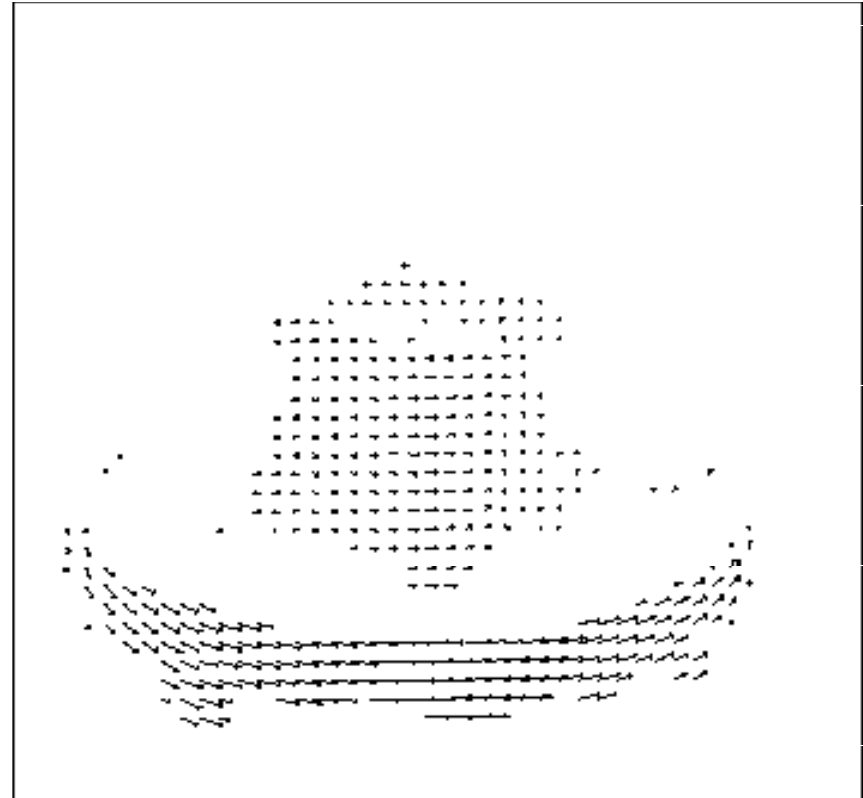
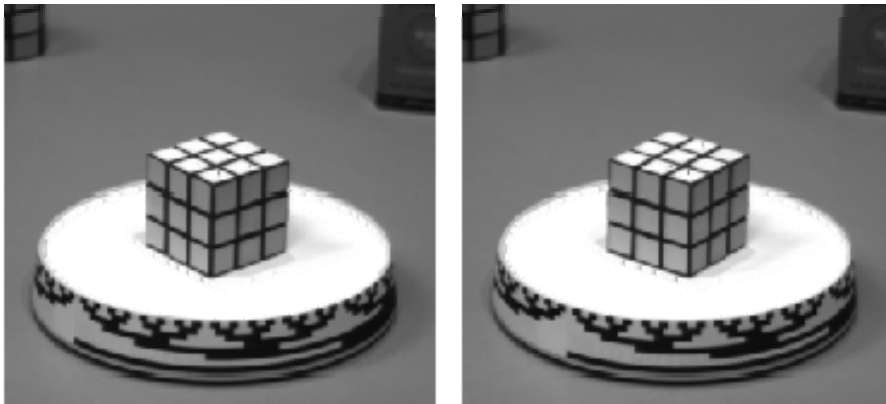
Valósídejű navigáció - algoritmikus háttér

- Szenzorfüzió
- Neural Network (NN) – Neurális háló
- Optical Flow - Optikai áramlás

Optikai áramlás detektálása

Valós idejű alkalmazásokhoz jól
illeszkedő algoritmikus háttér

Optikai áramlás alapú képillesztés



1. Direkt módszer: nem kell kép interpretálás (jellemzők megkeresése és követése képről-képre)
2. A mozgásbecslést először pixelenként elvégezzük (egyszerű, jól párhuzamosítható)
3. Majd próbáltuk az egész képre kiterjeszteni (pl. L-K iterációkkal lásd később)

Optikai áramlás alkalmazhatósági korlátai

- konstans intenzitású területnél a mozgást nem lehet detektálni, végtelen sok megoldás létezhet.
- ✓ vegyünk egy gömböt textúra nélkül. Mialatt a gömb körbeforog a tengelye körül, az alatt a képen nem változik az intenzitás.

Vigyázat !

2 eset, amikor az optikai áramlás rosszul működik:

1. Homogén forgó gömb



Optikai áramlás = 0

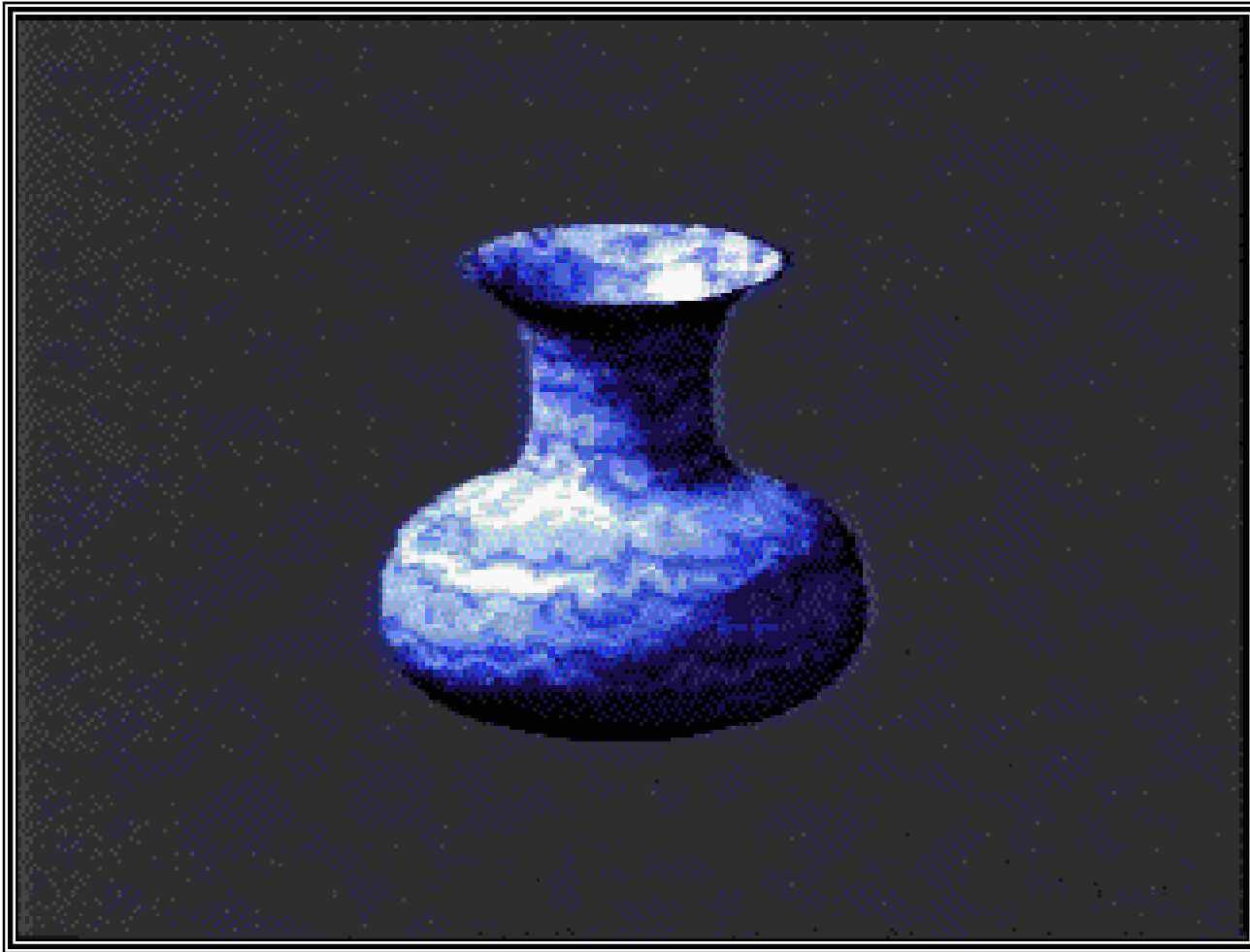
2. Nincs ugyan mozgás, viszont változik a megvilágítás



Optikai áramlás $\neq$ 0



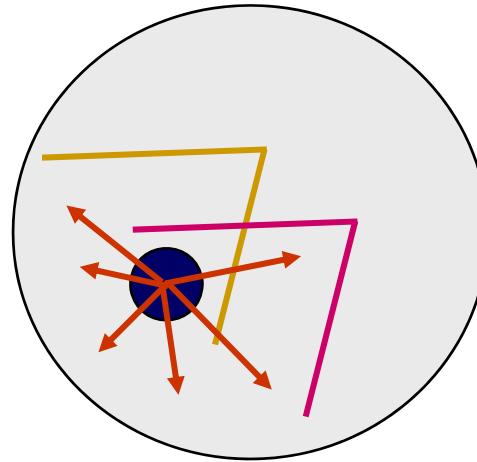
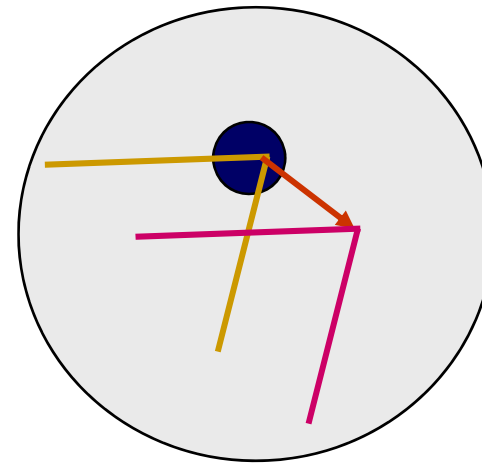
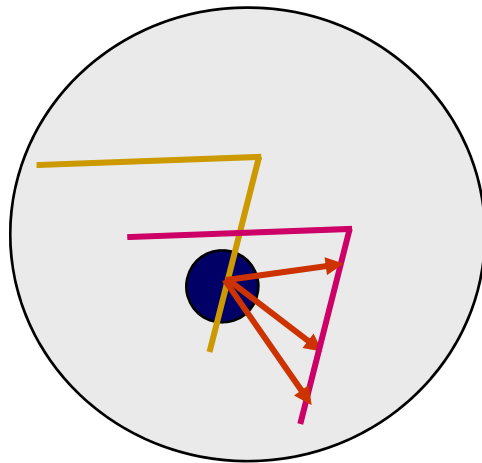
Vigyázat ! Nincs valós mozgás csak a tárgy megvilágítása változik!



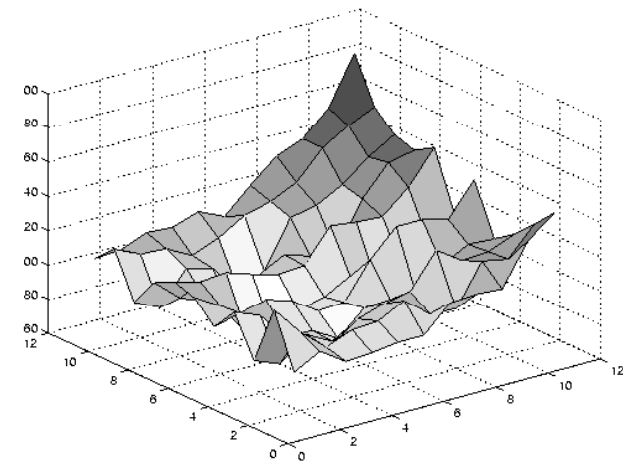
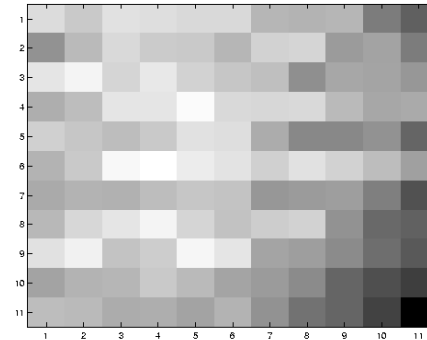
Kép analízise egy lokális ablakban

- Az optikai áramlás ugyan legalább „kétképes” probléma, de már egy képre ránézve is megmondhatjuk előre, hogy mely régiókban lesz könnyű vagy nehéz követni az optikai áramlást:

Kép analízise egy lokális ablakban

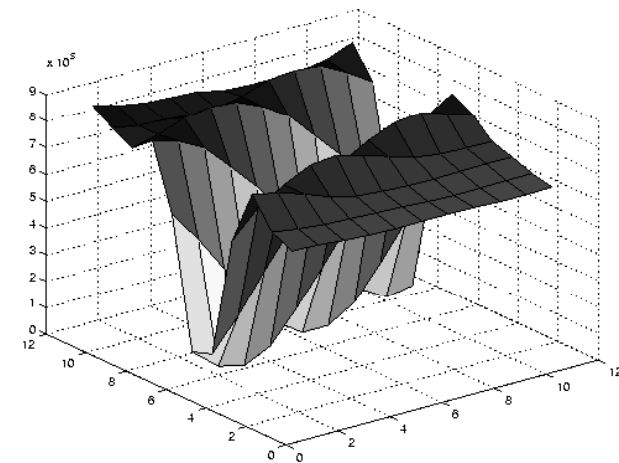
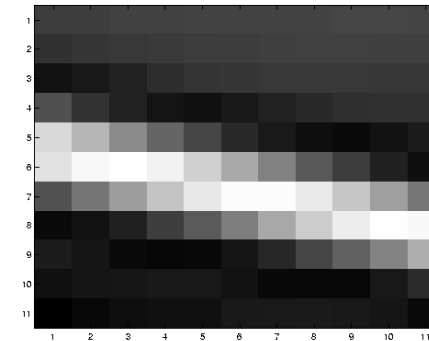


Homogén környezetben



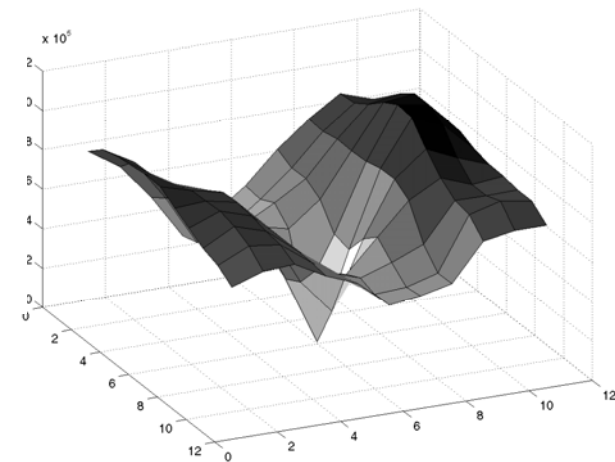
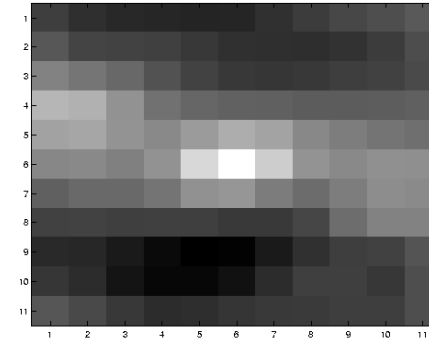
— gradiensek kicsik

Él környezetében



— nagy gradiensek, egy irányban

Erősen texturált környezetben

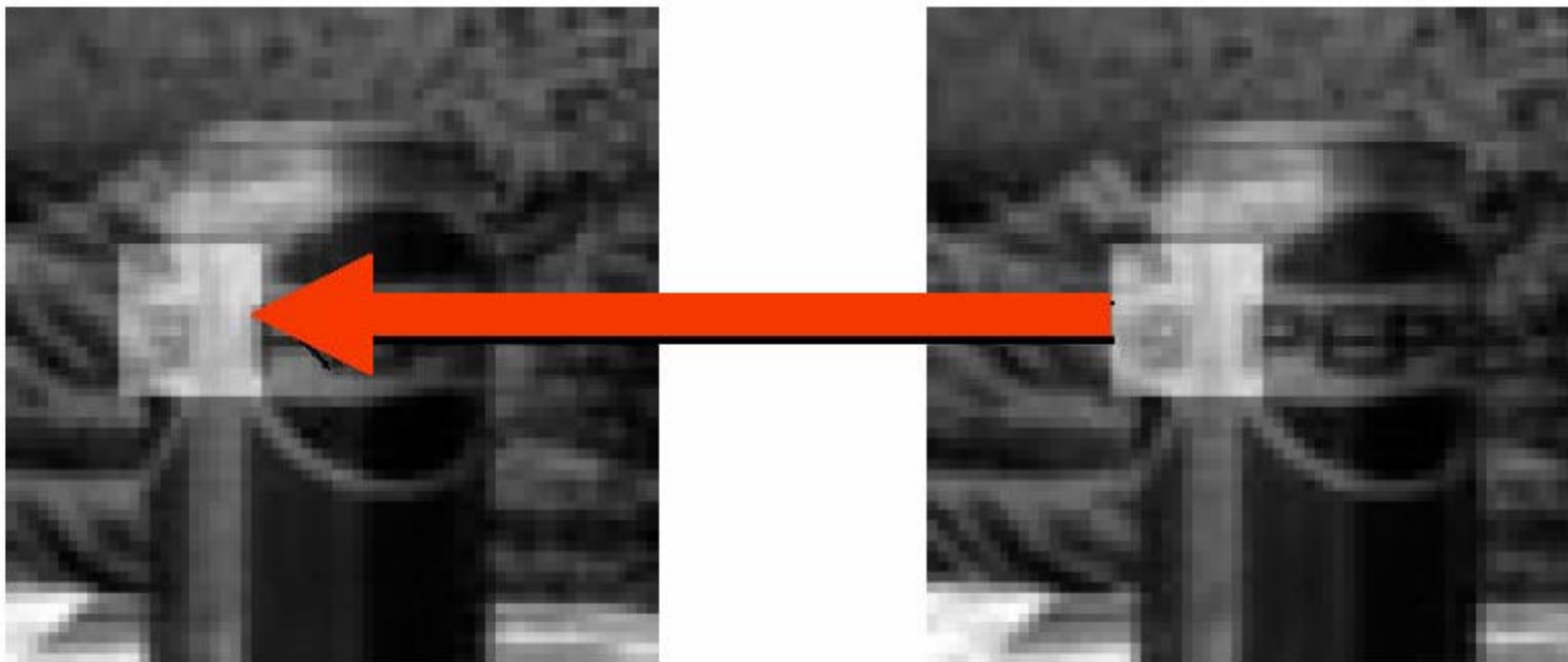


— különböző irányú nagy gradiensek

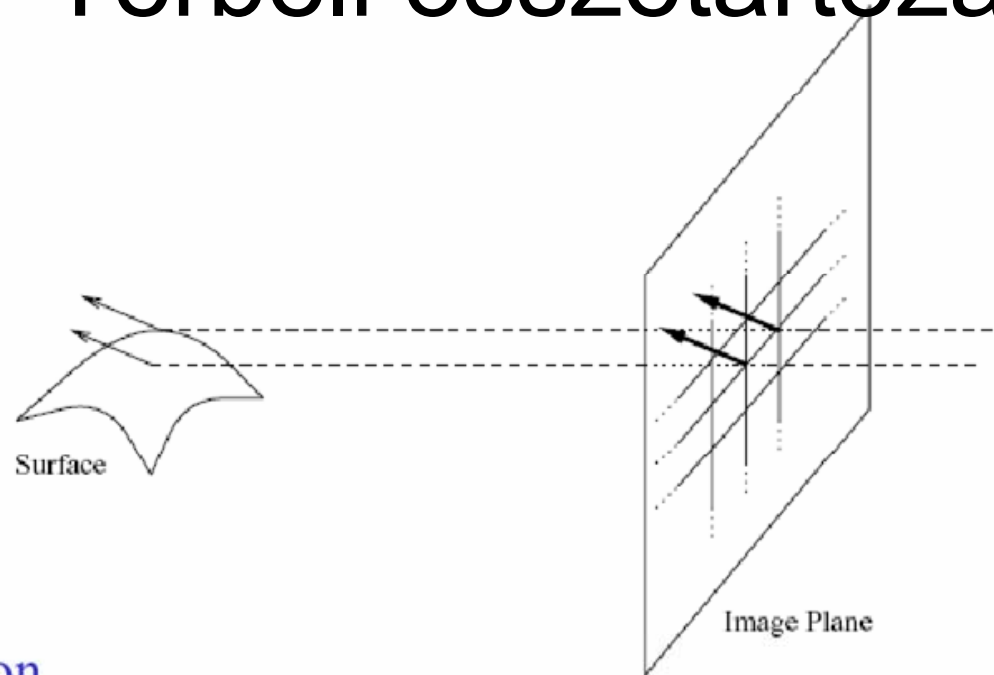
Egyszerűsítő előfeltevések, korlátozások

1. Mozgás során az objektum alakja ne változzon,
2. minden irányból egyforma és időben állandó megvilágítás, így az árnyékok hatását nem kell figyelembe vennünk.
3. konstans intenzitás korlátozás: az adott objektum ponthoz tartozó pixel fényessége időben állandó, csak a pixel helye változik meg a mozgás következtében

Optikai áramlás feltételek: konstans fényesség



Optikai áramlás feltételek: Térbeli összetartozás

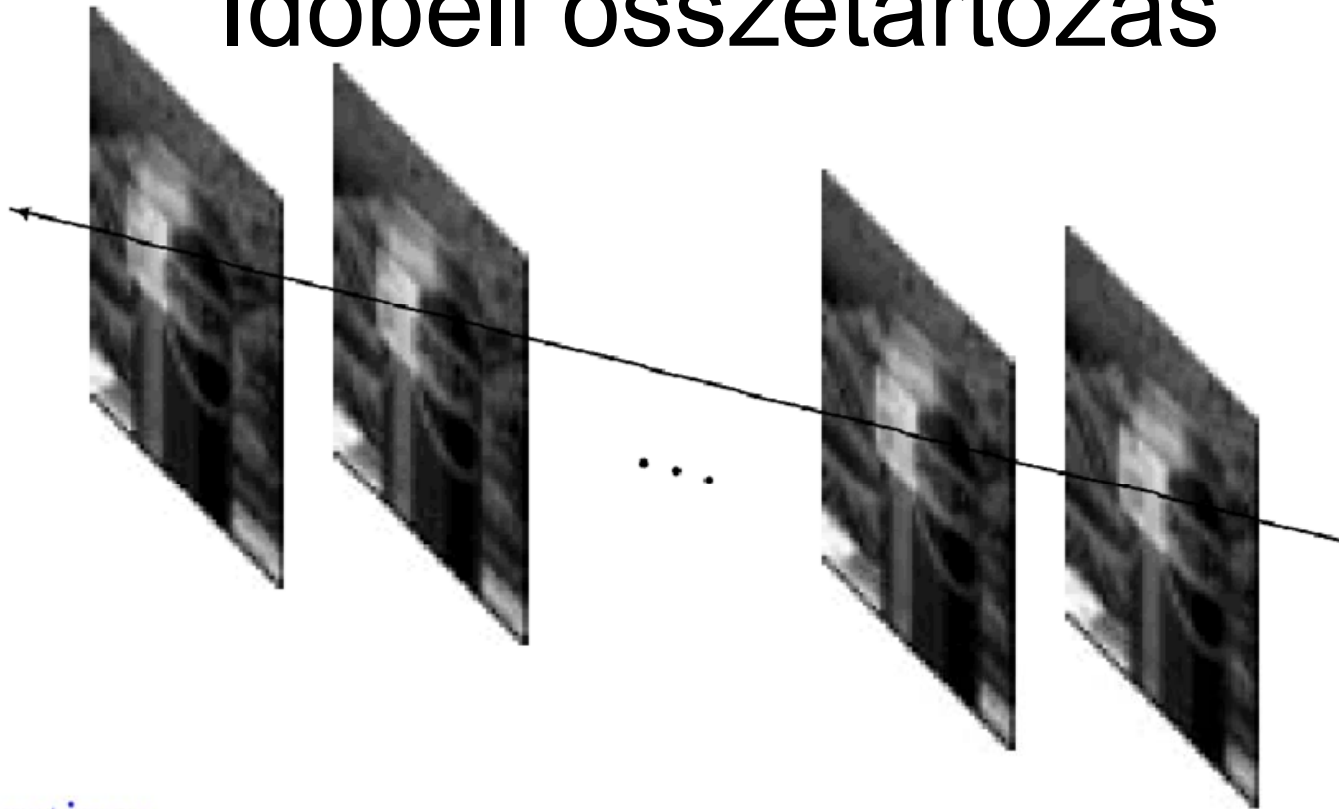


Assumption

- A kép szomszédos pontjai tipikusan ugyanahhoz az objektumhoz tartoznak és hasonló a mozgásuk
- Elvárjuk, hogy a képen is közeli pontokként jelenjenek meg

Optikai áramlás feltételek:

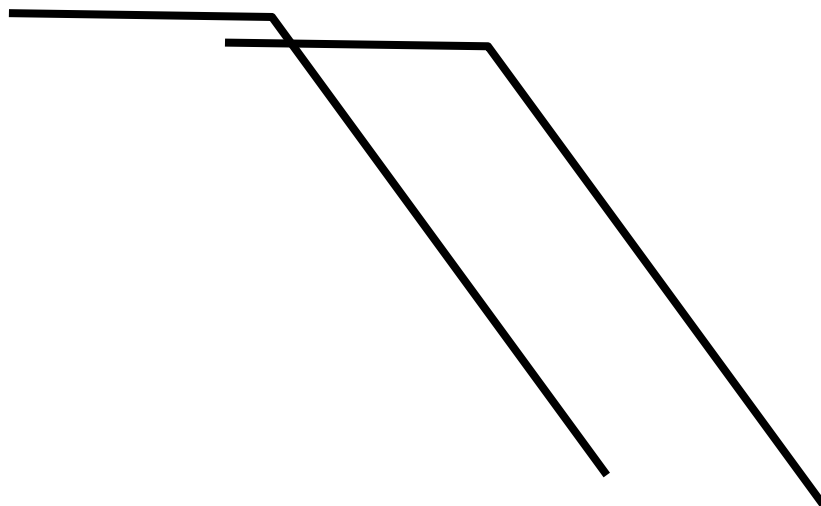
Időbeli összetartozás



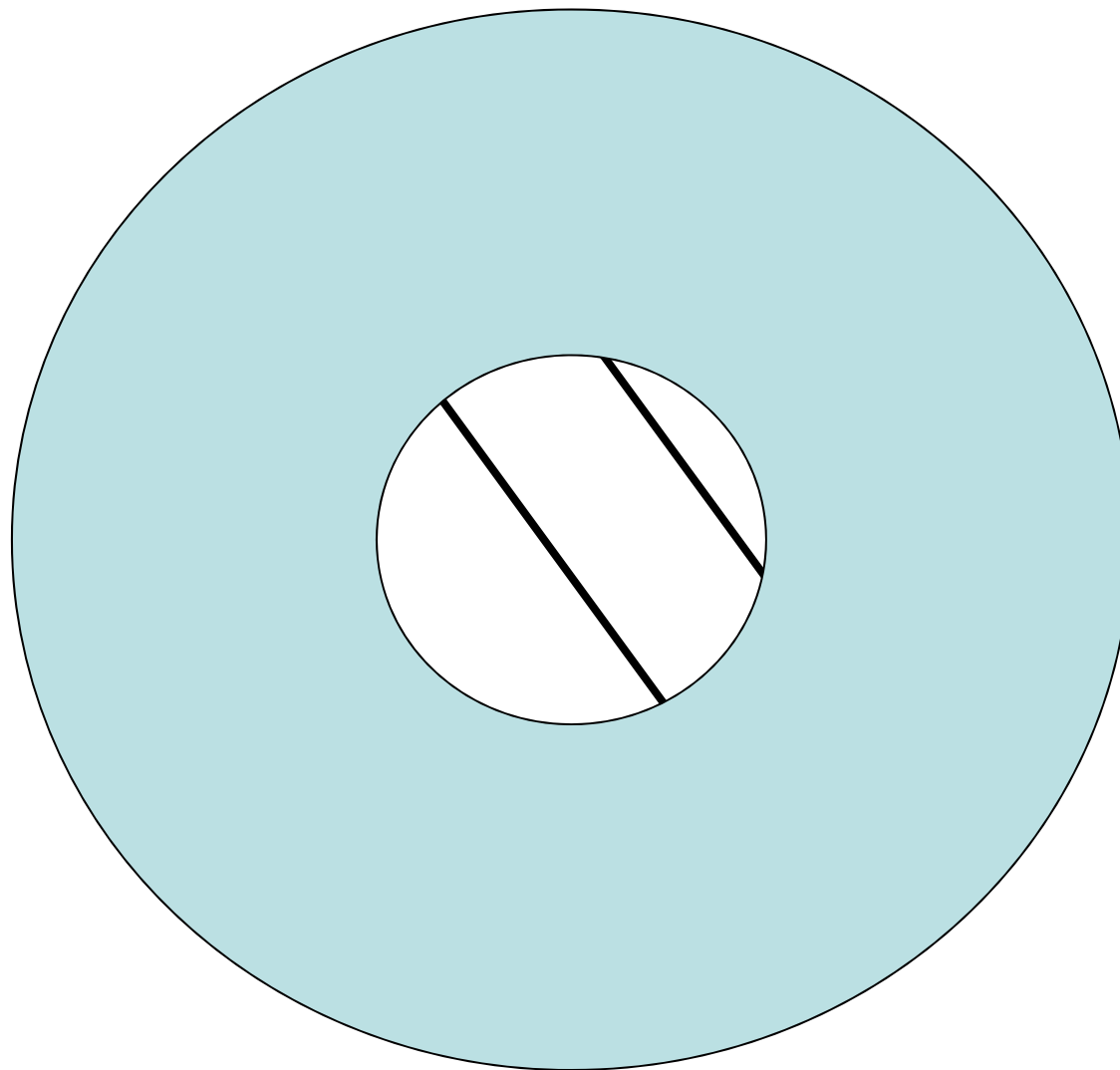
Assumption:

- A foltok mozgása a képen folyamatos az idő függvényében

Az apertúra probléma

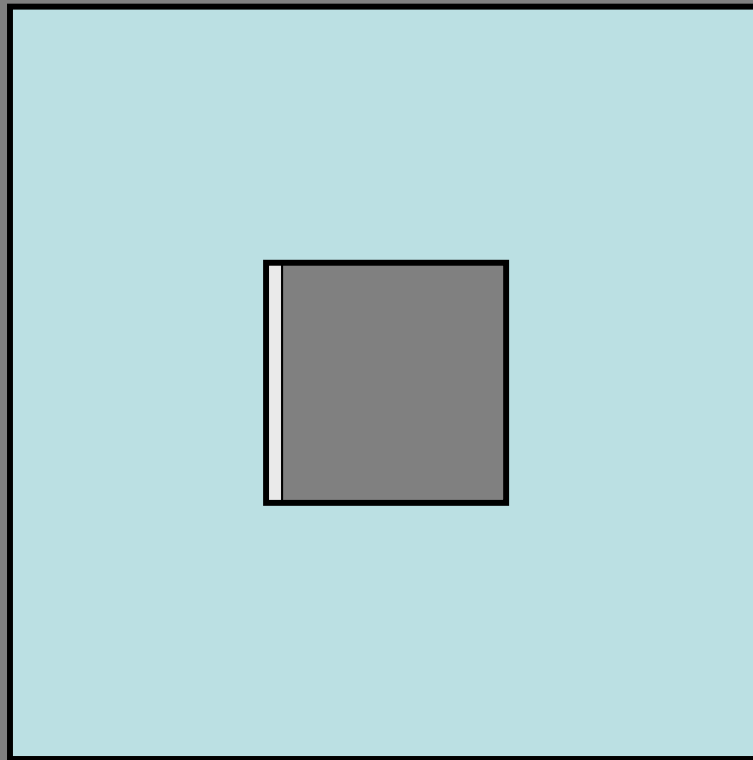


Az apertúra probléma



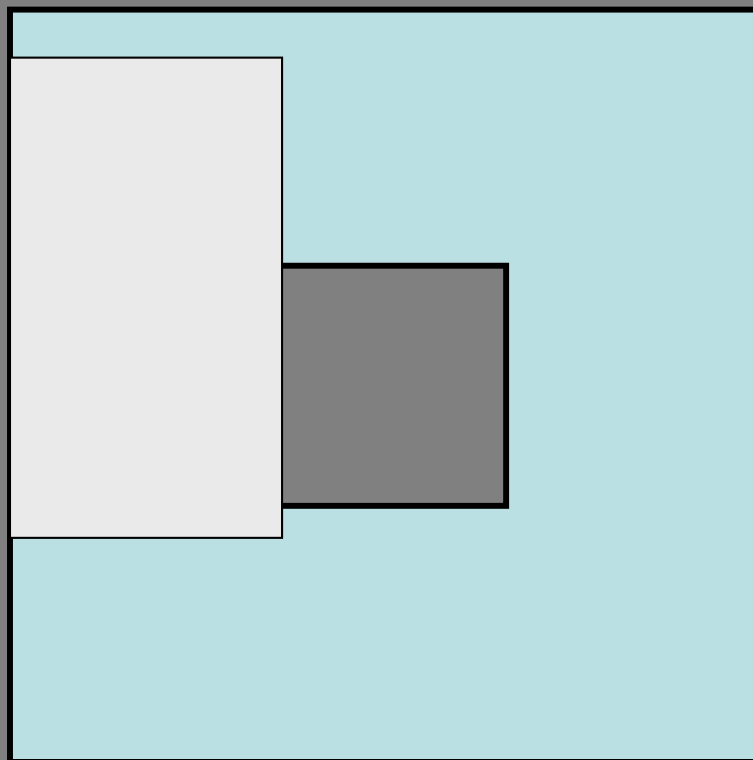
Apertúra probléma

- Miként mozog a valóságban?
- Egyelőre csak normális irányú mozgást feltételezünk



Apertúra probléma

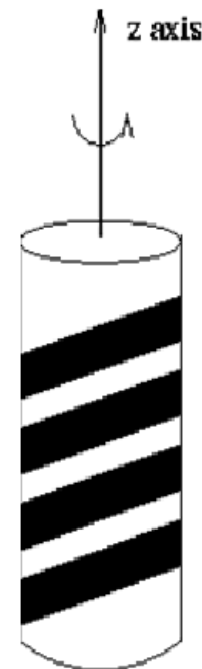
- Félreérthetőség



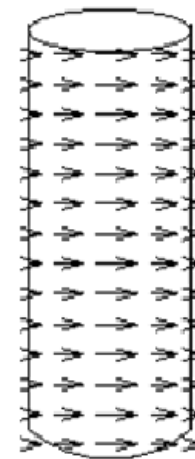
Apertúra probléma: egy közismert illusztráció

Aperture Problem

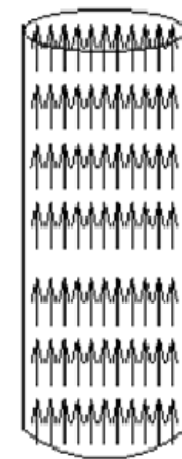
Barber pole illusion



Barber's pole



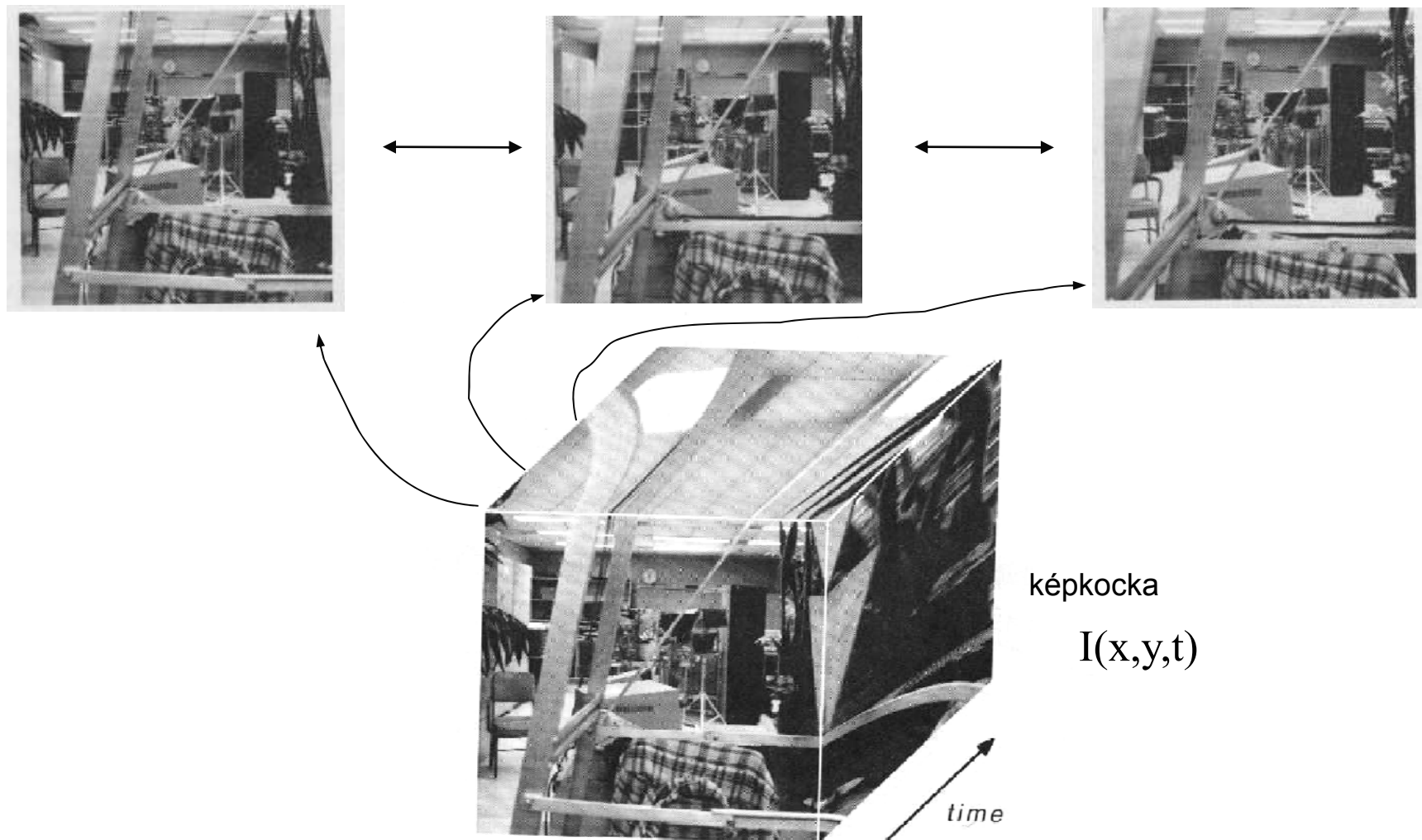
Motion field



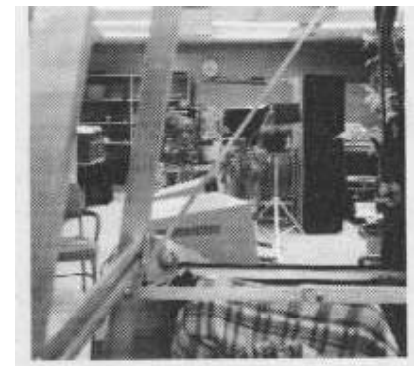
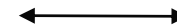
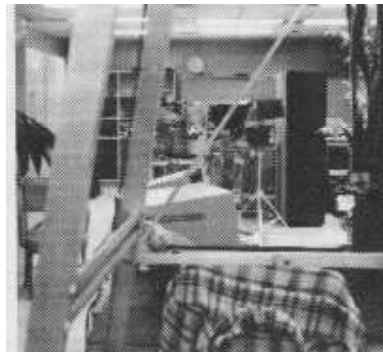
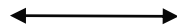
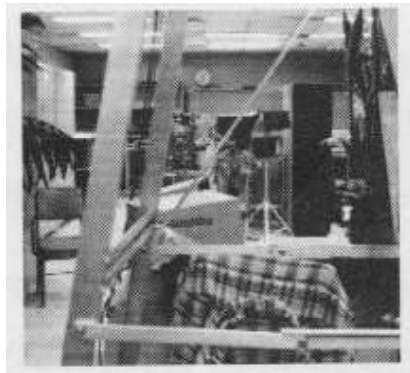
Optical flow

http://en.wikipedia.org/wiki/Barber's_pole

Optikai áramlás



Optikai áramlás



Optikai áramlás

Hogyan?

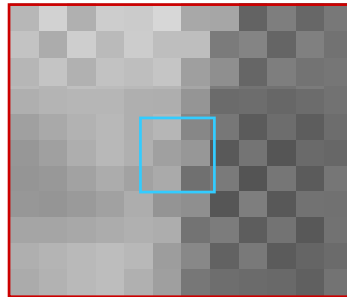
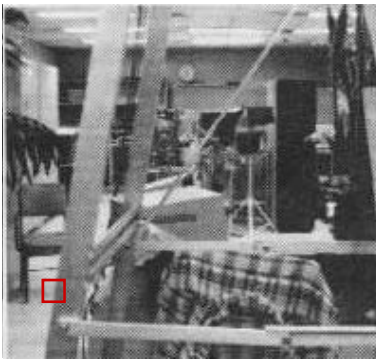
Összefoglalva: az „optikai áramlás”

Fényes/színes alakzatok észlelhető mozgása a 2D képsorozaton

Ideális esetben: az optikai áramlás az objektum pontok 3D sebesség vektorának vetülete a 2D képen

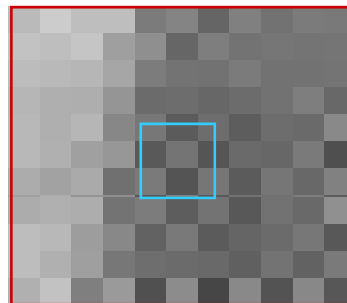
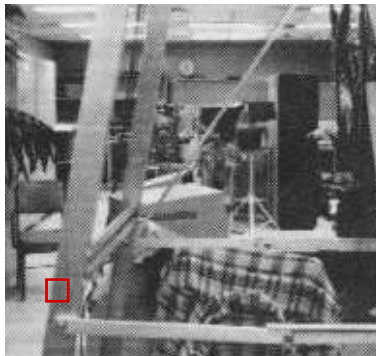
Optikai áramlás

Mérjük az intenzitások elmozgását a képen...



$I(x,y,t)$

99	90	90	70	40
95	90	70	40	40
90	90	70	40	40
90	90	70	40	40
90	70	50	40	30

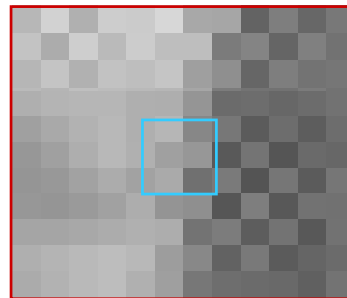
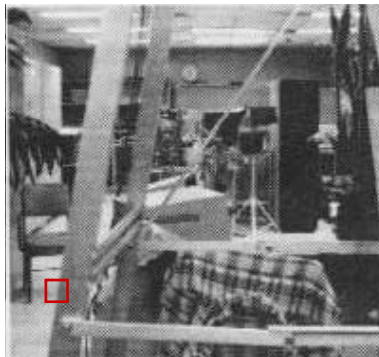


90	90	70	40	25
90	70	40	40	25
90	70	40	40	25
90	70	40	40	20
70	50	40	30	15

becsléseket tehetünk...

Optikai áramlás

Mérjük az intenzitások elmozgását a képen...



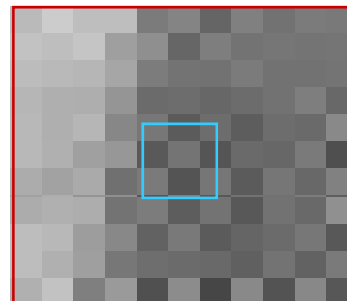
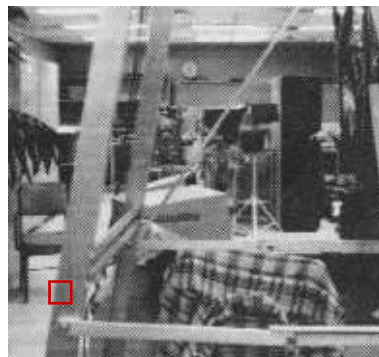
$I(x,y,t)$

$I(x,y,0)$

99	90	90	70	40
95	90	70	40	40
90	90	70	40	40
90	90	70	40	40
90	70	50	40	30

$I(0,0,0)$

$I(2,-1,0)$



$I(x,y,1)$

90	90	70	40	25
90	70	40	40	25
90	70	40	40	25
90	70	40	40	20
70	50	40	30	15

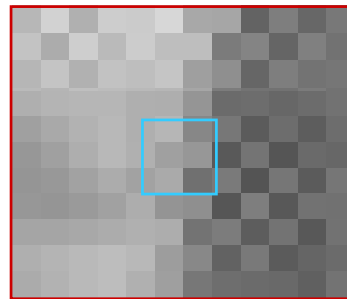
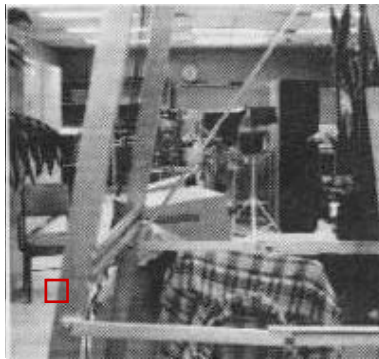
$I(0,0,1)$

becsléseket tehetünk...

$$\frac{dl}{dx} = I_x \quad (0,0,0) \text{ ban}$$

Optikai áramlás

Mérjük az intenzitások elmozgását a képen...



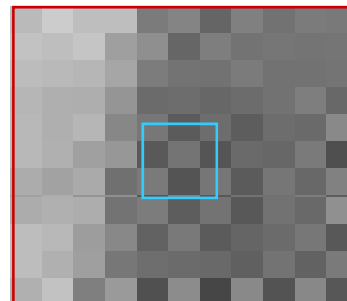
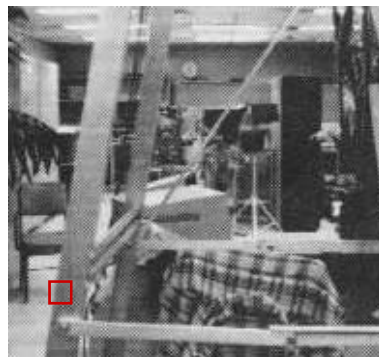
$I(x,y,t)$

$I(x,y,0)$

99	90	90	70	40
95	90	70	40	40
90	90	70	40	40
90	90	70	40	40
90	70	50	40	30

$I(0,0,0)$

$I(2,-1,0)$



$I(x,y,1)$

90	90	70	40	25
90	70	40	40	25
90	70	40	40	25
90	70	40	40	20
70	50	40	30	15

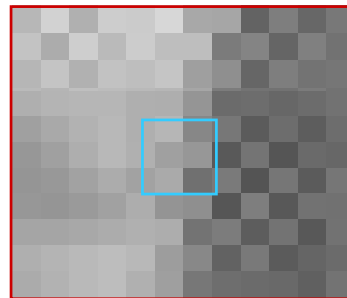
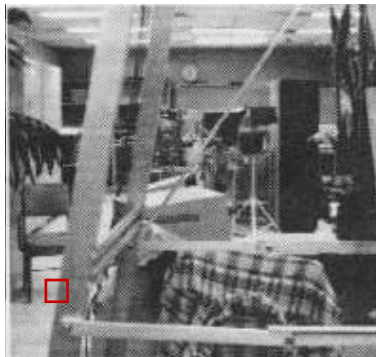
$I(0,0,1)$

becsléseket tehetünk...

$$\frac{dl}{dx} = I_x \quad (0,0,0) \text{ ban} = \frac{\Delta I}{\Delta x} = \frac{I(1,0,0) - I(0,0,0)}{1 - 0} = -30$$

Optikai áramlás

Mérjük az intenzitások elmozgását a képen...



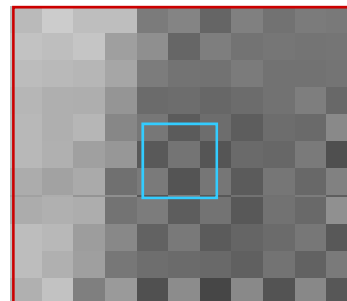
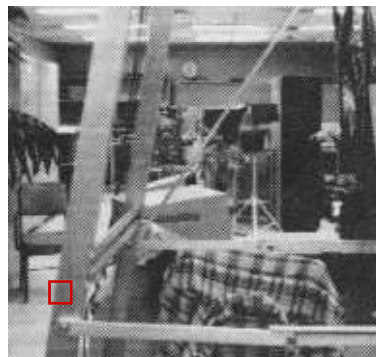
$I(x,y,t)$

$I(x,y,0)$

99	90	90	70	40
95	90	70	40	40
90	90	70	40	40
90	90	70	40	40
90	70	50	40	30

$I(0,0,0)$

$I(2,-1,0)$



$I(x,y,1)$

90	90	70	40	25
90	70	40	40	25
90	70	40	40	25
90	70	40	40	20
70	50	40	30	15

$I(0,0,1)$

becsléseket tehetünk...

$$\frac{dl}{dx} = l_x$$

$$\frac{dl}{dy} = l_y$$

$$\frac{dl}{dt} = l_t$$

így...

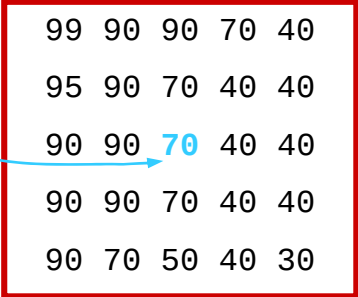
Optikai áramlás

$I(x,y,t)$ képszekvencia esetén

A legegyszerűbb feltételezés (állandó fényességi korlát):

$$I(x,y,t) = I(x + dx, y + dy, t + dt)$$

(x,y,t)



99	90	90	70	40
95	90	70	40	40
90	90	70	40	40
90	90	70	40	40
90	70	50	40	30

Optikai áramlás mérése

$I(x,y,t)$ képszekvencia esetén

Legegyszerűbb feltételezés (állandó fényességi korlát):

$$I(x,y,t) = I(x + dx, y + dy, t + dt)$$

emlékeztető: $f(x + dx) = f(x) + f'(x) dx + f''(x) dx^2 / 2 + \dots$

(x,y,t)

99	90	90	70	40
95	90	70	40	40
90	90	70	40	40
90	90	70	40	40
90	70	50	40	30

Optikai áramlás mérése

$I(x,y,t)$ képszekvencia esetén

Legegyszerűbb feltételezés (állandó fényességi korlát):

$$I(x,y,t) = I(x + dx, y + dy, t + dt)$$

emlékeztető: $f(x + dx) = f(x) + f'(x) dx + f''(x) dx^2/2 + \dots$

$$I(x,y,t) = I(x,y,t) + I_x dx + I_y dy + I_t dt + 2. \text{ derivált} + \text{magasabbrendű}$$

(x,y,t)

99	90	90	70	40
95	90	70	40	40
90	90	70	40	40
90	90	70	40	40
90	70	50	40	30

Optikai áramlás mérése

$I(x,y,t)$ képszekvencia esetén

Legegyszerűbb feltételezés (állandó fényességi korlát):

$$I(x,y,t) = I(x + dx, y + dy, t + dt)$$

emlékeztető: $f(x + dx) = f(x) + f'(x) dx + f''(x) dx^2 / 2 + \dots$

$$I(x,y,t) = I(x,y,t) + I_x dx + I_y dy + I_t dt + \underbrace{2. \text{ derivált} + \text{magasabbrendű}}_{\text{elhanyagolható}}$$

$$0 = I_x dx + I_y dy + I_t dt$$

(x,y,t)

99	90	90	70	40
95	90	70	40	40
90	90	70	40	40
90	90	70	40	40
90	70	50	40	30

Optikai áramlás mérése

$I(x,y,t)$ képszekvencia esetén

Legegyszerűbb feltételezés (állandó fényességi korlát):

$$I(x,y,t) = I(x + dx, y + dy, t + dt)$$

emlékeztető: $f(x + dx) = f(x) + f'(x) dx + f''(x) dx^2 / 2 + \dots$

$$I(x,y,t) = I(x,y,t) + I_x dx + I_y dy + I_t dt + \underbrace{2. \text{ derivált} + \text{magasabbrendű}}_{\text{elhanyagolható}}$$

$$0 = I_x dx + I_y dy + I_t dt$$

$$-I_t = I_x \frac{dx}{dt} + I_y \frac{dy}{dt}$$

intenzitás-áramlás egyenlet

(x,y,t)

99	90	90	70	40
95	90	70	40	40
90	90	70	40	40
90	90	70	40	40
90	70	50	40	30

Optikai áramlás mérése

$I(x,y,t)$ képszekvencia esetén

Legegyszerűbb feltételezés (állandó fényességi korlát):

$$I(x,y,t) = I(x + dx, y + dy, t + dt)$$

emlékeztető: $f(x + dx) = f(x) + f'(x) dx + f''(x) dx^2 / 2 + \dots$

$$I(x,y,t) = I(x,y,t) + I_x dx + I_y dy + I_t dt + \underbrace{2. \text{ derivált} + \text{magasabbrendű}}_{\text{elhanyagolható}}$$

$$0 = I_x dx + I_y dy + I_t dt$$

$$-I_t = I_x \frac{dx}{dt} + I_y \frac{dy}{dt}$$

Intenzitás-áramlás egyenlet

(x,y,t)

99	90	90	70	40
95	90	70	40	40
90	90	70	40	40
90	90	70	40	40
90	70	50	40	30

$$\begin{aligned} I_x &= \frac{dI}{dx} \\ I_y &= \frac{dI}{dy} \\ I_t &= \frac{dI}{dt} \end{aligned}$$

Optikai áramlás mérése

$I(x,y,t)$ képszekvencia esetén

Legegyszerűbb feltételezés (állandó fényességi korlát)

$$I(x,y,t) = I(x + dx, y + dy, t + dt)$$

(x,y,t)

99	90	90	70	40
95	90	70	40	40
90	90	70	40	40
90	90	70	40	40
90	70	50	40	30

$$I(x,y,t) = I(x,y,t) + I_x dx + I_y dy + I_t dt + \underbrace{2. \text{ derivált} + \text{magasabbrendű}}_{\text{Ezeket elhanyagoltuk}}$$

$$0 = I_x dx + I_y dy + I_t dt$$

$$-I_t = I_x \frac{dx}{dt} + I_y \frac{dy}{dt}$$

intenzitás-áramlás egyenlet

ismerjük

keressük

Csak egy egyenlet jut a két ismeretlenre...



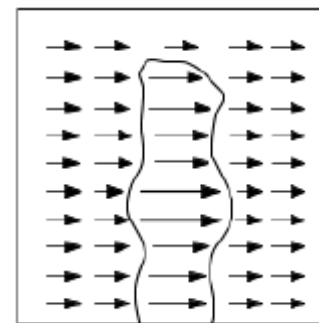
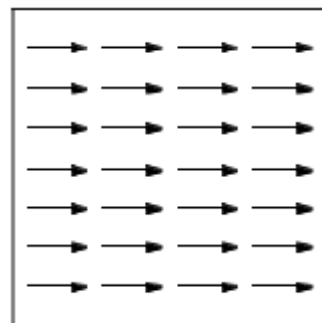
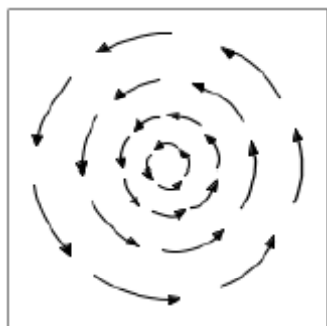
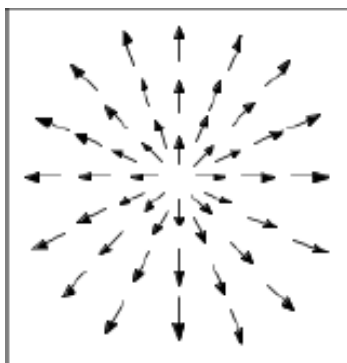
...de valahogy azért kezelhetjük a problémát

Intenzitás-áramlás egyenlet előfeltevései voltak:

- egy mozgó pont intenzitása állandó marad
- egy (kis) objektum azonosan mozgó (közeli) pontjai a 2D képen is közel maradnak (ezért lesz majd érdemes kis lokális ablakra közös megoldást keresni)
- kis időhöz (pl. 2 frame között eltelt 20msec) kis elmozdulás tartozik

Szemléletes egyszerű példák:

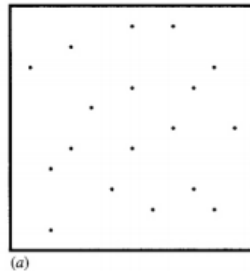
Az optikai áramlási mező könnyen - így relatíve gyorsan - értelmezhető



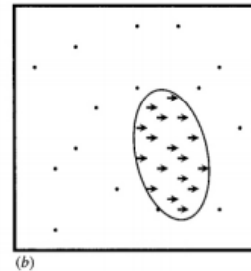
- (a) Transzlációs mozgás a kamera síkjára merőleges irányban.
- (b) Rotációs mozgás a képsíkra merőleges tengely körül.
- (c) Transzlációs mozgás a képsíkkal párhuzamosan.
- (d) Transzlációs mozgás előtérben egy objektummal, ami közelebb van és gyorsabban mozog.

Optikai áramlási mező további értelmezései

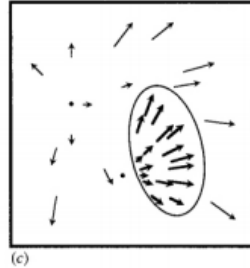
Az objektum áll



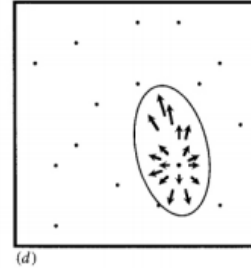
Az objektum halad



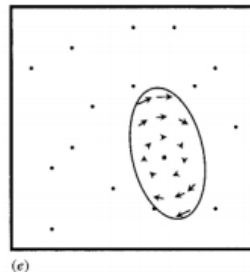
A kamera mozog,
az objektum más
irányban szintén



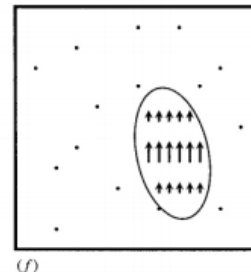
A kamera áll, az
objektum közelít



Az objektum az
optikai tengely
körül forog

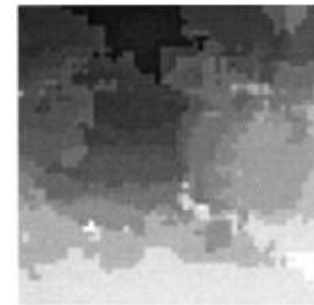
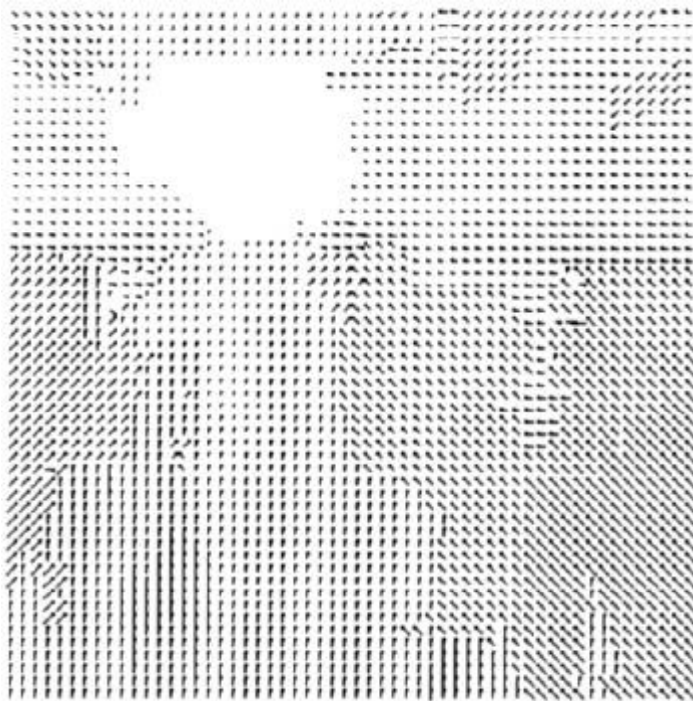


Az objektum az optikai
tengelyre merőleges
tengely körül forog

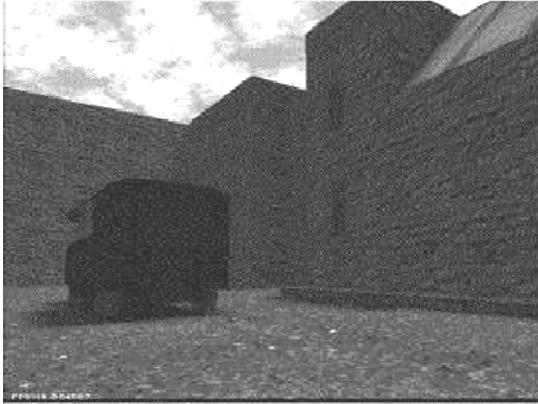


Optikai áramlási mező további értelmezése

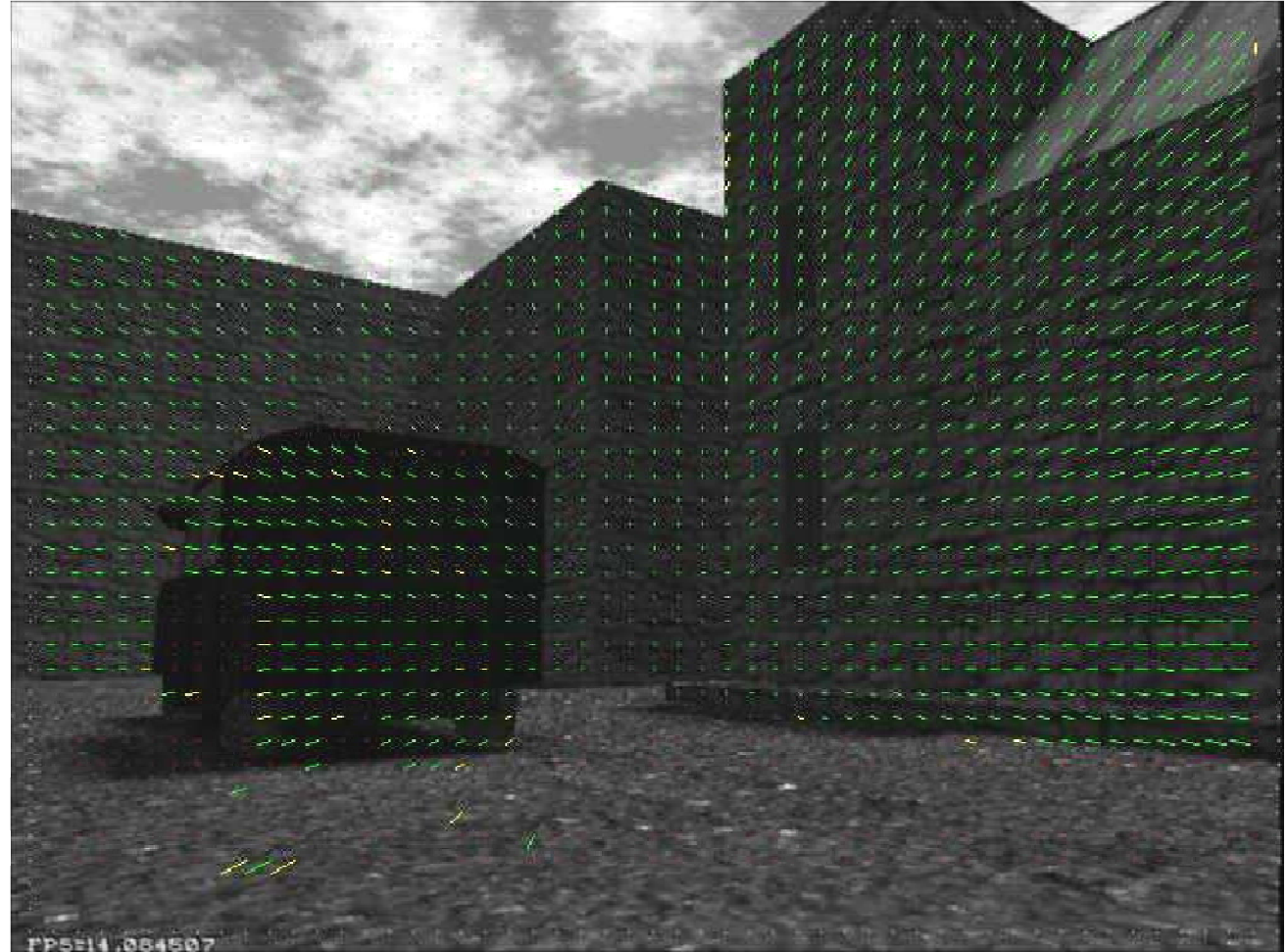
jobbra lent: a becsült mélységtérkép



Példa: Optikai áramlással képszegmentálás



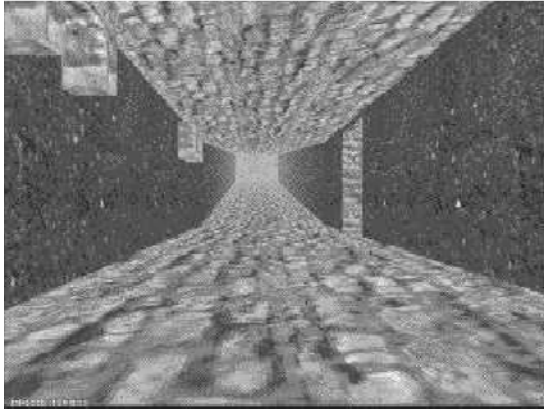
+ egy lépést előre



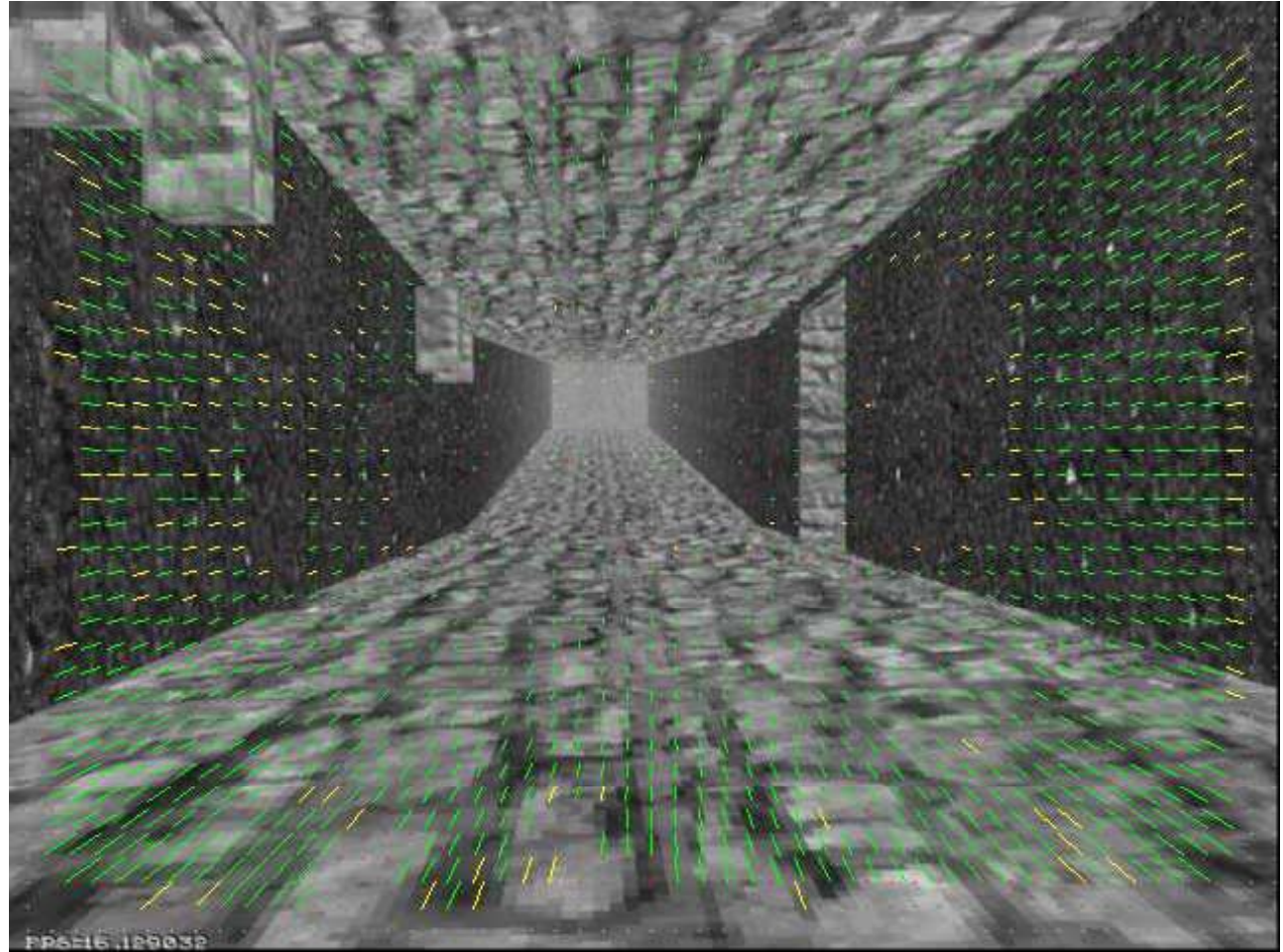
Szegmentálhatók:

- relatíve álló/mozgó síkok
- közeli/távoli objektumok
- ...

Optikai áramlás alkalmazások

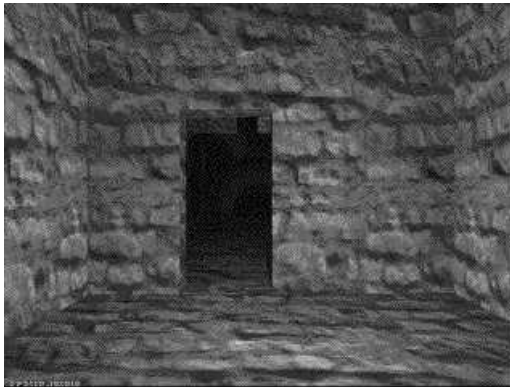


+ egy lépés előre

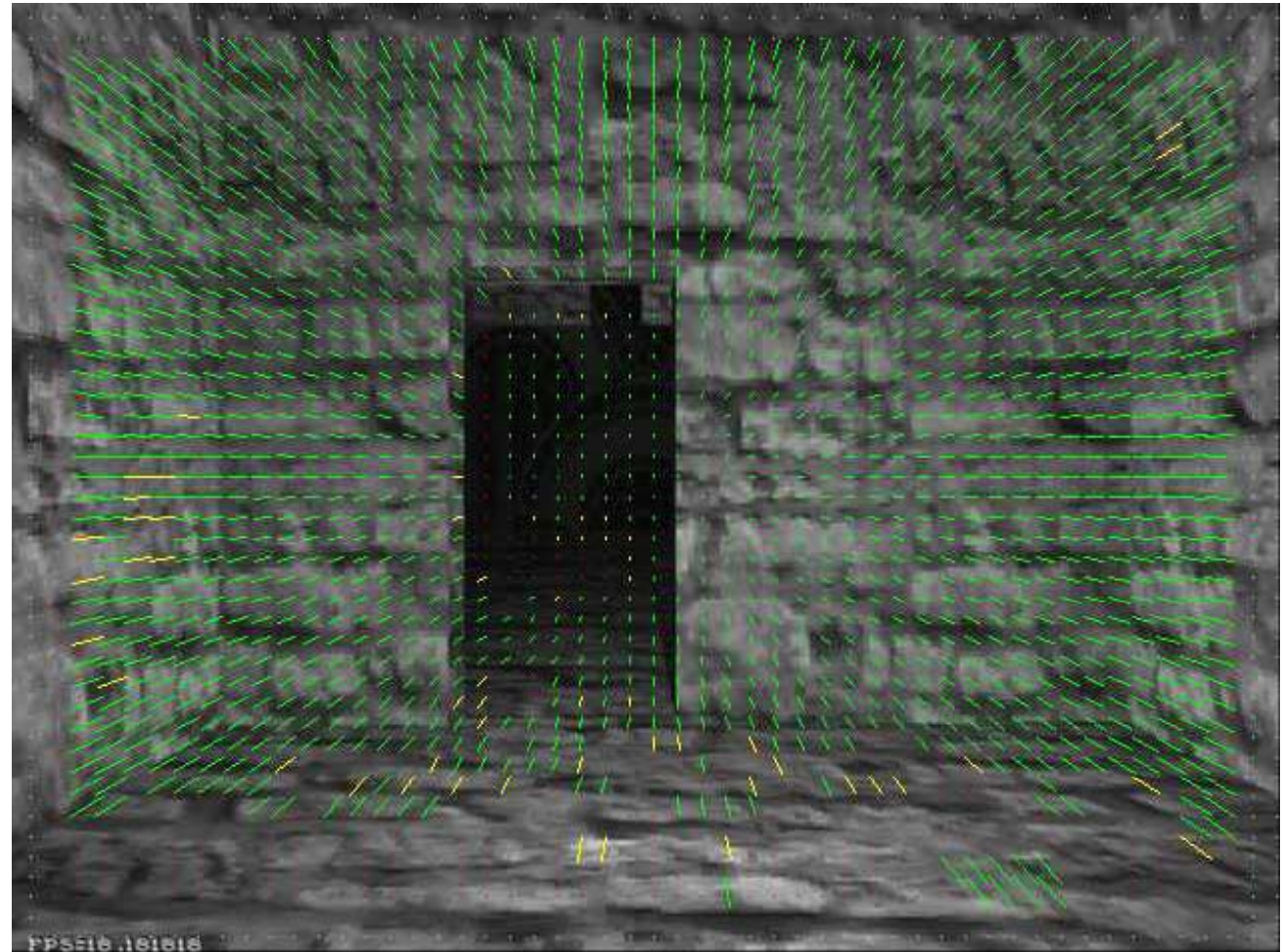


Elégséges információ pl. az akadályok elkerülésére

Optikai áramlás alkalmazások

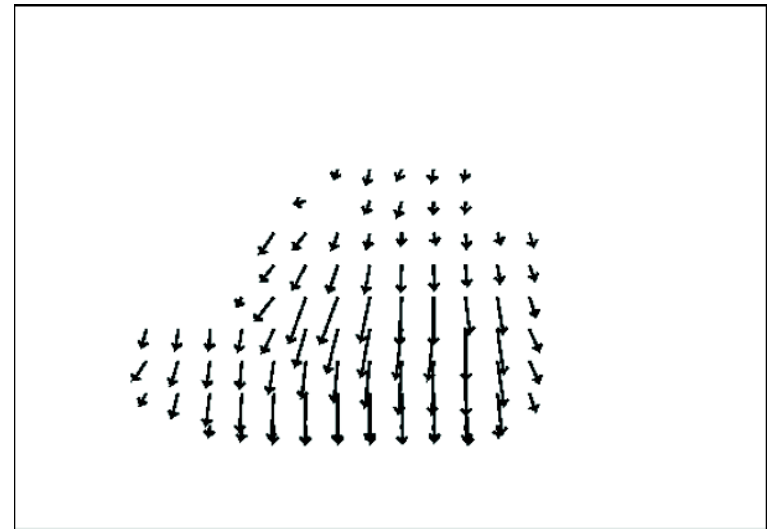


+ egy lépés előre



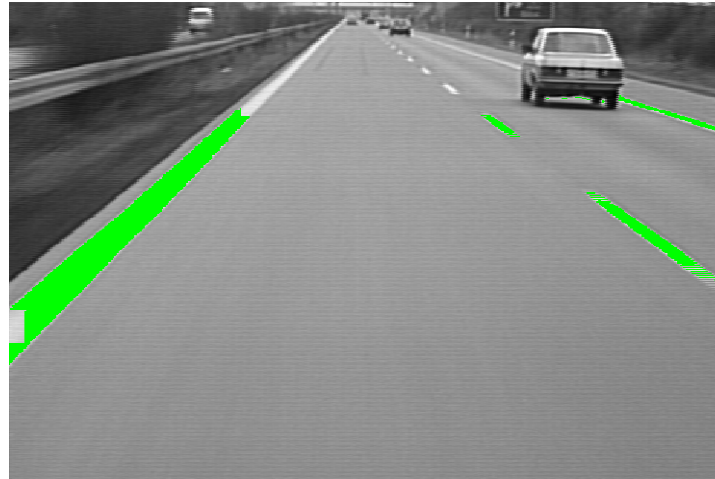
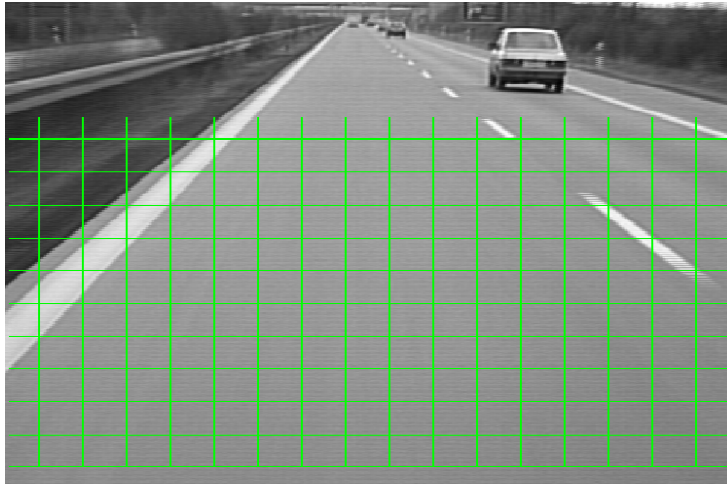
Vagy egyéb tulajdonságok felismerésére (pl. hol a kijárat)..

Példa: Mozgó jármű követése



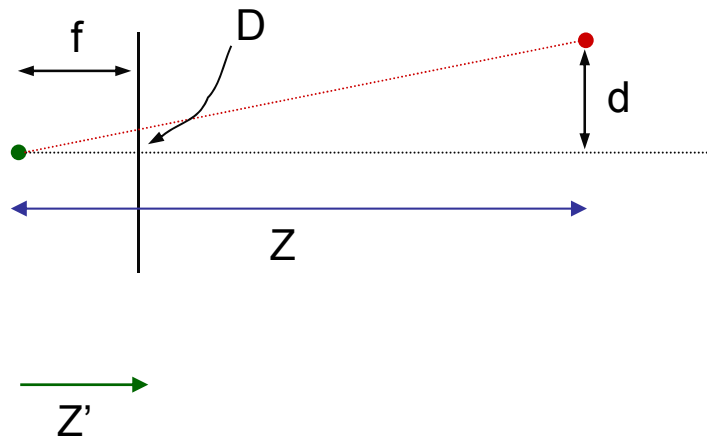
Látható, hogy a gépjármű árnyéka önmagában ezzel a módszerrel nem leválasztható, viszont az eljárás a további vizsgálatok tárgyát képező régió méretét jelentősen csökkenti.

Példa: Úttartás vizsgálat



- A feladat ebben az esetben gyakorlatilag fordított, mivel ekkor a homogén zérus relatív sebességű útra kell koncentrálnunk. A mozgó járműveket viszont ki kell szűrni a vizsgálatból

Példa: “TTC” (Time To Collision)



D = képpont távolsága az optikai tengelytől

D' = képpont sebessége a képen

Z = aktuális távolság

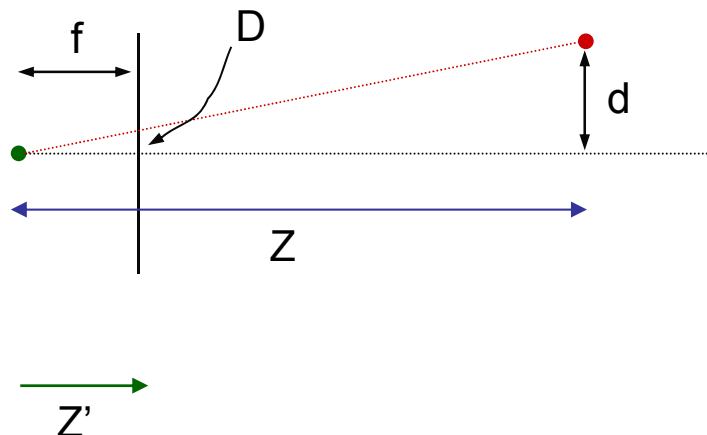
Z' = Z távolság változási sebessége

f = kamera fókusztávolság

d = mozgó pont távolsága optikai tengelytől

Mi az első négy paraméter összefüggése?

Példa: “TTC” kiszámítása



$$1) \quad D / f = d / Z$$

$$2) \quad D = df / Z$$

$$3) \quad D' = -df Z' / Z^2$$

$$4) \quad D' = -D Z' / Z$$

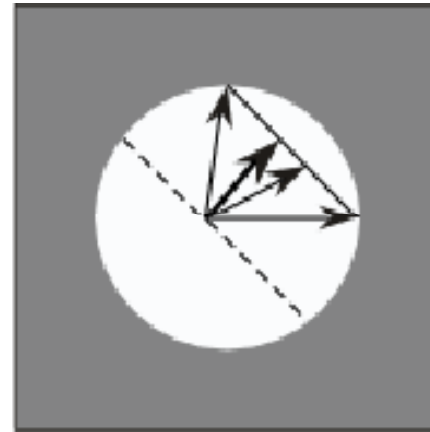
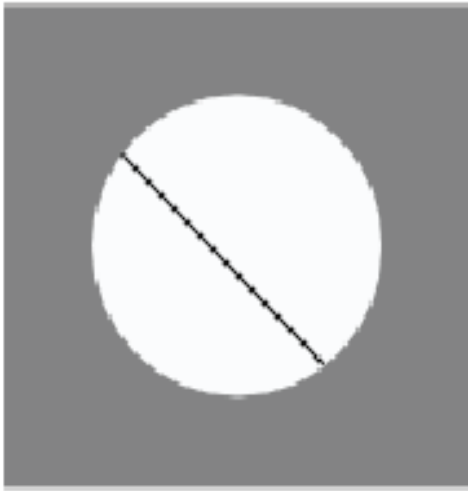
$$5) \quad Z / Z' = -D / D'$$

← TTC

Nagyon leegyszerűsödik a válasz:

Akkor is megadható, ha az aktuális
sebességet nem is tudom és a kamera sem
kalibrált!

Optikai áramlás alkalmazhatósági korlátai az „apertúra probléma” (alulhatározottság)

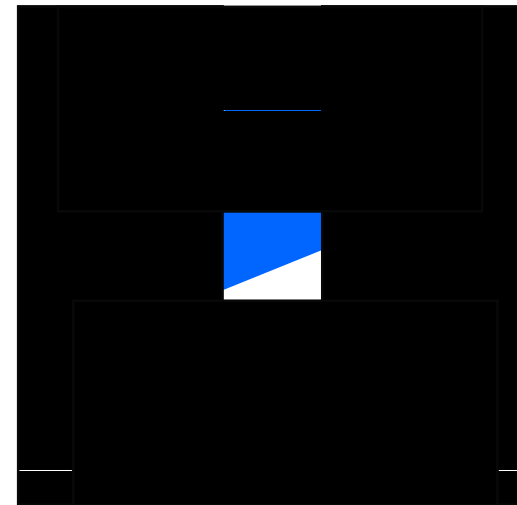
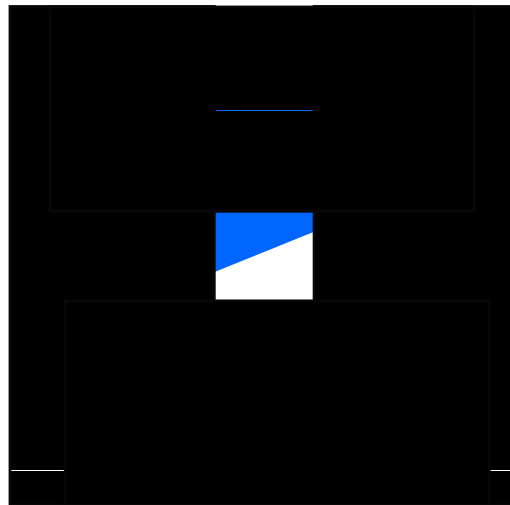
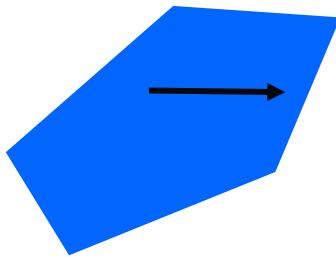


Egy kis nyíláson keresztül egy vonalat detektálunk. Nem lehet egyértelműen megmondani, hogy melyik pont hova tartozik. Végtelen sok megoldás lehet.

Intenzitás- áramlás egyenlet problematikája

Az intenzitás-áramlás egyenlet *egy* kényszert ugyanakkor *két* ismeretlen változót szolgáltat (x-mozgás és y-mozgás)

$$v = -u \frac{I_x}{I_y} - \frac{I_t}{I_y}$$

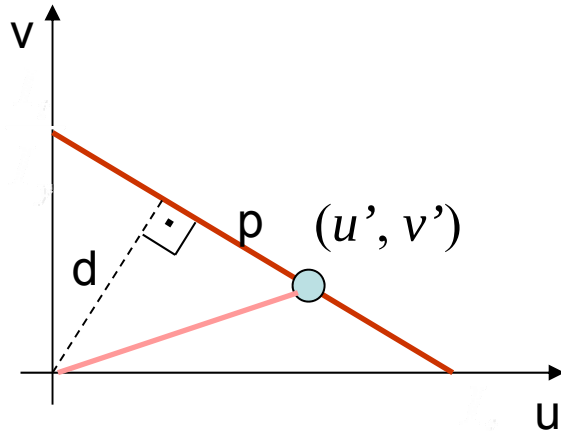


Megoldásokat később tárgyaljuk!

Intenzitás- áramlás egyenlet problematikája

- A lehetséges megoldások tehát az u, v síkon ábrázolva a megadott egyenesre esnek
- A kitüntetett "merőleges" d értéket ugyan meg lehetett adni - de korántsem biztos, hogy igaz is ez a feltételezés
- De az egyes képpontokra vett mérésből (I_x, I_y, I_t volt mérhető) többet nem tudtunk következtetni

Intenzitás- áramlás egyenlet problematikája

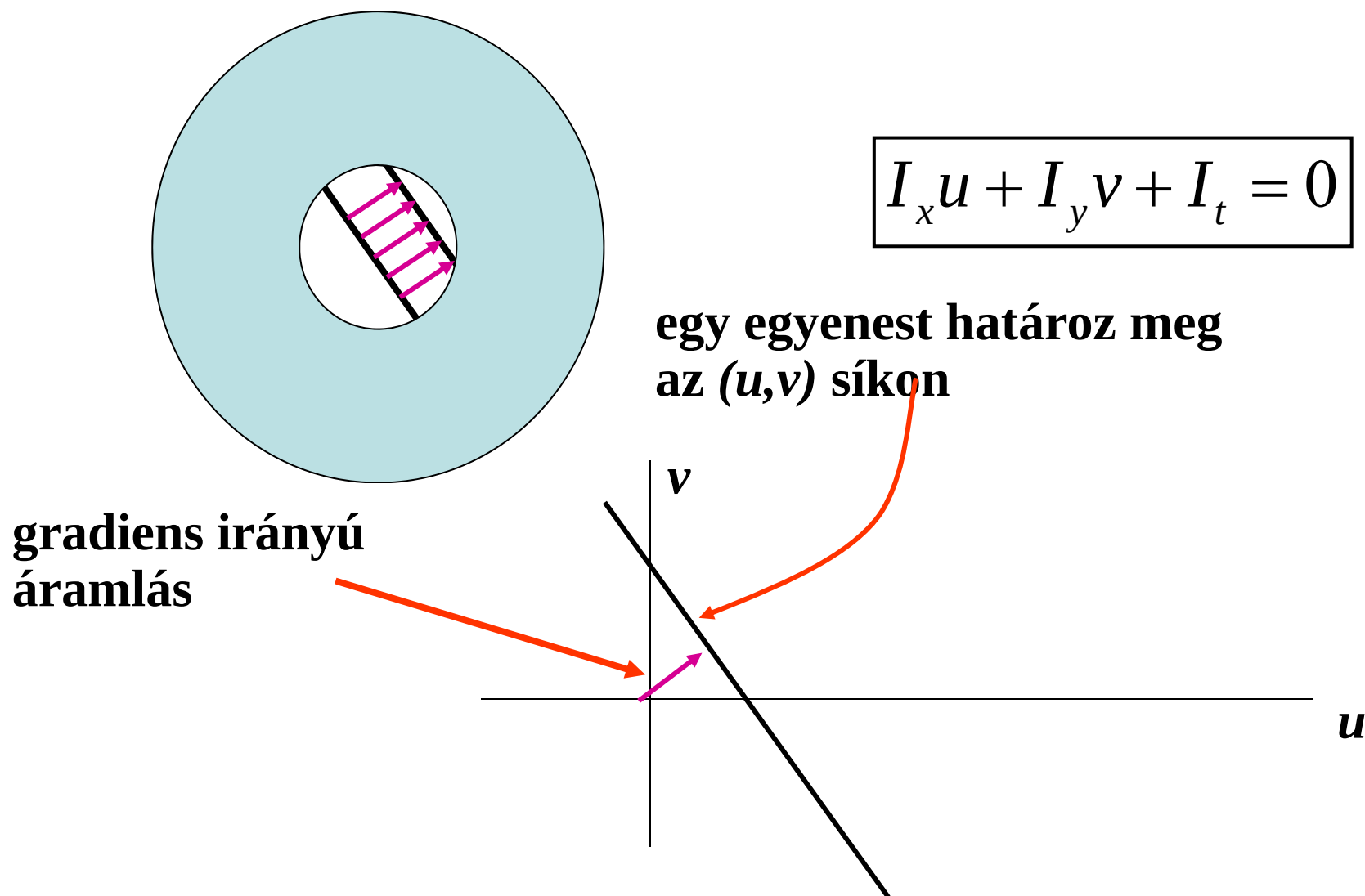


$$v = -u \frac{I_x}{I_y} - \frac{I_t}{I_y}$$

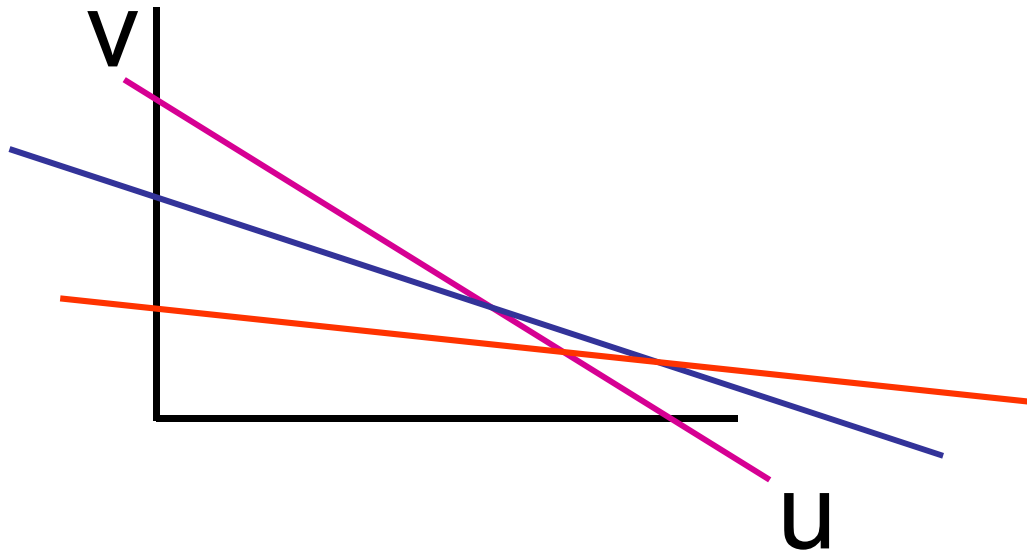
$$d = \frac{I_t}{\sqrt{I_x^2 + I_y^2}}$$

- (u', v') a folyam valódi sebessége
- A valódi optikai folyamnak két komponense van:
 - Normál irányban: d
 - Párhuzamos irányban: p
- A normál folyam meghatározható (gradiens irányú komponens)
- A párhuzamos (p) nem

Apertúra Probléma – a gradiens irányú áramlás meghatározható

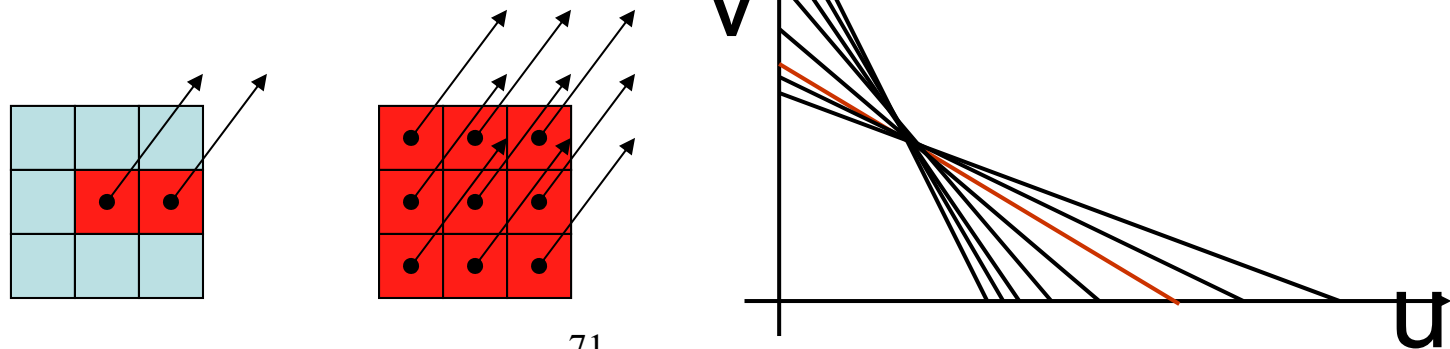


Ha kis területen koherens mozgás feltételezhető



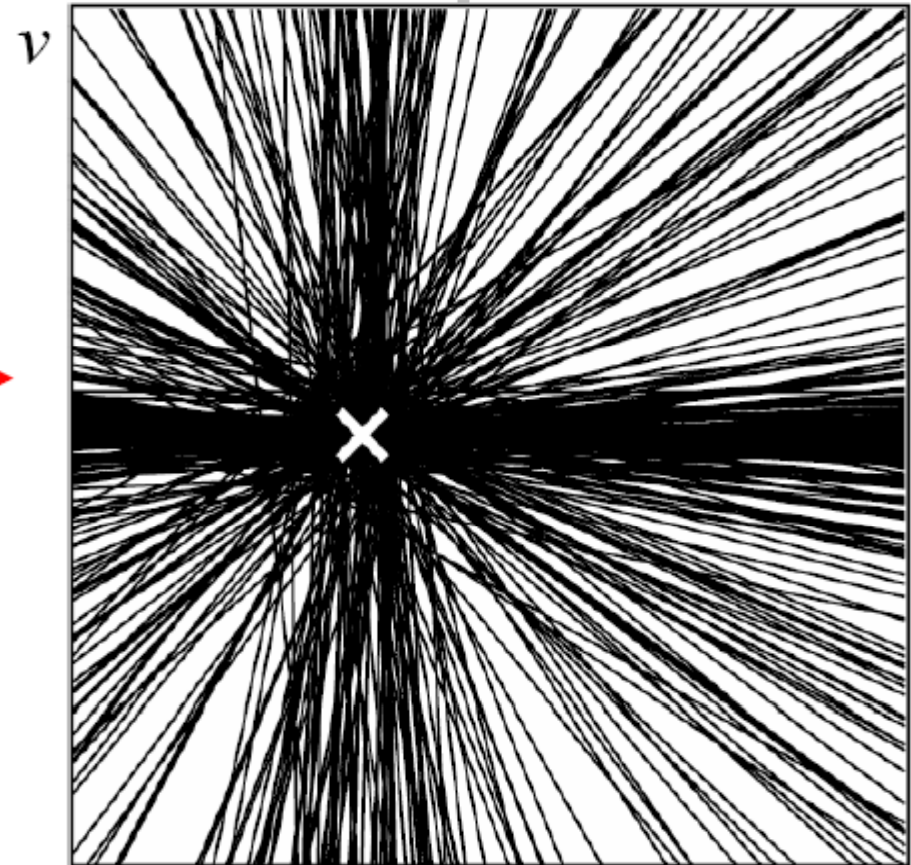
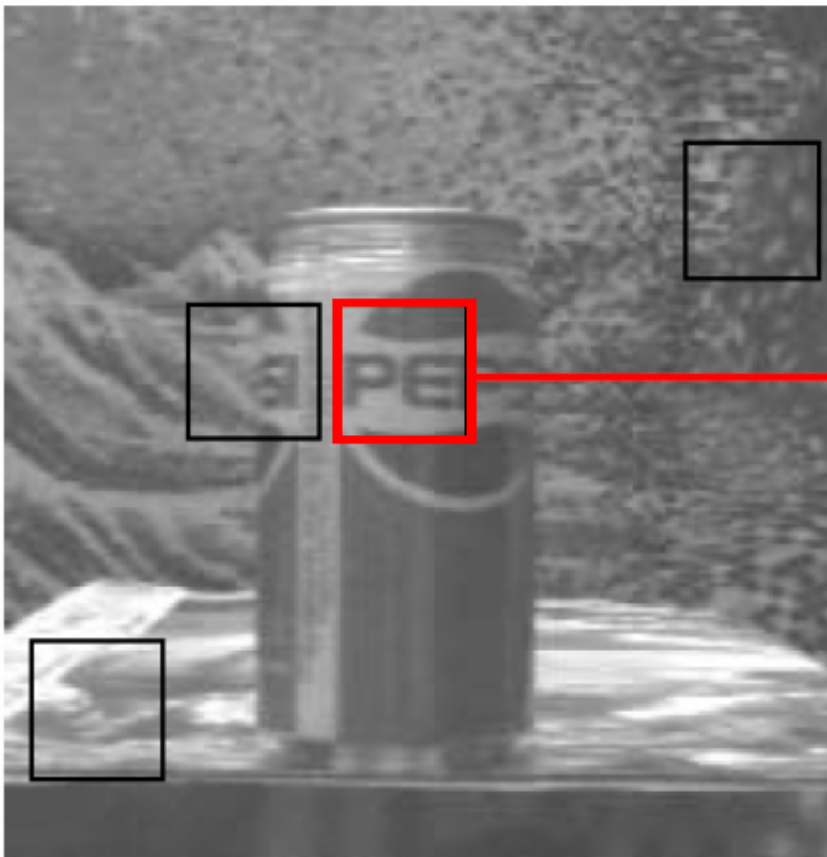
Schunck módszere

- Ha két szomszédos pixel ugyanazzal a sebességgel mozog
 - A hozzátartozó folyamegyenlet megoldásai egy pontban metszik egymást az (u,v) térben
 - Határozzuk meg a metszéspontot
 - A több szomszéd (Schunck 8-at használ) általában nem egy pontot, hanem egy halmazt (klasztert) határoz meg
 - A legnagyobb ilyen halmaz meghatározza a sebességet



Itt a területi koherencia feltételezhető

Közelítő feltételezés: az adott régió belül állandó az áramlási sebesség



u

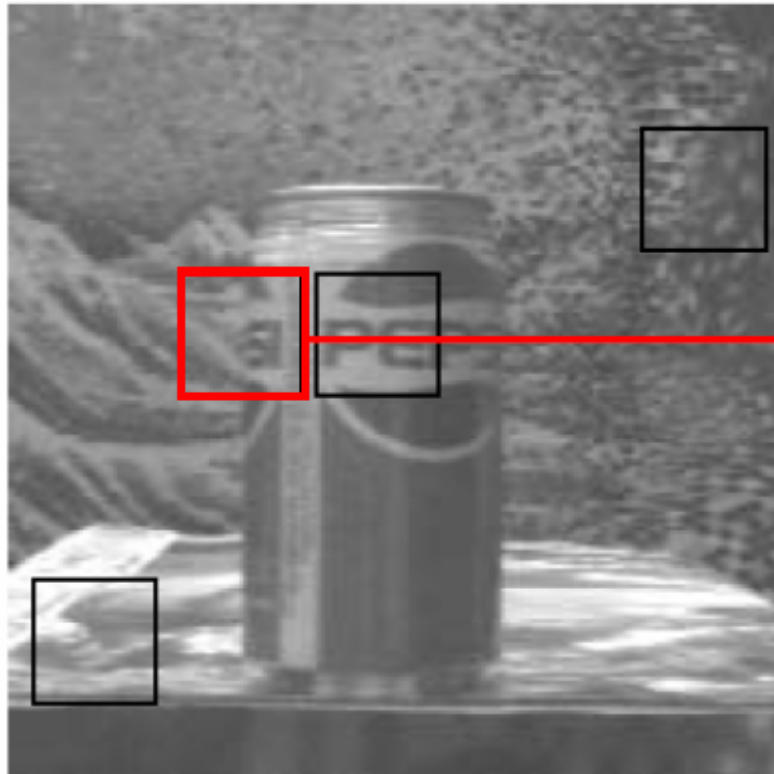
Eddigi egyszerűsítő feltételezések további korlátai

Áthágásuk leggyakoribb okai:

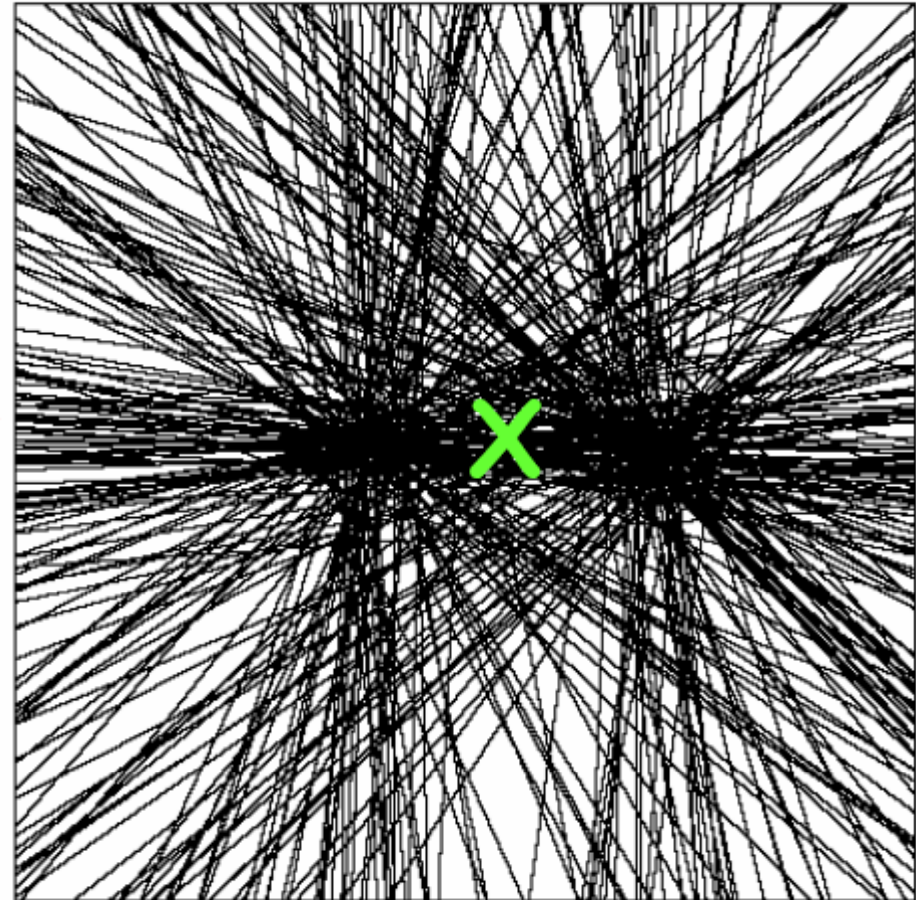
- Egyszerre több objektum mozog
- Mozgás diszkontinuitás, takarás
- Árnyék
- Becsillogás
- Átlátszóság
- ...

Ha egyszerre több objektum mozog

Probléma: a vizsgált régióban
egyszerre több objektum is mozog



V



U

Légkisebb négyzetes közelítés

További implementációs megoldások

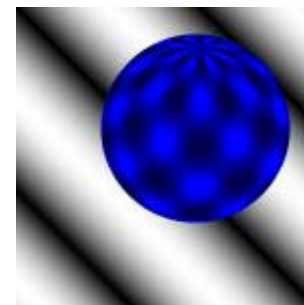
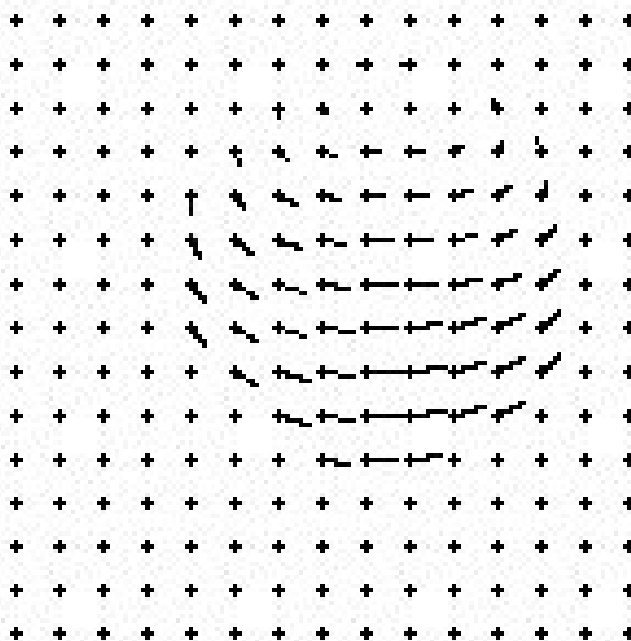
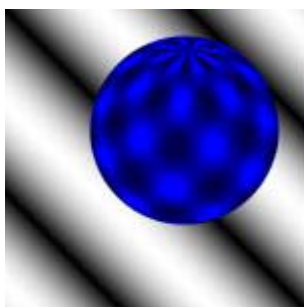
L-K

Iteratív L-K

Piramis elvű iteratív L-K

Intenzitás- áramlás egyenlet jobb megoldásai

időben, térben, intenzitásban koherens áramlást feltételeztünk



fentieken alapuló követési elvek:

- szűrés, kontúr mentén integrálás
- mozgásmezők kvalitatív kiértékelése

Intenzitás- áramlás egyenlet jobb megoldásai

A simítás megoldható egy lokális környezet pontjainak együttes kezelésével

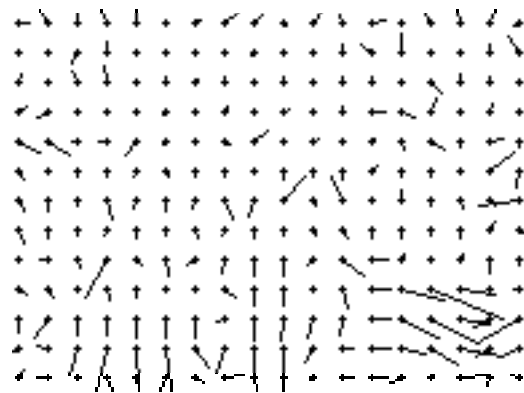
kép1



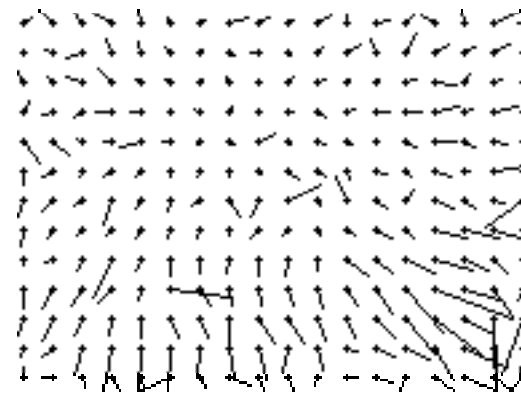
kép2



Primer
áramlási kép a
pontokra
egyesével
kiszámítva



„simított”
áramlási
kép



simítás: pl. Lucas – Kanade algoritmussal

Lucas - Kanade módszer

- Ami az ismert implementációkban közös: kétértelműség (alulhatározottság) feloldása a 2. és 3. számú "együttállások" feltételezésével
- De több pont méréseit együtt kezelve „túl sok” az egyenlet: túlhatározottság lesz az eddigi alulhatározottságból:
sok pontból - sok egyenlet – két ismeretlen (u,v)

Lucas - Kanade módszer

- Egy lokális ablakban (ha tényleg azonos objektumhoz tartozó közeli pontok)
A mért (I_x , I_y , I_t) értékekhez - a legkisebb négyzetes hibaösszeg elvén - azonos u, v értéket kell rendelni
A szummában az ablakpontok egyedi mért értékei szerepelnek - az "igazi" közös (u, v) - re nyilván nem adódik az áramlás - intenzitás egyenlet zérus összege)
- A NÉGYZETES HIBAÖSSZEGET MINIMALIZÁLJUK:
Ahogy a regressziós egyenes két paraméterének meghatározásánál sok mérési pontból: a paraméterek szerinti parciális derivált = 0 helyen van a megoldás.

$$E = \sum (uI_x + vI_y + I_t)^2$$

$$\frac{\partial E}{\partial u} = \sum 2I_x(uI_x + vI_y + I_t) = 0$$

$$\frac{\partial E}{\partial v} = \sum 2I_y(uI_x + vI_y + I_t) = 0$$

Lucas - Kanade módszer

$$\frac{\partial E}{\partial u} = \sum 2I_x(uI_x + vI_y + I_t) = 0$$

$$\frac{\partial E}{\partial v} = \sum 2I_y(uI_x + vI_y + I_t) = 0$$

$$\begin{aligned}\sum uI_x^2 + \sum vI_xI_y + \sum I_xI_t &= 0 \\ u\sum I_x^2 + v\sum I_xI_y &= -\sum I_xI_t \\ \begin{bmatrix} \sum I_x^2 & \sum I_xI_y \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u \\ v \end{bmatrix} &= -\sum I_xI_t\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\sum uI_xI_y + \sum vI_y^2 + \sum I_yI_t &= 0 \\ u\sum I_xI_y + v\sum I_y^2 &= -\sum I_yI_t \\ \begin{bmatrix} \sum I_xI_y & \sum I_y^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u \\ v \end{bmatrix} &= -\sum I_yI_t\end{aligned}$$

Lucas - Kanade módszer

$$Au = B$$

$$A^{-1}Au = A^{-1}B$$

$$Iu = A^{-1}B$$

$$u = A^{-1}B$$

$$\begin{bmatrix} u \\ v \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum I_x^2 & \sum I_x I_y \\ \sum I_x I_y & \sum I_y^2 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} -\sum I_x I_t \\ -\sum I_y I_t \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} u \\ v \end{bmatrix} = \frac{1}{\sum I_x^2 \sum I_y^2 - (\sum I_x I_y)^2} \begin{bmatrix} \sum I_y^2 & -\sum I_x I_y \\ -\sum I_x I_y & \sum I_x^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -\sum I_x I_t \\ -\sum I_y I_t \end{bmatrix}$$

Lucas-Kanade áramlási egyenlet

$$\begin{bmatrix} \sum I_x I_x & \sum I_x I_y \\ \sum I_x I_y & \sum I_y I_y \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u \\ v \end{bmatrix} = - \begin{bmatrix} \sum I_x I_t \\ \sum I_y I_t \end{bmatrix}$$

$A^T A$ $A^T b$

- Négyzetes hibaösszeg minimalizálása egy lokális ablakra
- Lucas & Kanade (1981)

(L-K megoldás matematikai feltételei)

$$\begin{bmatrix} \sum I_x I_x & \sum I_x I_y \\ \sum I_x I_y & \sum I_y I_y \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u \\ v \end{bmatrix} = - \begin{bmatrix} \sum I_x I_t \\ \sum I_y I_t \end{bmatrix}$$
$$A^T A \qquad A^T b$$

Feladat: az optimális (u, v) megkeresése, mely kielégíti a Lucas-Kanade egyenletet

Mikor van megoldás?

- ha $A^T A$ invertálható
- ha $A^T A$ „elég releváns nagyságú” (a kép zajához képest)
 - λ_1 és λ_2 sajátértékei nem „túl kicsik”
- ha $A^T A$ „jól kondicionált”
 - λ_1 / λ_2 arány nem lehet „túl nagy” (λ_1 a nagyobb sajátérték)

$$A^T A = \begin{bmatrix} \sum I_x I_x & \sum I_x I_y \\ \sum I_x I_y & \sum I_y I_y \end{bmatrix} = \sum \begin{bmatrix} I_x \\ I_y \end{bmatrix} [I_x \ I_y] = \sum \nabla I (\nabla I)^T$$

További javítások

- Lucas – Kanade egyenlet megoldható?
 - Ha a kép nem túl zajos (optikai áramlás előtt egy aluláteresztő szűrés jó lehet)

-
- Mit tehetünk még, ha az eddigi korlátozó feltevéseink nem igazak?
 - Ha az intenzitás állandóság nem teljesül...
 - Ha az elmozdulás nem kicsi...
 - Ha pontok nem úgy mozognak mint szomszédaik...

Optikai áramlás iteratív becslése

Iteratív Lucas-Kanade algoritmus:

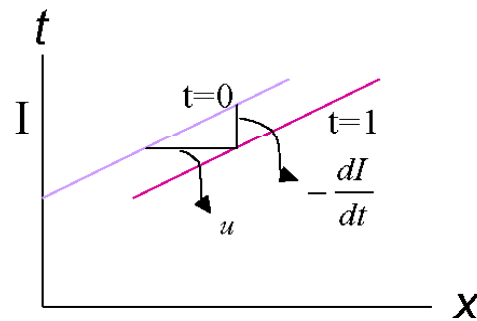
1. optikai áramlás kiszámítása minden pixelre a L-K egyenletet megoldva
2. H ból I kiszámítása a becsült optikai áramlási mezővel
3. ismétlés a konvergenciáig

Optikai áramlás iteratív becslése

Elv bemutatása 1D képre

Motion and Gradients

Consider 1-d signal; assume linear function of x



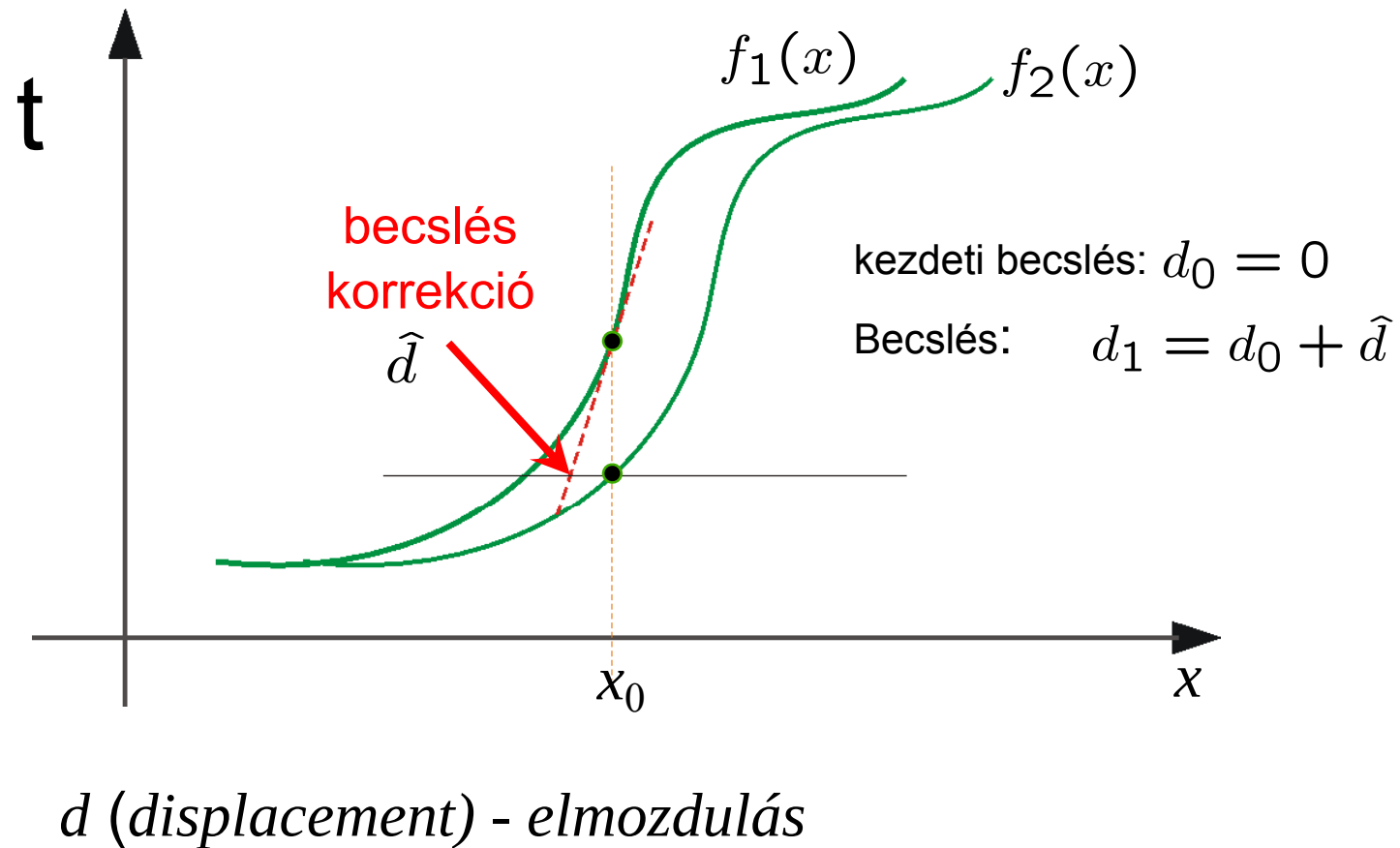
$$\frac{dI}{dx} = - \frac{dI/dt}{u}$$

$$0 = I_x u + I_t$$

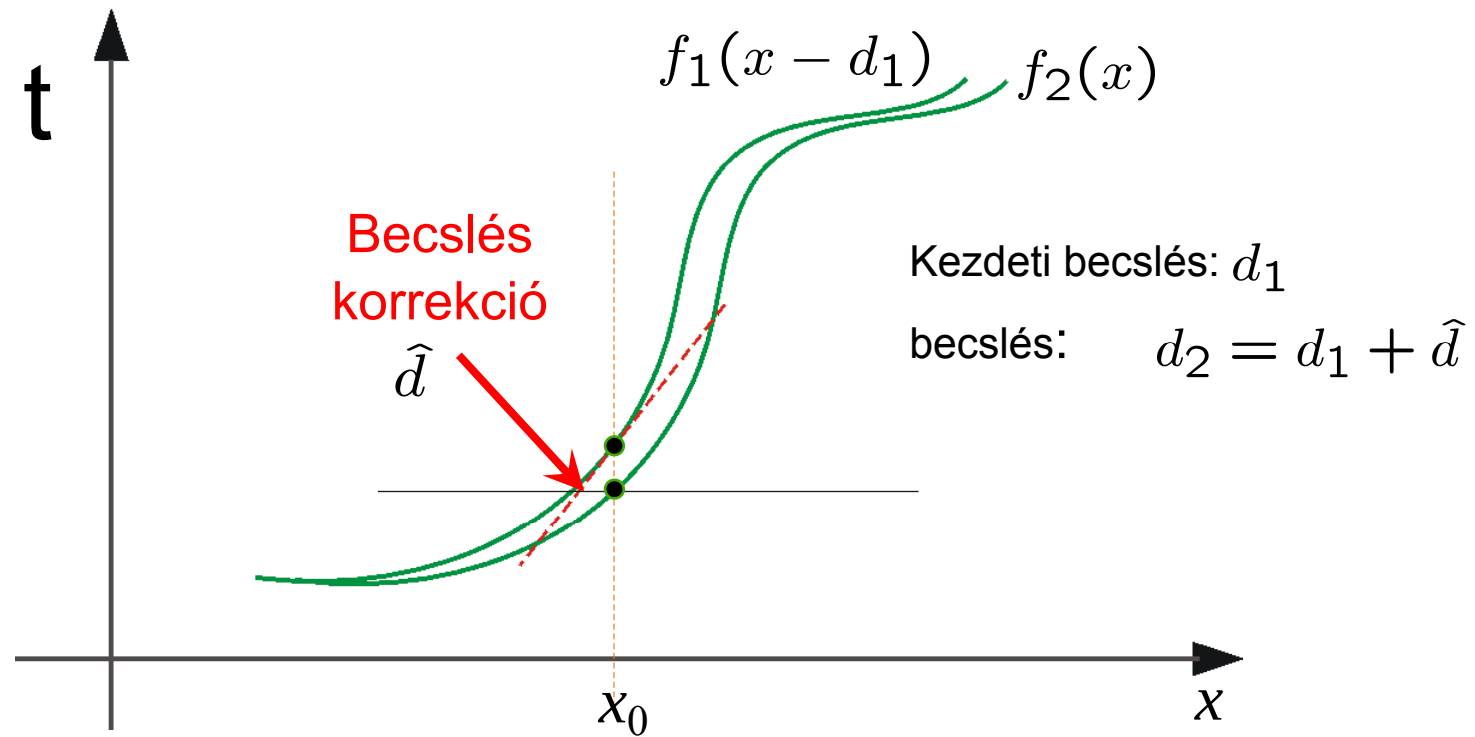
“shift by u to account
for I_x with I_t ”

$$u = - \frac{I_t}{I_x}$$

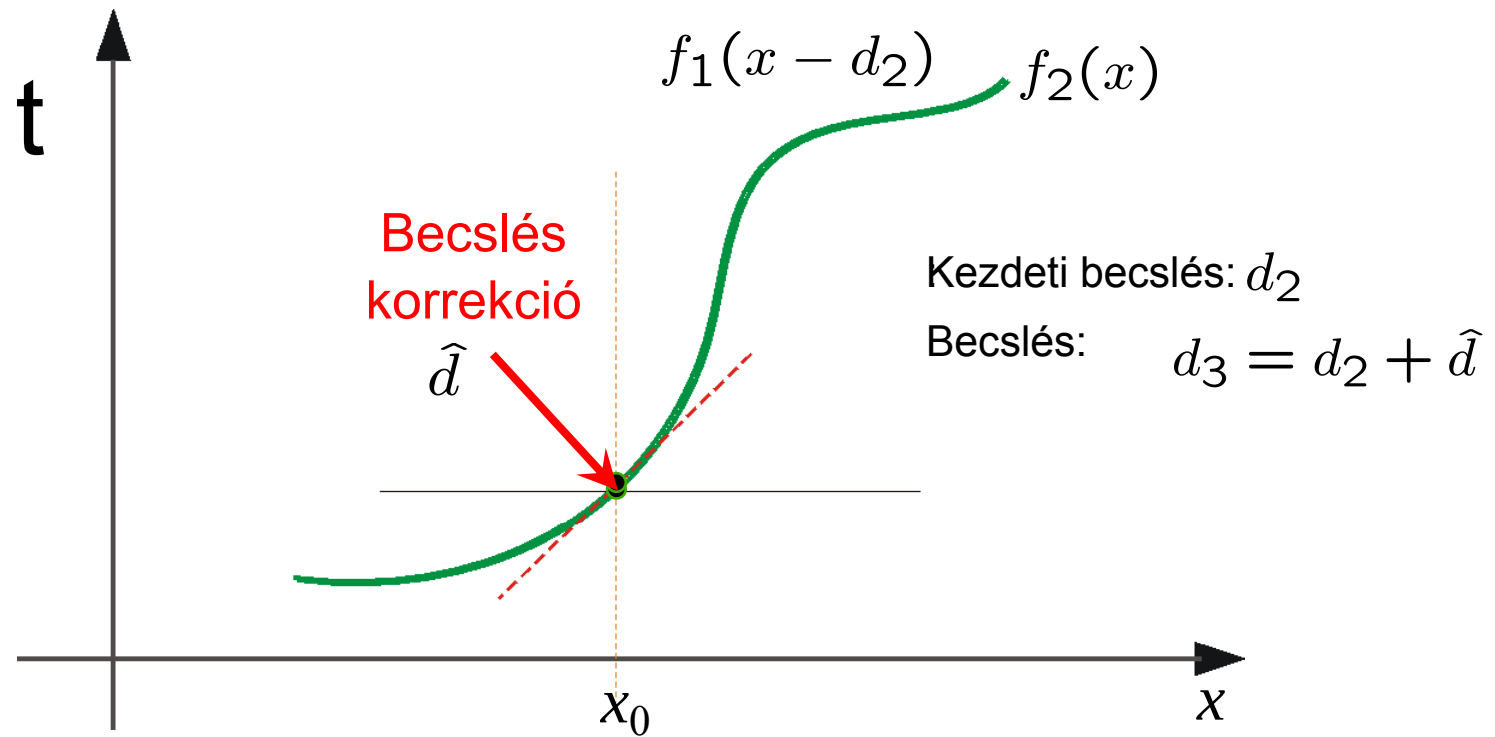
Optikai áramlás iteratív becslése



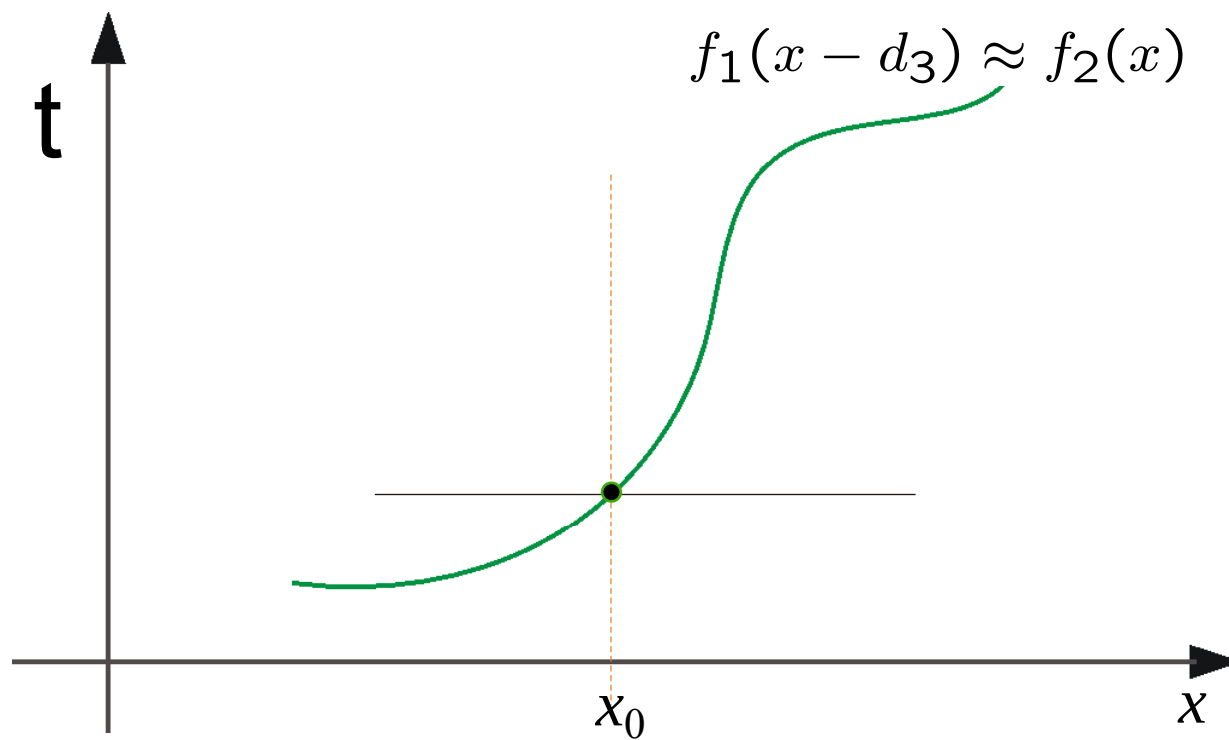
Optikai áramlás iteratív becslése



Optikai áramlás iteratív becslése



Optikai áramlás iteratív becslése

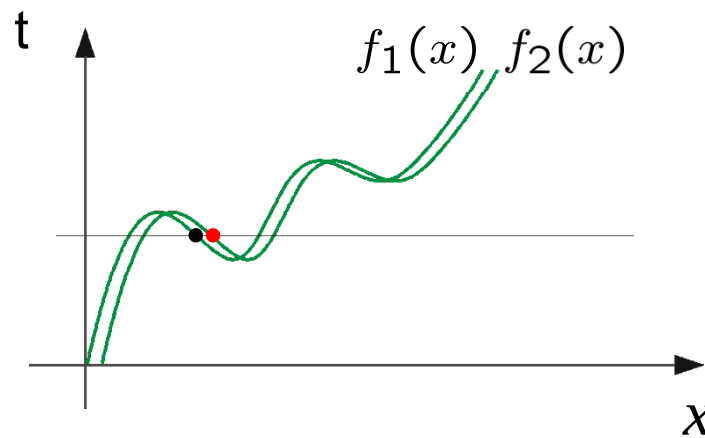


Mit tehetünk, ha túl nagy az elmozdulás?

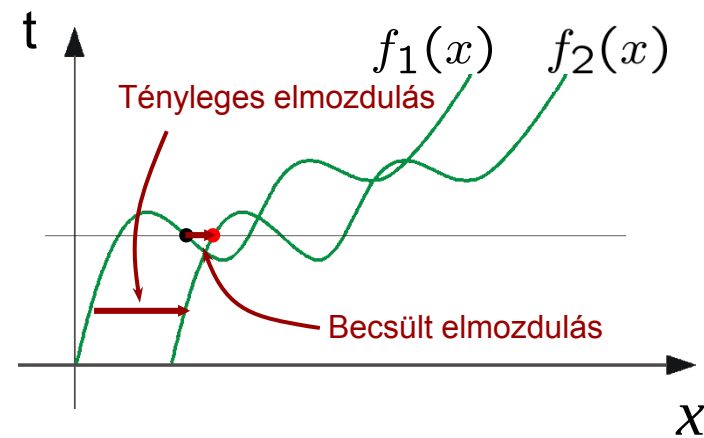


- Tényleg túl nagy (gyors) az elmozdulás?
 - Matematikailag tárgyalva: valószínűleg igen (és a 2. rendű tagok dominálnak)
 - Probléma megoldása?

Mit tehetünk, ha túl nagy az elmozdulás?



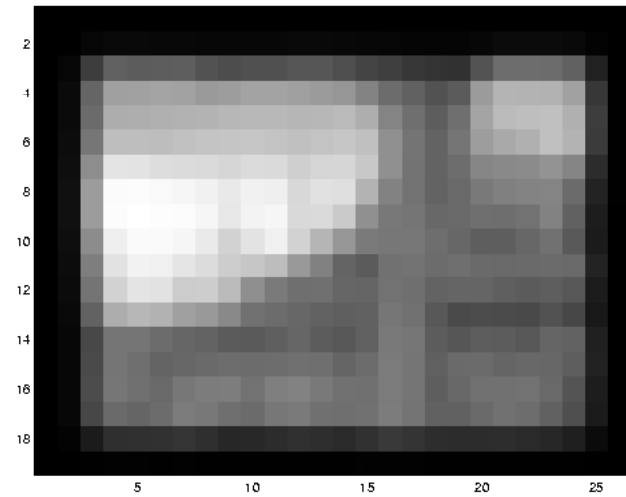
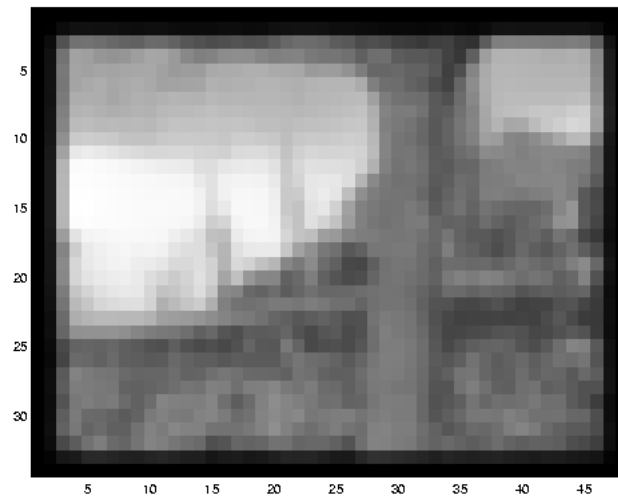
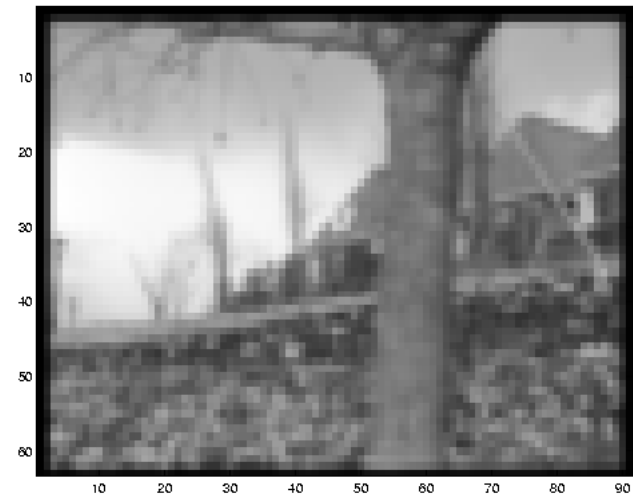
Kis elmozdulásra: OK



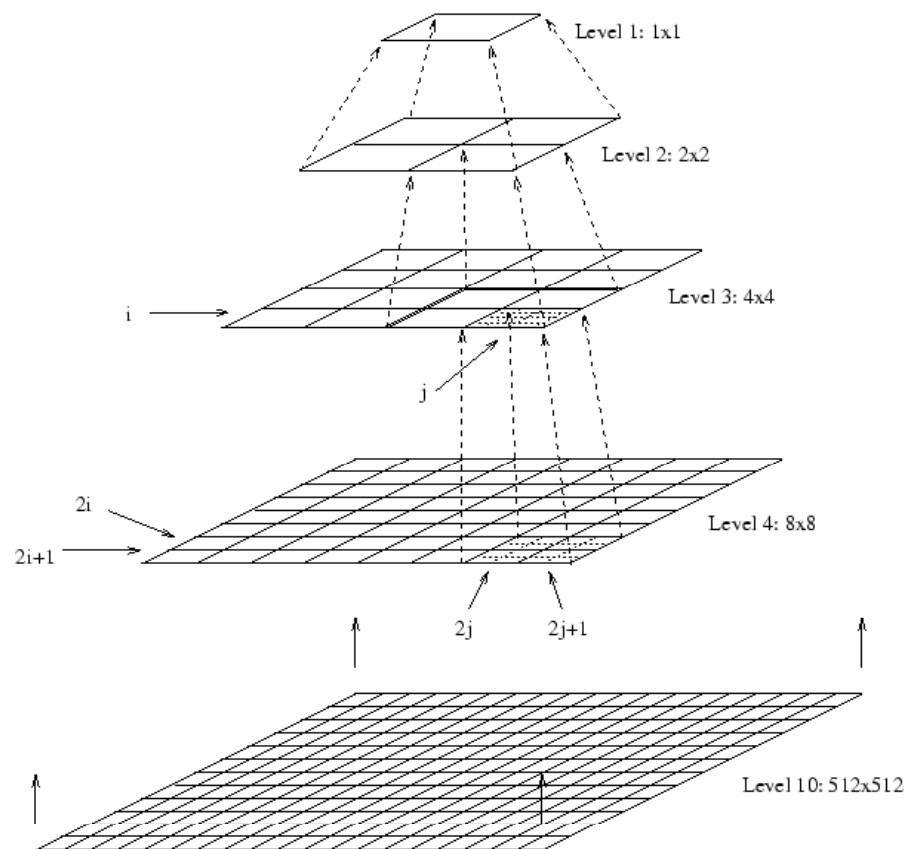
Nagy elmozdulásra: nem OK

Megoldás: durva-finom felbontású képeken végzett L-K becslések:

Csökkenteni kell a felbontást!

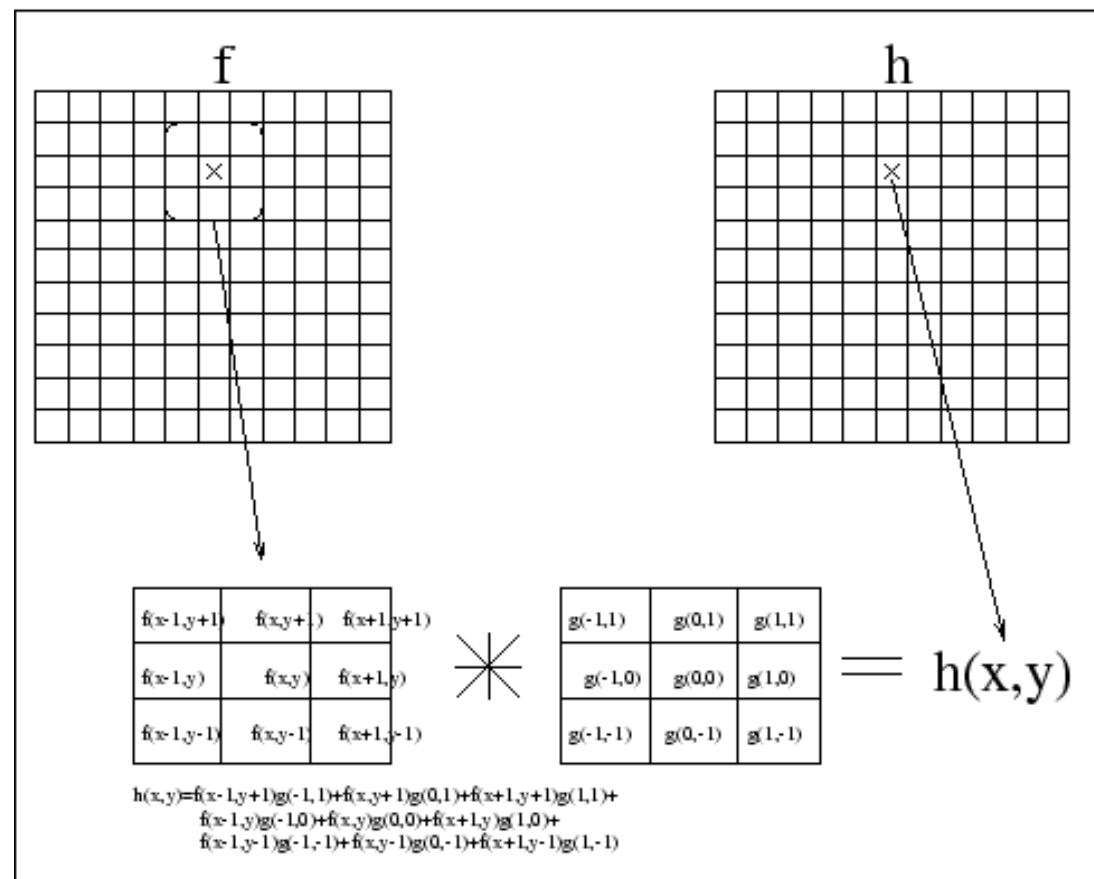


Durva-finom felbontású optikai áramlás becslés

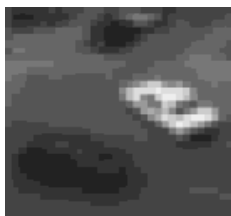


Durva-finom felbontású optikai áramlás becslés

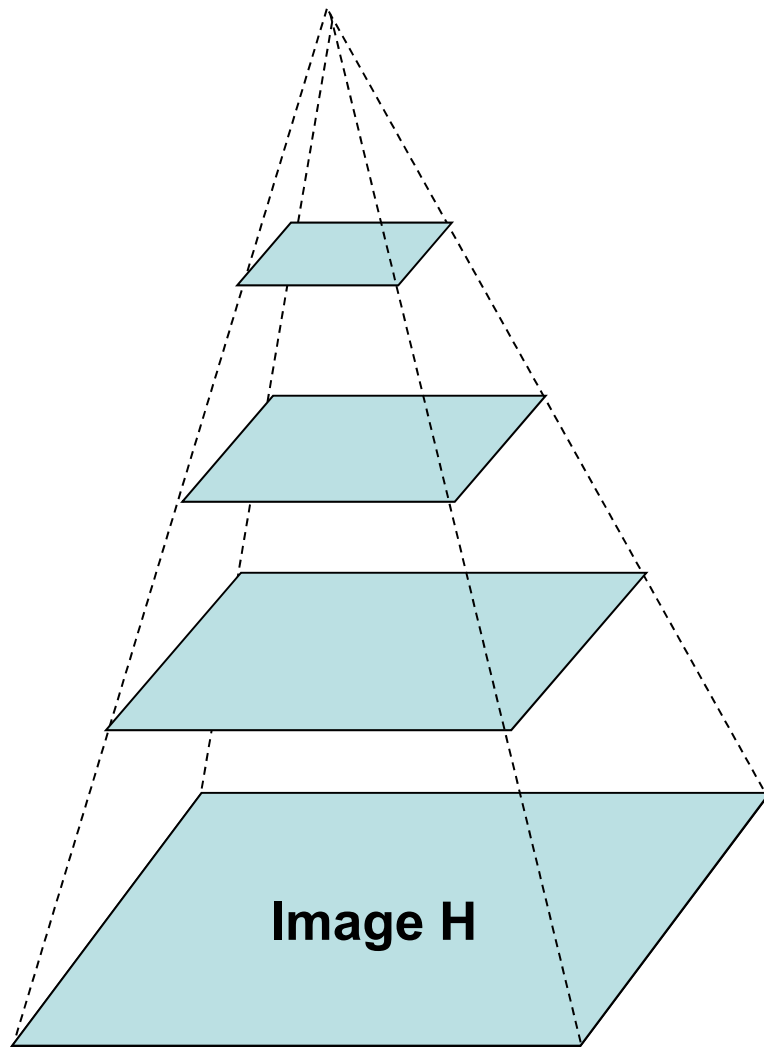
Piramis építés – például konvolúcióval



Durva-finom felbontású optikai áramlás becslés



Durva-finom felbontású optikai áramlás becslés



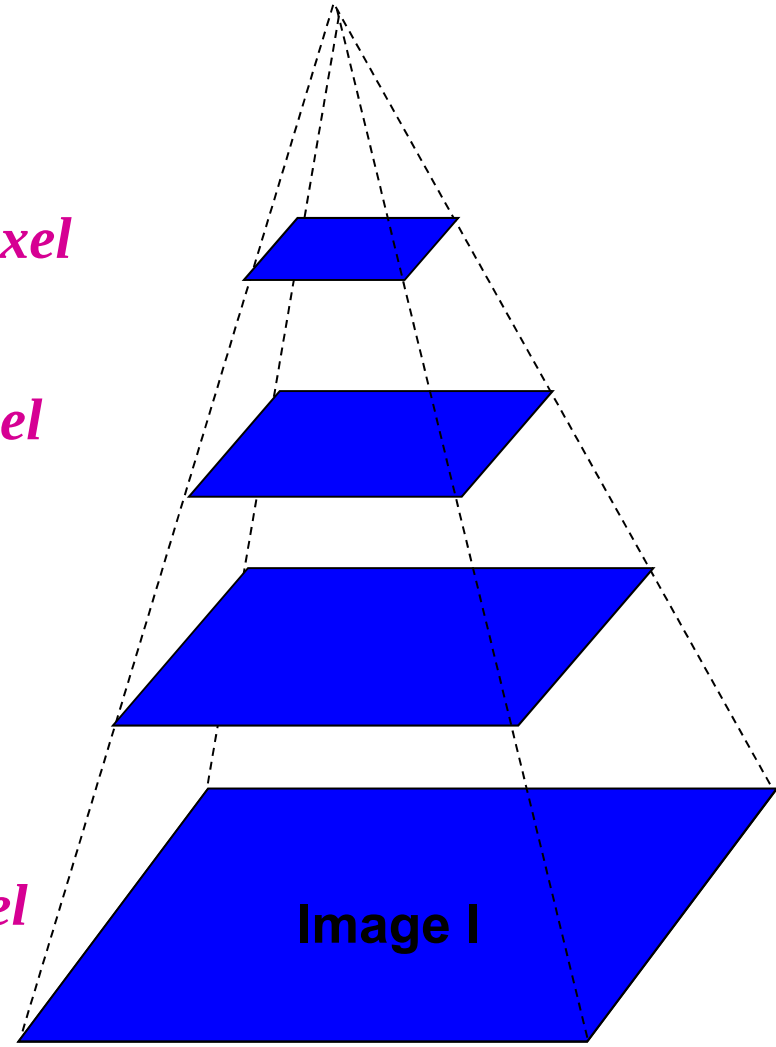
H kép piramisa

$u=1.25$ pixel

$u=2.5$ pixel

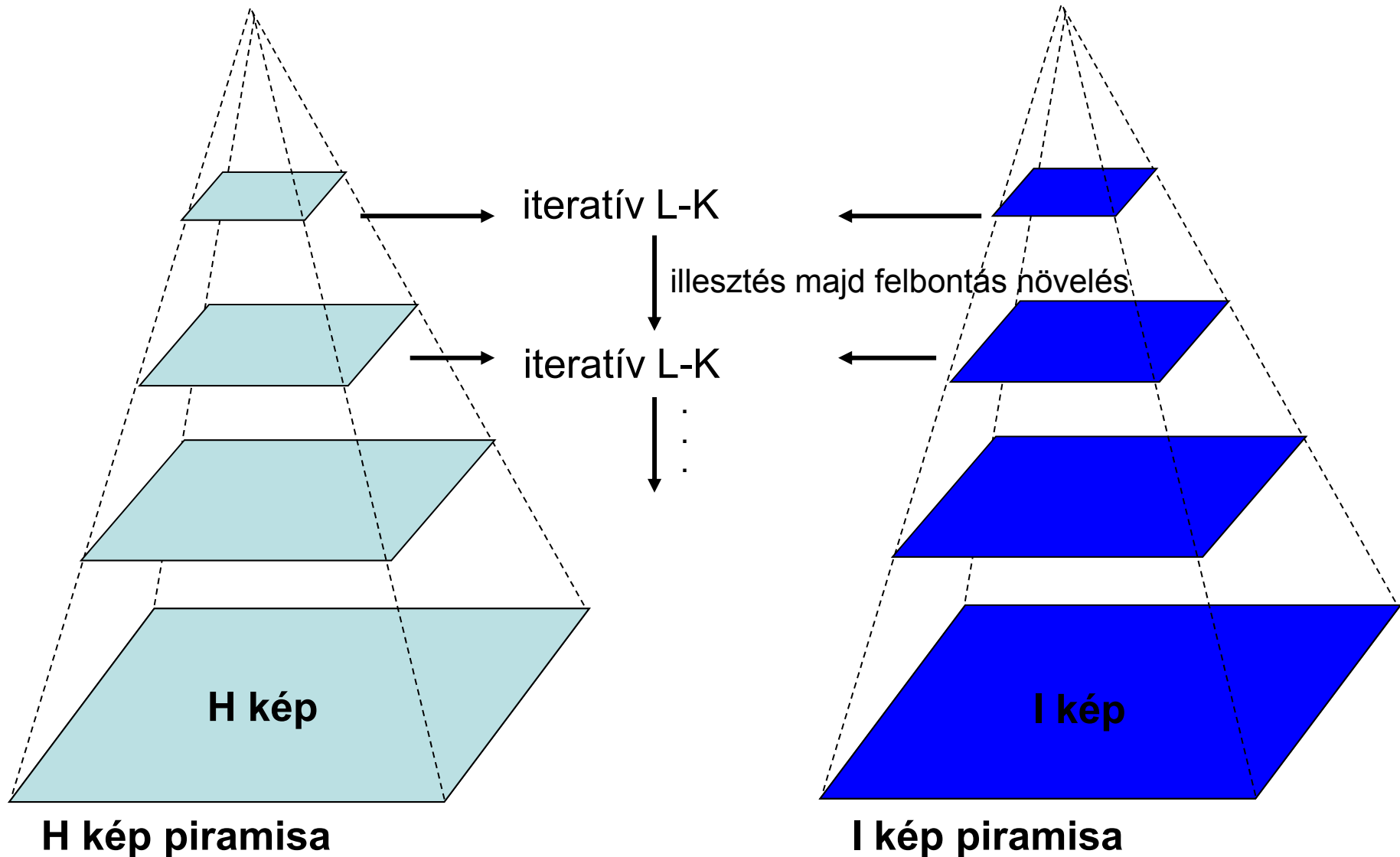
$u=5$ pixel

$u=10$ pixel

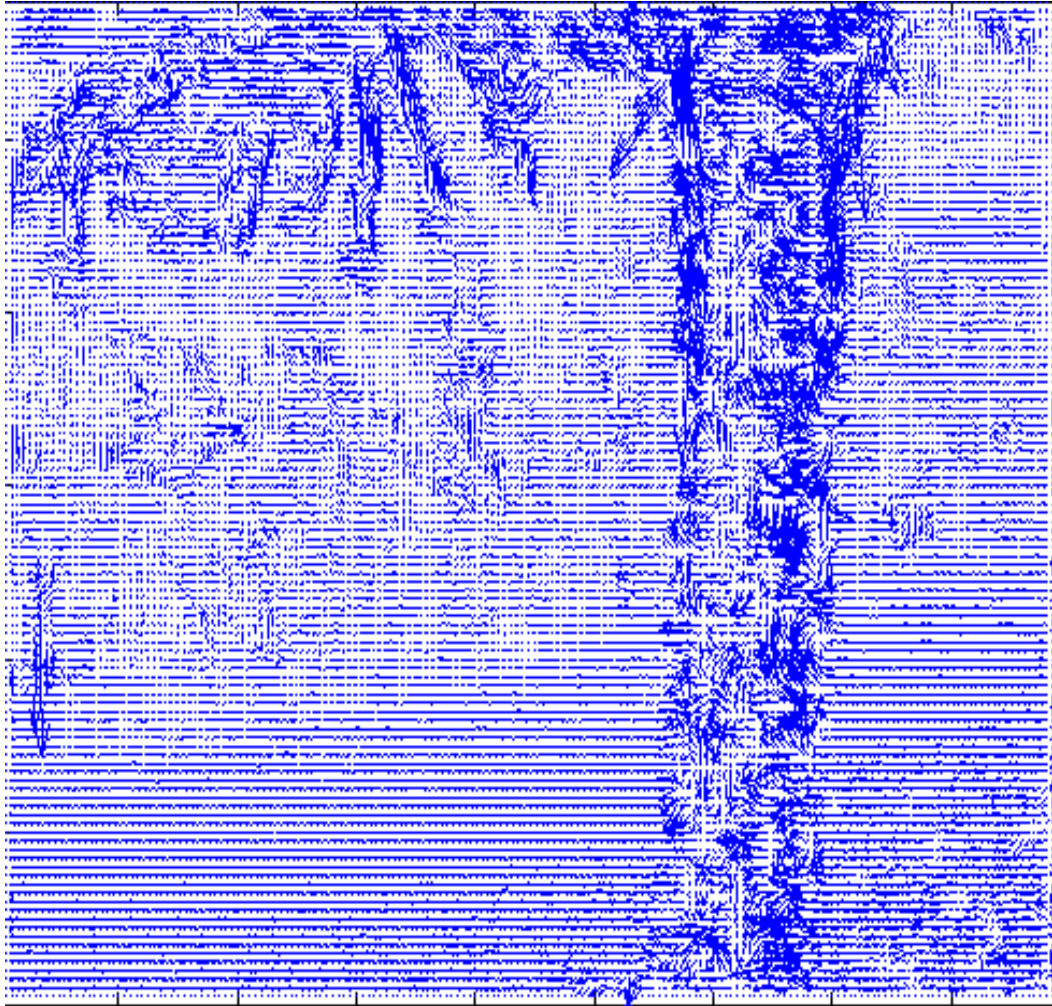


I kép piramisa

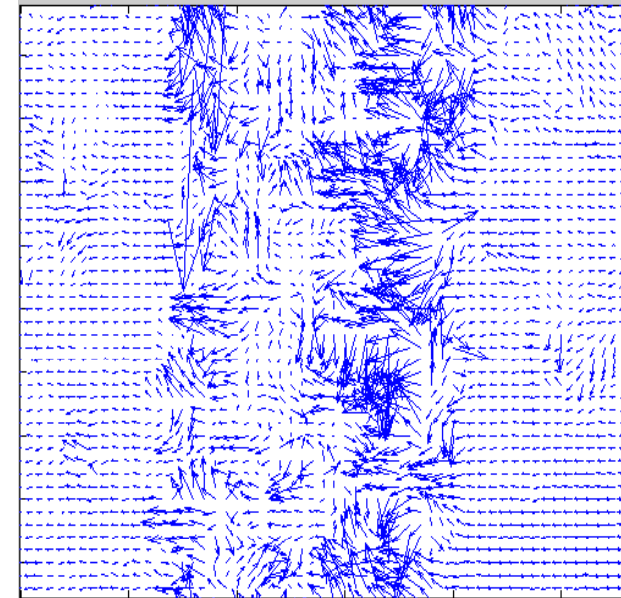
Durva-finom felbontású optikai áramlás becslés



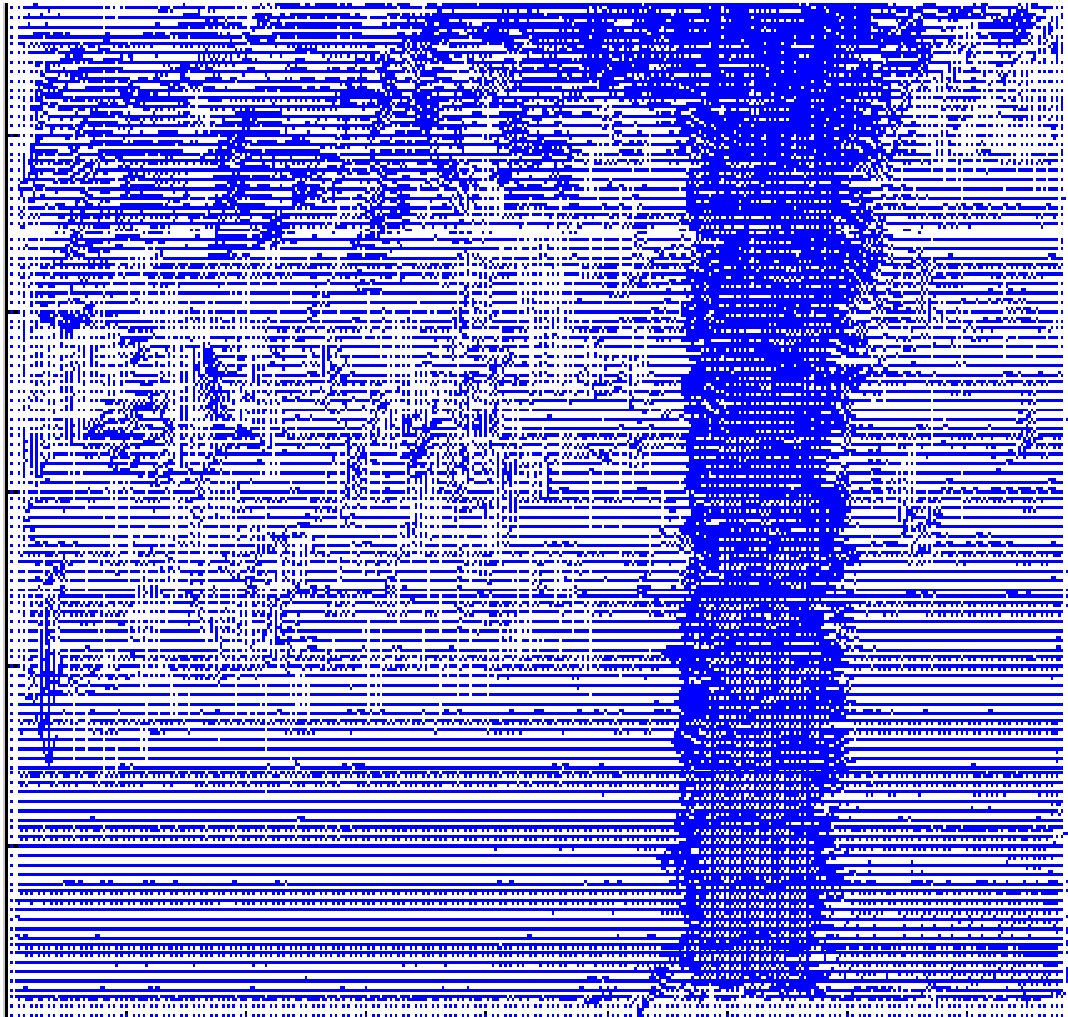
Durva-finom felbontású optikai áramlás becslés



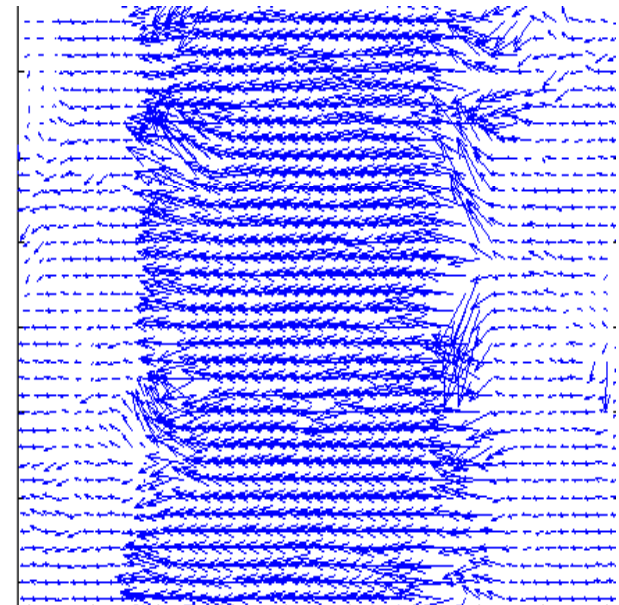
Lucas-Kanade - piramis nélkül



Durva-finom felbontású optikai áramlás becslés



Lucas-Kanade - piramissal



Durva-finom felbontású optikai áramlás becslés



Lucas-Kanade - piramissal

Ellenőrző kérdések

1. Optikai áramlás vagy jellemző alapú követés?
2. Robusztus (pl. jól követhető) képjellemzők?
3. Valósídejű navigációs stratégiák. Miért például szenzorfüzió+NN+optikai áramlás együtt?
4. Részleteiben: miért szenzorfüzióval? Mi az?
5. Részleteiben: miért neurális hálóval? Mi az?
6. Részleteiben: miért optikai áramlással? Mi az?
7. Optikai áramlás egyszerűsítő előfeltevései.
8. Az apertúra probléma, lehetséges megoldási stratégiák?
9. Az Intenzitás-Áramlás egyenlet levezetése.
10. A normál irányú áramlási komponens meghatározása és szemléltetése az u-v síkon.
11. Schunk módszere. Hogyan határozhatjuk meg több mozgó objektum valós sebességét az u-v síkon?
12. Tipikus optikai áramlási mezők, alkalmazhatósági példák.
13. A Time-To-Collision számítás és egyszerűsége.
14. A Lucas-Kanade módszer lényege, összefüggések bevezetése.
15. Optikai áramlás iteratív becslésének elve.
16. Iteratív Lucas-Kanade algoritmus.
17. Mit tehetünk, ha túl nagy az elmozdulás képről - képre?
18. A piramis elvű optikai áramlás becslés (bemutatás, értelme, lépései).

