# Számítógépes Grafika

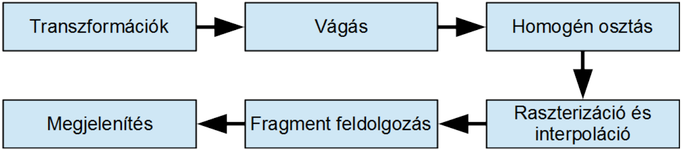
Bán Róbert
robert.ban102+cg@gmail.com

Eötvös Loránd Tudományegyetem
Informatikai Kar

2021-2022. őszi félév

# Tartalom

# Grafikus szerelőszalag



# Inkrementális képszintézis

- Inkrementális elv

# Inkrementális képszintézis

- Inkrementális elv
- A transzformációk szemszögéből végignéztük a grafikus szerelőszalagot illetve a láthatósági probléma egy képtér alapú megoldását is megnéztük

# Inkrementális képszintézis

- Inkrementális elv
- A transzformációk szemszögéből végignéztük a grafikus szerelőszalagot illetve a láthatósági probléma egy képtér alapú megoldását is megnéztük
- Most pedig a vágás és raszterizáció témakörével fogunk foglalkozni

# Vágás

- Láttuk, hogy a vágásra két okból is szükségünk lesz:

# Vágás

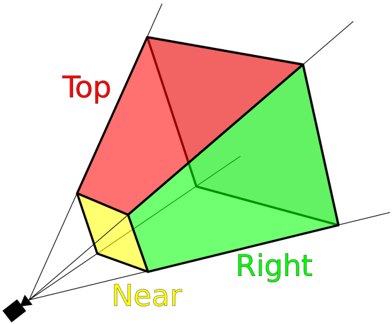
- Láttuk, hogy a vágásra két okból is szükségünk lesz:
  - Degenerált esetek kiszűrése (ld. pl. múlt óra középpontos vetítés)

# Vágás

- Láttuk, hogy a vágásra két okból is szükségünk lesz:
  - Degenerált esetek kiszűrése (ld. pl. múlt óra középpontos vetítés)
  - Ne számoljunk feleslegesen (amit úgyse látunk, ne számoljuk sokat)

# Vágás

- Láttuk, hogy a vágásra két okból is szükségünk lesz:
  - Degenerált esetek kiszűrése (ld. pl. múlt óra középpontos vetítés)
  - Ne számoljunk feleslegesen (amit úgyse látunk, ne számoljuk sokat)
- Vágás során a nézeti csonkagúlán kívül geometriai elemeket szűrjük ki



# Tartalom

# Vágás 2D-ben

- Egyszerű geometriai elemek (pontok és szakaszok) vágását vizsgáljuk most a síkban

# Vágás 2D-ben

- Egyszerű geometriai elemek (pontok és szakaszok) vágását vizsgáljuk most a síkban
- Kell egy tartományra *amire* vágunk – az egyszerűtől (tengelyillesztett téglalap) az általános felé (konvex poligon) haladunk

# Vágás 2D-ben

- Egyszerű geometriai elemek (pontok és szakaszok) vágását vizsgáljuk most a síkban
- Kell egy tartományra *amire* vágunk – az egyszerűtől (tengelyillesztett téglalap) az általános felé (konvex poligon) haladunk
- Először pontok vágásával foglalkozunk, majd az itteni eredményeket felhasználva próbálunk meg szakaszokat vágni

# Pontok vágása tengelyillesztett téglalapra

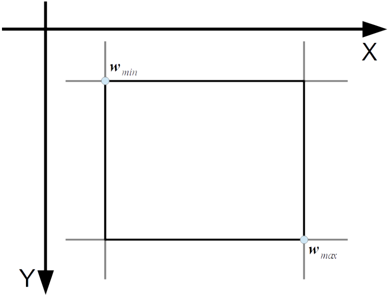
- El kell döntenünk egy $\mathbf{x} = [x, y]^T$ pontról, hogy a vágási tartományon belül vagy kívül van-e

# Pontok vágása tengelyillesztett téglalapra

- El kell döntenünk egy $\mathbf{x} = [x, y]^T$ pontról, hogy a vágási tartományon belül vagy kívül van-e
- A legegyszerűbb esetben a vágási tartományunk egy tengelyekkel párhuzamos oldalú téglalap

# Pontok vágása tengelyillesztett téglalapra

- El kell döntenünk egy $\mathbf{x} = [x, y]^T$ pontról, hogy a vágási tartományon belül vagy kívül van-e
- A legegyszerűbb esetben a vágási tartományunk egy tengelyekkel párhuzamos oldalú téglalap
- Ezt egy átlójának két végpontjával könnyen reprezentálhatjuk: $\mathbf{w}_{min} = [x_{min}, y_{min}]^T$, $\mathbf{w}_{max} = [x_{max}, y_{max}]^T$



# Pontok vágása tengelyillesztett téglalapra

- Ekkor az **x** pontosan akkor van a tengelyillesztett téglalapon belül van, ha

$$x \in [x_{min}, x_{max}] \wedge y \in [y_{min}, y_{max}]$$

# Pontok vágása konvex négyszögre

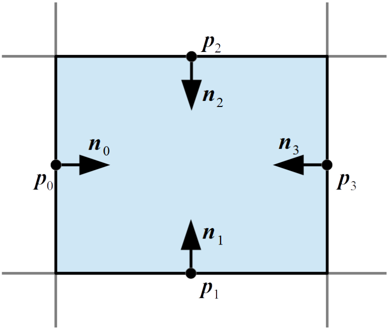
- Legyen most a vágási tartományunk egy konvex négyszög

# Pontok vágása konvex négyszögre

- Legyen most a vágási tartományunk egy konvex négyszög
- Ez felírható négy félsík metszeteként: a határoló egyeneseinek befelé irányított normálvektorai által meghatározott félterekkel

# Pontok vágása konvex négyszögre

- Legyen most a vágási tartományunk egy konvex négyszög
- Ez felírható négy félsík metszeteként: a határoló egyeneseinek befelé irányított normálvektorai által meghatározott félterekkel
- Azaz ekkor a vágási tartományunkat $(\mathbf{p}_i, \mathbf{n}_i)$, $i = 0, .., 3$ pont-normális párral tudjuk reprezentálni, ahol most legyen minden normális befelé irányított



# Pontok vágása konvex négyszögre

- Ekkor $\mathbf{x} = [x, y]^T$ pontosan akkor van a vágási tartományon belül, ha

$$\langle \mathbf{x} - \mathbf{p}_i, \mathbf{n}_i \rangle \geq 0 \ , \ \ i = 0, 1, 2, 3$$

# Pontok vágása konvex négyszögre

- Ekkor $\mathbf{x} = [x, y]^T$ pontosan akkor van a vágási tartományon belül, ha

$$\langle \mathbf{x} - \mathbf{p}_i, \mathbf{n}_i \rangle \geq 0 \ , \ \ i = 0, 1, 2, 3$$

- Ebben az esetben minden $(\mathbf{p}_i; \mathbf{n}_i)$ által meghatározott félsík tartalmazza $\mathbf{x}$-et (vagy a határoló egyenesen van, vagy pedig attól normális irányban)

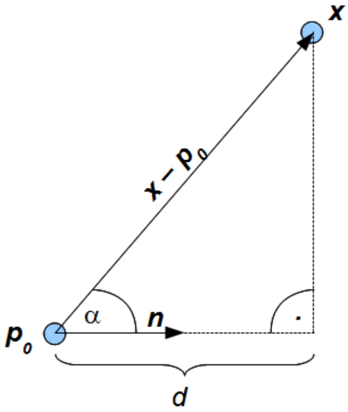
# Pontok vágása konvex négyszögre

- Ekkor $\mathbf{x} = [x, y]^T$ pontosan akkor van a vágási tartományon belül, ha

$$\langle \mathbf{x} - \mathbf{p}_i, \mathbf{n}_i \rangle \geq 0 \ , \ \ i = 0, 1, 2, 3$$

- Ebben az esetben minden $(\mathbf{p}_i; \mathbf{n}_i)$ által meghatározott félsík tartalmazza $\mathbf{x}$-et (vagy a határoló egyenesen van, vagy pedig attól normális irányban)
- Azaz egyszerűen az $\mathbf{x} - \mathbf{p}_i$ vektorok $\mathbf{n}_i$ normálisokra vett előjeles merőleges vetületeinek előjelét kell vizsgálni

# Előjeles merőleges vetület

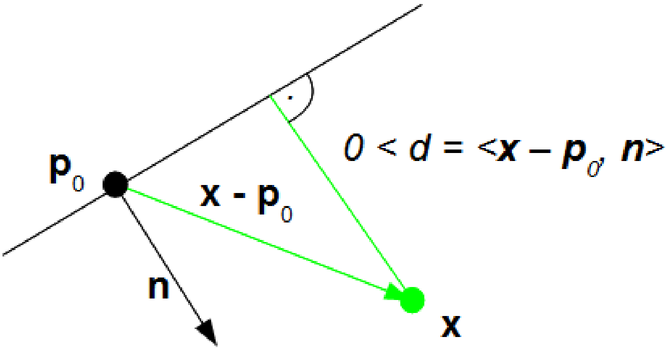



$$\cos\alpha = d \,/\, |\mathbf{x} - \mathbf{p}_0|$$

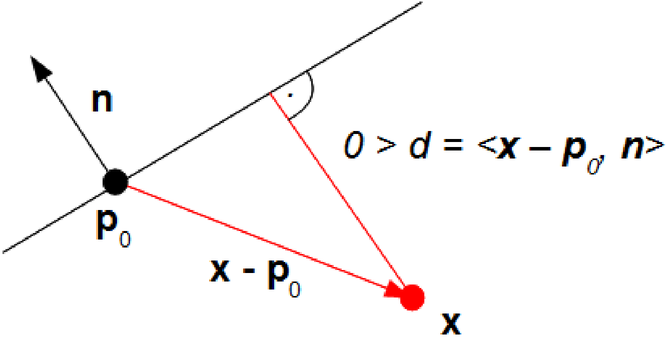
$$d = |\mathbf{x} - \mathbf{p}_0| \cos\alpha$$

$$= \langle \mathbf{x}-\mathbf{p}_0, \mathbf{n} \rangle,\ |\mathbf{n}| = 1$$

# Előjeles merőleges vetület – pont a félsíkon belül



# Előjeles merőleges vetület – pont a félsíkon kívül



# Szakasz vágása félsíkra

- Vágjuk a szakasz két végpontját a félsíkra

# Szakasz vágása félsíkra

- Vágjuk a szakasz két végpontját a félsíkra
  - **Ha** mindkettő belül van, **akkor** megtartjuk a szakaszt

# Szakasz vágása félsíkra

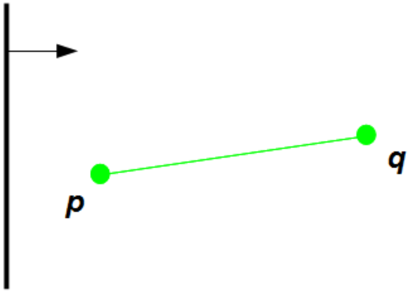
- Vágjuk a szakasz két végpontját a félsíkra
  - **Ha** mindkettő belül van, **akkor** megtartjuk a szakaszt
  - **Ha** mindkettő kívül van, **akkor** eldobjuk a szakaszt

# Szakasz vágása félsíkra

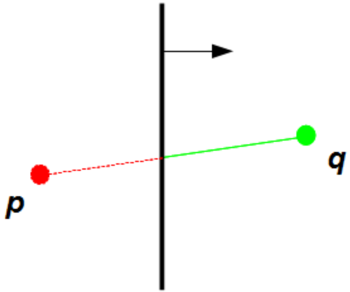
- Vágjuk a szakasz két végpontját a félsíkra
    - **Ha** mindkettő belül van, **akkor** megtartjuk a szakaszt
    - **Ha** mindkettő kívül van, **akkor** eldobjuk a szakaszt
    - **Ha** az egyik kívül a másik pedig belül van, **akkor** megtartjuk a bent lévő végpontot, a kiesőt pedig lecseréljük a szakasz és a félsík határolóegyenesének metszéspontjára

# Szakasz vágása félsíkra

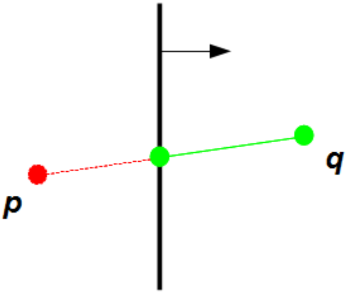
# Szakasz vágása félsíkra



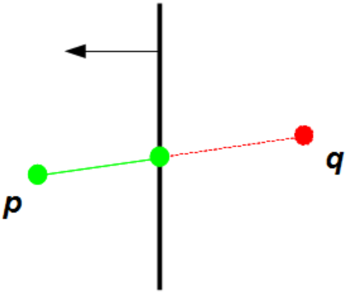
# Szakasz vágása félsíkra



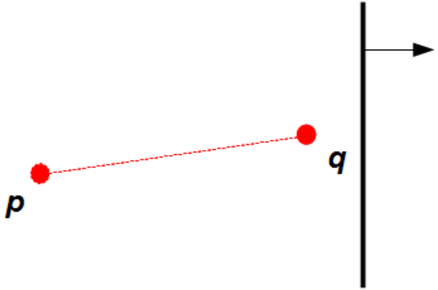
# Szakasz vágása félsíkra – új végpont!



# Szakasz vágása félsíkra – új végpont!



# Szakasz vágása félsíkra



# Szakasz vágása konvex négyszögre

Minden egyes határoló félsíkra:

- Vágjuk a szakasz két végpontját a félsíkra

# Szakasz vágása konvex négyszögre

Minden egyes határoló félsíkra:

- Vágjuk a szakasz két végpontját a félsíkra
  - **Ha** mindkettő belül van, **akkor** nem módosítjuk a végpontot és megyünk tovább

# Szakasz vágása konvex négyszögre

Minden egyes határoló félsíkra:

- Vágjuk a szakasz két végpontját a félsíkra
  - **Ha** mindkettő belül van, **akkor** nem módosítjuk a végpontot és megyünk tovább
  - **Ha** mindkettő kívül van, **akkor** eldobjuk a szakaszt és befejeztük

# Szakasz vágása konvex négyszögre

Minden egyes határoló félsíkra:

- Vágjuk a szakasz két végpontját a félsíkra
  - **Ha** mindkettő belül van, **akkor** nem módosítjuk a végpontot és megyünk tovább
  - **Ha** mindkettő kívül van, **akkor** eldobjuk a szakaszt és befejeztük
  - **Ha** az egyik kívül a másik pedig belül van, **akkor** megtartjuk a bent lévő végpontot, a kiesőt pedig lecseréljük a szakasz és a félsík határolóegyenesének metszéspontjára és megyünk tovább

# Szakasz vágása tengelyillesztett téglalapra

- Amikor a harmadik **Ha** teljesül (azaz amikor metszéspontot kell számítani), tengelyillesztett esetben egyszerű a dolgunk

# Szakasz vágása tengelyillesztett téglalapra

- Amikor a harmadik **Ha** teljesül (azaz amikor metszéspontot kell számítani), tengelyillesztett esetben egyszerű a dolgunk
- Például tekintsük a bal oldali határra történő vágást $\Rightarrow$ ekkor kell egy olyan $t$, amelyre $\mathbf{x}(t)$ $x$-koordinátája $x_{min}$

# Szakasz vágása tengelyillesztett téglalapra

- Amikor a harmadik **Ha** teljesül (azaz amikor metszéspontot kell számítani), tengelyillesztett esetben egyszerű a dolgunk
- Például tekintsük a bal oldali határra történő vágást $\Rightarrow$ ekkor kell egy olyan $t$, amelyre $\mathbf{x}(t)$ $x$-koordinátája $x_{min}$
- Azaz $x_{min} = x_1 + t(x_2 - x_1)$-ből $t = \frac{x_{min} - x_1}{x_2 - x_1}$

# Szakasz vágása tengelyillesztett téglalapra

- Amikor a harmadik **Ha** teljesül (azaz amikor metszéspontot kell számítani), tengelyillesztett esetben egyszerű a dolgunk
- Például tekintsük a bal oldali határra történő vágást $\Rightarrow$ ekkor kell egy olyan $t$, amelyre $\mathbf{x}(t)$ $x$-koordinátája $x_{min}$
- Azaz $x_{min} = x_1 + t(x_2 - x_1)$-ből $t = \frac{x_{min} - x_1}{x_2 - x_1}$
- Ekkor az új végpont koordinátái
  $$\mathbf{x}\left(\frac{x_{min} - x_1}{x_2 - x_1}\right) = \begin{bmatrix} x_{min} \\ y_1 + \frac{x_{min} - x_1}{x_2 - x_1}(y_2 - y_1) \end{bmatrix}$$

# Szakasz vágása konvex négyszögre

- A korábban látottaknak megfelelően kell a végpontokat vágni az aktuális félsíkra

# Szakasz vágása konvex négyszögre

- A korábban látottaknak megfelelően kell a végpontokat vágni az aktuális félsíkra
- Ha új végpontot kell számolni, akkor egyszerűen be kell helyettesíteni a szakasz (aktuális) paramterikus egyenletét az adott félsíkot határoló egyenes implicit egyenletébe

# Szakasz vágása konvex négyszögre

- A korábban látottaknak megfelelően kell a végpontokat vágni az aktuális félsíkra
- Ha új végpontot kell számolni, akkor egyszerűen be kell helyettesíteni a szakasz (aktuális) paramterikus egyenletét az adott félsíkot határoló egyenes implicit egyenletébe
- Azaz, meg kell oldani az aktuális $i \in \{0, 1, 2, 3\}$-re az

$$\langle \mathbf{x}(t) - \mathbf{p}_i, \mathbf{n}_i \rangle = 0$$

egyenletet, ahol $t \in [0, 1]$ mellett

$$\mathbf{x}(t) = \mathbf{x}_1 + t(\mathbf{x}_2 - \mathbf{x}_1)$$

# Szakasz vágása konvex négyszögre

- A korábban látottaknak megfelelően kell a végpontokat vágni az aktuális félsíkra
- Ha új végpontot kell számolni, akkor egyszerűen be kell helyettesíteni a szakasz (aktuális) paramterikus egyenletét az adott félsíkot határoló egyenes implicit egyenletébe
- Azaz, meg kell oldani az aktuális $i \in \{0, 1, 2, 3\}$-re az

$$\langle \mathbf{x}(t) - \mathbf{p}_i, \mathbf{n}_i \rangle = 0$$

egyenletet, ahol $t \in [0, 1]$ mellett

$$\mathbf{x}(t) = \mathbf{x}_1 + t(\mathbf{x}_2 - \mathbf{x}_1)$$

- A metszéspont paramétere ekkor $t = \frac{\langle \mathbf{p}_i - \mathbf{x}_1, \mathbf{n}_i \rangle}{\langle \mathbf{x}_2 - \mathbf{x}_1, \mathbf{n}_i \rangle}$

# Szakasz vágása konvex sokszögre

- Ugyanúgy működik, mint konvex négyszögre

# Szakasz vágása konvex sokszögre

- Ugyanúgy működik, mint konvex négyszögre
- Az egyetlen különbség, hogy nem négy, hanem több (vagy csak három) határoló egyenes van

# Szakasz vágása konvex sokszögre

- Ugyanúgy működik, mint konvex négyszögre
- Az egyetlen különbség, hogy nem négy, hanem több (vagy csak három) határoló egyenes van
- A normálisok irányítása legyen konzisztens

# Szakaszok vágása

- A fentiek szerint tehát a szakaszt minden egyes félsíkra vágni kell

# Szakaszok vágása

- A fentiek szerint tehát a szakaszt minden egyes félsíkra vágni kell
- Viszont elég sokféle lehetőség van (négy félsík négyszögeknél, két végpont – bármelyik végpont eshet bárhová)

# Szakaszok vágása

- A fentiek szerint tehát a szakaszt minden egyes félsíkra vágni kell
- Viszont elég sokféle lehetőség van (négy félsík négyszögeknél, két végpont – bármelyik végpont eshet bárhová)
- A Cohen-Sutherland algoritmussal rendszerezni tudjuk, hogy mely oldalakra kell vágást végezni

# Cohen-Sutherland vágás

- Tengelyillesztett téglalapokra vágásnál használják (de működik konvex négyszögekre is)

# Cohen-Sutherland vágás

- Tengelyillesztett téglalapokra vágásnál használják (de működik konvex négyszögekre is)
- Rendeljünk hozzá egy-egy 4 bites (úgynevezett TBRL) kódot a két végponthoz:

## Cohen-Sutherland vágás

- Tengelyillesztett téglalapokra vágásnál használják (de működik konvex négyszögekre is)
- Rendeljünk hozzá egy-egy 4 bites (úgynevezett TBRL) kódot a két végponthoz:
  - T $=$ 1 ha a pont az ablak felett van, különben 0

# Cohen-Sutherland vágás

- Tengelyillesztett téglalapokra vágásnál használják (de működik konvex négyszögekre is)
- Rendeljünk hozzá egy-egy 4 bites (úgynevezett TBRL) kódot a két végponthoz:
  - T = 1 ha a pont az ablak felett van, különben 0
  - B = 1 ha a pont az ablak alatt van, különben 0

# Cohen-Sutherland vágás

- Tengelyillesztett téglalapokra vágásnál használják (de működik konvex négyszögekre is)
- Rendeljünk hozzá egy-egy 4 bites (úgynevezett TBRL) kódot a két végponthoz:
  - T = 1 ha a pont az ablak felett van, különben 0
  - B = 1 ha a pont az ablak alatt van, különben 0
  - R = 1 ha a pont az ablaktól jobbra van, különben 0

# Cohen-Sutherland vágás

- Tengelyillesztett téglalapokra vágásnál használják (de működik konvex négyszögekre is)
- Rendeljünk hozzá egy-egy 4 bites (úgynevezett TBRL) kódot a két végponthoz:
  - T = 1 ha a pont az ablak felett van, különben 0
  - B = 1 ha a pont az ablak alatt van, különben 0
  - R = 1 ha a pont az ablaktól jobbra van, különben 0
  - L = 1 ha a pont az ablaktól balra van, különben 0

# Cohen-Sutherland vágás

code = Top, Bottom, Right, Left

| | | |
|---|---|---|
| 1001 | 1000 | 1010 |
| 0001 | 0000 | 0010 |
| 0101 | 0100 | 0110 |

# *Cohen-Sutherland* vágás

- Tengelyillesztett esetben könnyen számítható a TBRL kód: code $= (y > y_{max}, y < y_{min}, x > x_{max}, x < x_{min})$

# Cohen-Sutherland vágás

- Tengelyillesztett esetben könnyen számítható a TBRL kód: $\mathtt{code} = (y > y_{max}, y < y_{min}, x > x_{max}, x < x_{min})$
- Legyen a két végpont TBRL kódja $\mathtt{code}_a$ és $\mathtt{code}_b$

# Cohen-Sutherland vágás

- Tengelyillesztett esetben könnyen számítható a TBRL kód: $\mathtt{code} = (y > y_{max}, y < y_{min}, x > x_{max}, x < x_{min})$
- Legyen a két végpont TBRL kódja $\mathtt{code}_a$ és $\mathtt{code}_b$
  - **Ha** $\mathtt{code}_a$ OR $\mathtt{code}_b == 0$ **akkor** mindkét végpont az ablakon belül van $\Rightarrow$ megtartjuk a szakaszt

# Cohen-Sutherland vágás

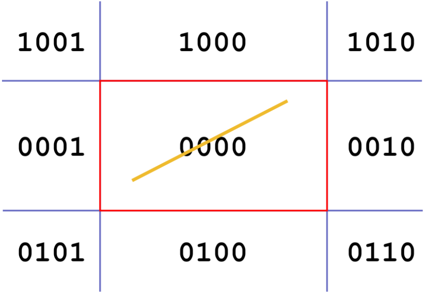
- Tengelyillesztett esetben könnyen számítható a TBRL kód: $\text{code} = (y > y_{max}, y < y_{min}, x > x_{max}, x < x_{min})$
- Legyen a két végpont TBRL kódja $\text{code}_a$ és $\text{code}_b$
  - **Ha** $\text{code}_a$ OR $\text{code}_b == 0$ **akkor** mindkét végpont az ablakon belül van $\Rightarrow$ megtartjuk a szakaszt
  - **Ha** $\text{code}_a$ AND $\text{code}_b$ $!= 0$ **akkor** mindként végpont az ablakon kívül van egy közös oldal mentén $\Rightarrow$ eldobjuk a szakaszt

# *Cohen-Sutherland* vágás

- Tengelyillesztett esetben könnyen számítható a TBRL kód: code $= (y > y_{max}, y < y_{min}, x > x_{max}, x < x_{min})$
- Legyen a két végpont TBRL kódja code$_a$ és code$_b$
    - **Ha** code$_a$ OR code$_b$ $==$ 0 **akkor** mindkét végpont az ablakon belül van $\Rightarrow$ megtartjuk a szakaszt
    - **Ha** code$_a$ AND code$_b$ $!=$ 0 **akkor** mindként végpont az ablakon kívül van egy közös oldal mentén $\Rightarrow$ eldobjuk a szakaszt
    - **Különben**: vágnunk kell a szakaszt (a TBRL-beli 1-esek mondják meg, hogy melyik oldalra lehet). Újraszámítjuk a vágott végpont kódját és ismét összehasonlítjuk őket a fentieknek megfelelően.

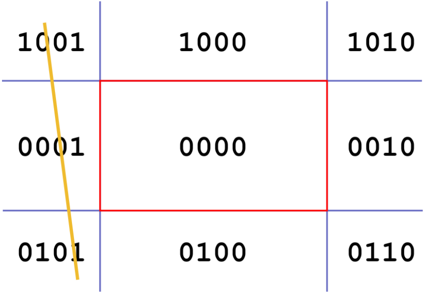
# Cohen-Sutherland vágás

$\texttt{code}_a$ OR $\texttt{code}_b == 0$:



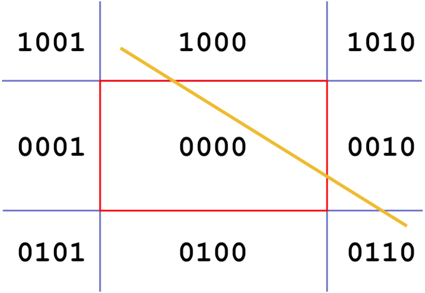
# Cohen-Sutherland vágás

$\texttt{code}_a$ AND $\texttt{code}_b$ != 0:



# Cohen-Sutherland vágás

Különben:



# Poligon vágása konvex poligonra

- Egy poligont eltárolhatunk a csúcspontjainak tömbjével, ha a bejárási irányt rögzítjük

# Poligon vágása konvex poligonra

- Egy poligont eltárolhatunk a csúcspontjainak tömbjével, ha a bejárási irányt rögzítjük
- Legyen a vágási tartományunk egy konvex poligon

# Poligon vágása konvex poligonra

- Egy poligont eltárolhatunk a csúcspontjainak tömbjével, ha a bejárási irányt rögzítjük
- Legyen a vágási tartományunk egy konvex poligon
- Nézzük meg, hogy miképp tudunk egy poligon egy konvex poligonra vágni

# *Sutherland-Hodgman* poligon vágás

- Egy oldalra vágás: legyen **p**[] a vágandó poligon csúcspontjainak tömbje, a **q**[] pedig a kimeneti poligon tömbje (azaz a vágott poligoné)

# *Sutherland-Hodgman* poligon vágás

- Egy oldalra vágás: legyen **p**[] a vágandó poligon csúcspontjainak tömbje, a **q**[] pedig a kimeneti poligon tömbje (azaz a vágott poligoné)
- Legyen $n$ a csúcspontok száma, továbbá tegyük fel, hogy $\mathbf{p}[0] = \mathbf{p}[n]$

# *Sutherland-Hodgman* poligon vágás

- Egy oldalra vágás: legyen $\mathbf{p}[]$ a vágandó poligon csúcspontjainak tömbje, a $\mathbf{q}[]$ pedig a kimeneti poligon tömbje (azaz a vágott poligoné)
- Legyen $n$ a csúcspontok száma, továbbá tegyük fel, hogy $\mathbf{p}[0] = \mathbf{p}[n]$
- Menjünk végig a vágandó poligon élein:
  - **Ha** $\mathbf{p}[i]$ és $\mathbf{p}[i+1]$ belül van **akkor** $\Rightarrow$ adjuk hozzá a $\mathbf{p}[i]$ pontot a $\mathbf{q}[]$ kimeneti poligonhoz

# *Sutherland-Hodgman* poligon vágás

- Egy oldalra vágás: legyen **p**[] a vágandó poligon csúcspontjainak tömbje, a **q**[] pedig a kimeneti poligon tömbje (azaz a vágott poligoné)
- Legyen $n$ a csúcspontok száma, továbbá tegyük fel, hogy $\mathbf{p}[0] = \mathbf{p}[n]$
- Menjünk végig a vágandó poligon élein:
  - **Ha** $\mathbf{p}[i]$ és $\mathbf{p}[i+1]$ belül van **akkor** $\Rightarrow$ adjuk hozzá a $\mathbf{p}[i]$ pontot a **q**[] kimeneti poligonhoz
  - **Ha** $\mathbf{p}[i]$ belül és $\mathbf{p}[i+1]$ kívül van **akkor** $\Rightarrow$ adjuk hozzá $\mathbf{p}[i]$-t a **q**[] kimeneti poligonhoz és adjuk hozzá **q**[]-hoz a $\mathbf{p}[i], \mathbf{p}[i+1]$ által meghatározott szakasz és az aktuális oldal egyenesének metszéspontját is

# *Sutherland-Hodgman* poligon vágás

- Egy oldalra vágás: legyen $\mathbf{p}[]$ a vágandó poligon csúcspontjainak tömbje, a $\mathbf{q}[]$ pedig a kimeneti poligon tömbje (azaz a vágott poligoné)
- Legyen $n$ a csúcspontok száma, továbbá tegyük fel, hogy $\mathbf{p}[0] = \mathbf{p}[n]$
- Menjünk végig a vágandó poligon élein:
    - **Ha** $\mathbf{p}[i]$ és $\mathbf{p}[i+1]$ belül van **akkor** $\Rightarrow$ adjuk hozzá a $\mathbf{p}[i]$ pontot a $\mathbf{q}[]$ kimeneti poligonhoz
    - **Ha** $\mathbf{p}[i]$ belül és $\mathbf{p}[i+1]$ kívül van **akkor** $\Rightarrow$ adjuk hozzá $\mathbf{p}[i]$-t a $\mathbf{q}[]$ kimeneti poligonhoz és adjuk hozzá $\mathbf{q}[]$-hoz a $\mathbf{p}[i], \mathbf{p}[i+1]$ által meghatározott szakasz és az aktuális oldal egyenesének metszéspontját is
    - **Ha** $\mathbf{p}[i]$ kívül és $\mathbf{p}[i+1]$ belül van **akkor** $\Rightarrow$ adjuk hozzá $\mathbf{q}[]$-hoz a $p[i], p[i+1]$ által meghatározott szakasz és az aktuális oldal egyenesének metszéspontját

# *Sutherland-Hodgman* poligon vágás

- Egy oldalra vágás: legyen **p**[] a vágandó poligon csúcspontjainak tömbje, a **q**[] pedig a kimeneti poligon tömbje (azaz a vágott poligoné)
- Legyen $n$ a csúcspontok száma, továbbá tegyük fel, hogy $\mathbf{p}[0] = \mathbf{p}[n]$
- Menjünk végig a vágandó poligon élein:
  - **Ha** $\mathbf{p}[i]$ és $\mathbf{p}[i+1]$ belül van **akkor**
    $\Rightarrow$ adjuk hozzá a $\mathbf{p}[i]$ pontot a **q**[] kimeneti poligonhoz
  - **Ha** $\mathbf{p}[i]$ belül és $\mathbf{p}[i+1]$ kívül van **akkor**
    $\Rightarrow$ adjuk hozzá $\mathbf{p}[i]$-t a **q**[] kimeneti poligonhoz és adjuk hozzá **q**[]-hoz a $\mathbf{p}[i], \mathbf{p}[i+1]$ által meghatározott szakasz és az aktuális oldal egyenesének metszéspontját is
  - **Ha** $\mathbf{p}[i]$ kívül és $\mathbf{p}[i+1]$ belül van **akkor**
    $\Rightarrow$ adjuk hozzá **q**[]-hoz a $p[i], p[i+1]$ által meghatározott szakasz és az aktuális oldal egyenesének metszéspontját
  - **Ha** $p[i]$ és $\mathbf{p}[i+1]$ is kívül van **akkor** $\Rightarrow$ *SKIP*

# *Sutherland-Hodgman* poligon vágás

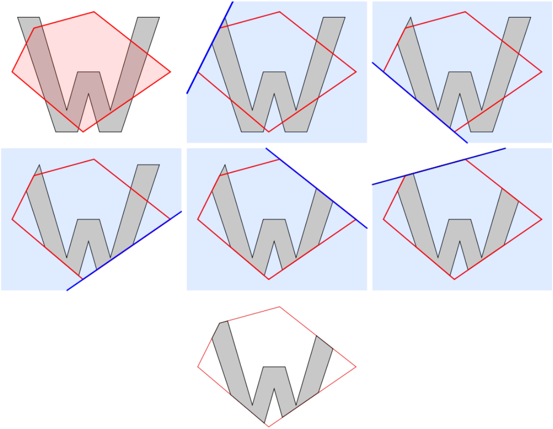
- Egy oldalra vágás: legyen **p**[] a vágandó poligon csúcspontjainak tömbje, a **q**[] pedig a kimeneti poligon tömbje (azaz a vágott poligoné)
- Legyen $n$ a csúcspontok száma, továbbá tegyük fel, hogy $\mathbf{p}[0] = \mathbf{p}[n]$
- Menjünk végig a vágandó poligon élein:
  - **Ha** $\mathbf{p}[i]$ és $\mathbf{p}[i+1]$ belül van **akkor** $\Rightarrow$ adjuk hozzá a $\mathbf{p}[i]$ pontot a **q**[] kimeneti poligonhoz
  - **Ha** $\mathbf{p}[i]$ belül és $\mathbf{p}[i+1]$ kívül van **akkor** $\Rightarrow$ adjuk hozzá $\mathbf{p}[i]$-t a **q**[] kimeneti poligonhoz és adjuk hozzá **q**[]-hoz a $\mathbf{p}[i], \mathbf{p}[i+1]$ által meghatározott szakasz és az aktuális oldal egyenesének metszéspontját is
  - **Ha** $\mathbf{p}[i]$ kívül és $\mathbf{p}[i+1]$ belül van **akkor** $\Rightarrow$ adjuk hozzá **q**[]-hoz a $p[i], p[i+1]$ által meghatározott szakasz és az aktuális oldal egyenesének metszéspontját
  - **Ha** $p[i]$ és $\mathbf{p}[i+1]$ is kívül van **akkor** $\Rightarrow$ *SKIP*
- Ezt ismételjük el a vágó poligon minden oldalára (az előző oldal vágásának az eredménye a következő vágás bemenete)

# *Sutherland-Hodgman* poligon vágás

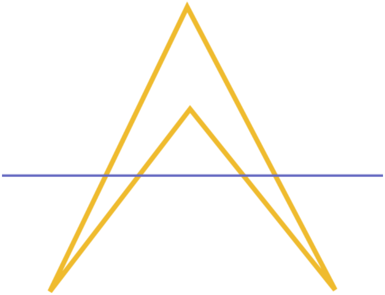
```
PolygonClip(in p[n], out q[m], in line) {
  m = 0;
  for( i=0; i < n; i++) {
    if (IsInside(p[i])) {
      q[m++] = p[i];
      if (!IsInside(p[i+1]))
        q[m++] = Intersect(p[i], p[i+1], line);
    } else {
      if  (IsInside(p[i+1]))
        q[m++] = Intersect(p[i], p[i+1], line);
    }
  }
}
```

# *Sutherland-Hodgeman* poligon vágás

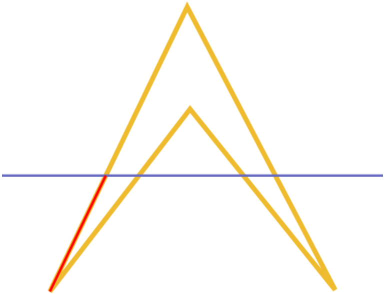
A vágást elvégezzük a vágó poligon minden élére



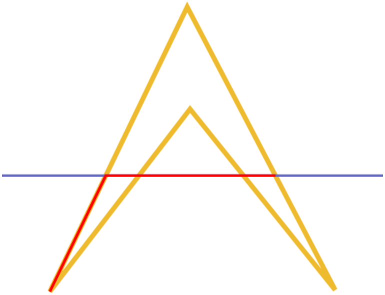
# *Sutherland-Hodgeman* probléma: konkáv vágandó poligon



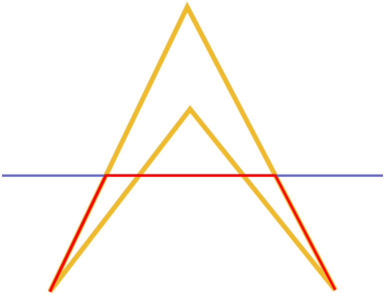
# *Sutherland-Hodgeman* probléma: konkáv vágandó poligon



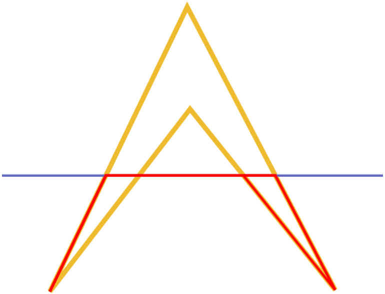
# *Sutherland-Hodgeman* probléma: konkáv vágandó poligon



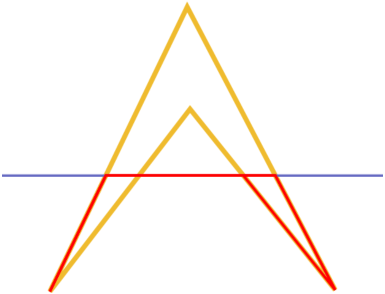
# *Sutherland-Hodgeman* probléma: konkáv vágandó poligon



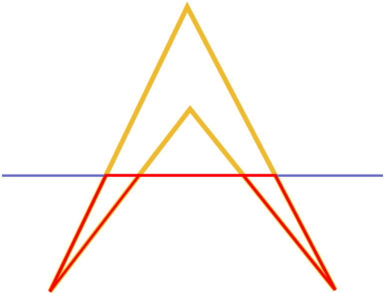
# *Sutherland-Hodgeman* probléma: konkáv vágandó poligon



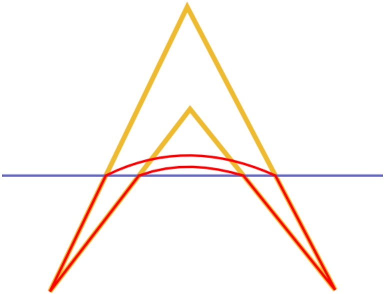
# *Sutherland-Hodgeman* probléma: konkáv vágandó poligon



# *Sutherland-Hodgeman* probléma: konkáv vágandó poligon

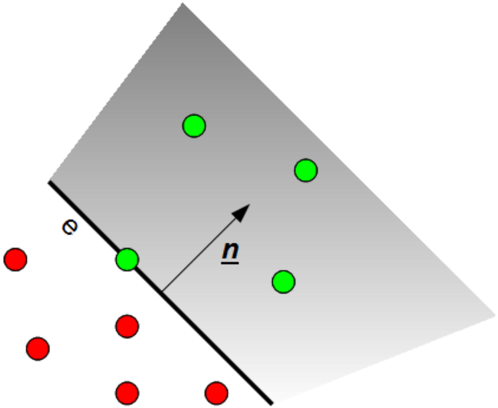


# *Sutherland-Hodgeman* probléma: konkáv vágandó poligon

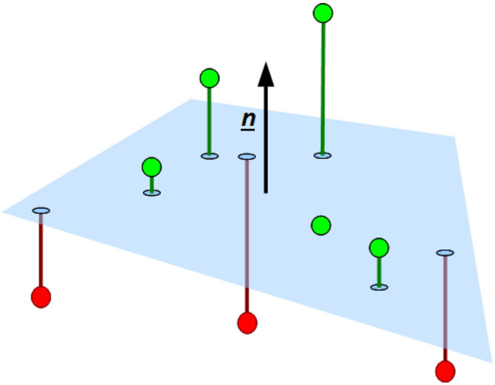


# Tartalom

# Vágás 2D-ben



# Vágás 3D-ben



# Vágás 3D-ben

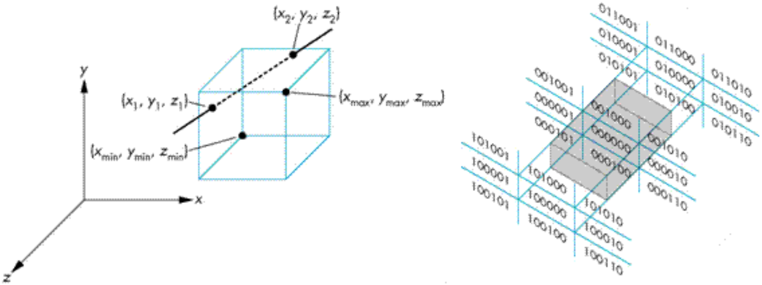
- Lényegében ugyanúgy működik, mint korábban, csak most az $\langle \mathbf{x} - \mathbf{p}, \mathbf{n} \rangle \geq 0$ típusú implicit egyenletek *féltereket* határoznak meg

# Vágás 3D-ben

- Lényegében ugyanúgy működik, mint korábban, csak most az $\langle \mathbf{x} - \mathbf{p}, \mathbf{n} \rangle \geq 0$ típusú implicit egyenletek *féltereket* határoznak meg
- Térben még inkább megéri tengelyillesztett téglatestekre vágni

# Vágás 3D-ben

- Lényegében ugyanúgy működik, mint korábban, csak most az $\langle \mathbf{x} - \mathbf{p}, \mathbf{n} \rangle \geq 0$ típusú implicit egyenletek *féltereket* határoznak meg
- Térben még inkább megéri tengelyillesztett téglatestekre vágni
- A Cohen-Sutherland bitkódok most már 6 hosszúak: in front, behind, top, bottom, right, left



# Tartalom

# Szakasz rajzolás

- Egyik leggyakrabban használt primitív

# Szakasz rajzolás

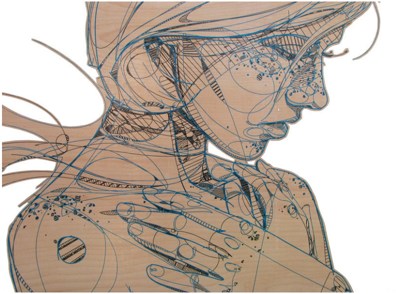
- Egyik leggyakrabban használt primitív
- Fontos, hogy szépen tudjuk rajzolni

# Szakasz rajzolás

- Egyik leggyakrabban használt primitív
- Fontos, hogy szépen tudjuk rajzolni
- Még jobb, ha gyorsan is

# Szakasz rajzolás

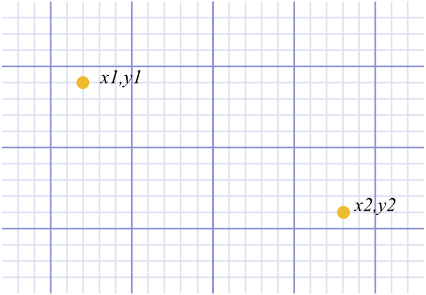
- Egyik leggyakrabban használt primitív
- Fontos, hogy szépen tudjuk rajzolni
- Még jobb, ha gyorsan is



Jason Thielke, jasonthielke.com

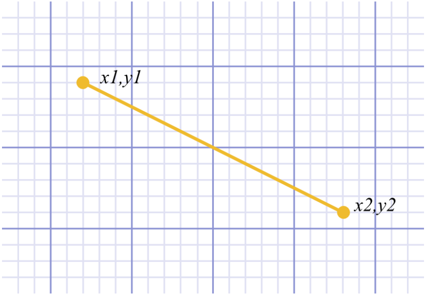
# Hogyan rajzolunk szakaszt?

- Adott a két végpont.



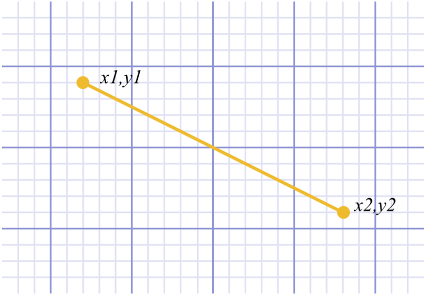
# Hogyan rajzolunk szakaszt?

- Adott a két végpont.
- Hogyan tudjuk összekötni őket?



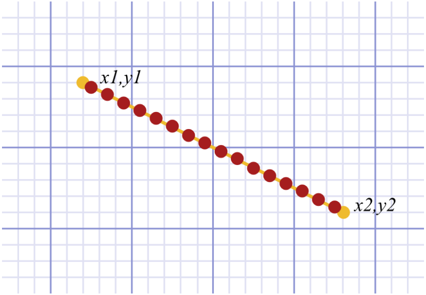
# Hogyan rajzolunk szakaszt?

- Adott a két végpont.
- Hogyan tudjuk összekötni őket?
- Csak miniatűr téglalapjaink vannak (amiket pixelnek nevezünk).



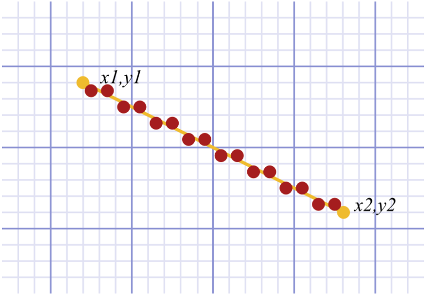
# Hogyan rajzolunk szakaszt?

- Adott a két végpont.
- Hogyan tudjuk összekötni őket?
- Csak miniatűr téglalapjaink vannak (amiket pixelnek nevezünk).



# Hogyan rajzolunk szakaszt?

- Adott a két végpont.
- Hogyan tudjuk összekötni őket?
- Csak miniatűr téglalapjaink vannak (amiket pixelnek nevezünk).



# Szakasz megadása (sokadszor)

- Végpontok: $(x_1, y_1), (x_2, y_2)$

# Szakasz megadása (sokadszor)

- Végpontok: $(x_1, y_1), (x_2, y_2)$
- Tfh. nem függőleges: $x_1 \neq x_2$.

# Szakasz megadása (sokadszor)

- Végpontok: $(x_1, y_1), (x_2, y_2)$
- Tfh. nem függőleges: $x_1 \neq x_2$.
- Szakasz egyenlete:

# Szakasz megadása (sokadszor)

- Végpontok: $(x_1, y_1), (x_2, y_2)$
- Tfh. nem függőleges: $x_1 \neq x_2$.
- Szakasz egyenlete:

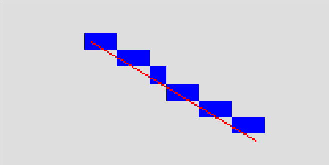
$$y = mx + b, x \in [x_1, x_2]$$
$$m = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}$$
$$b = y_1 - mx_1$$

# Naiv algoritmus

```
def line1(x1,y1,x2,y2, draw):
  m = float(y2-y1)/(x2-x1)
  x = x1
  y = float(y1)
  while x<=x2:
    draw.point((x,y))
    x += 1
    y += m
```

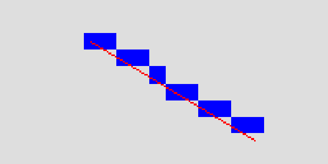
# Naiv algoritmus

- kerekítések miatt egy fél pixellel „el van csúszva” a számolás



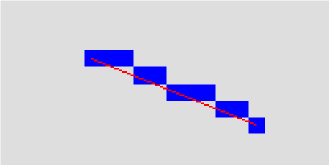
# Naiv algoritmus

- kerekítések miatt egy fél pixellel „el van csúszva” a számolás
- `draw.point((x,y))` $\rightarrow$ `int`-eket vár, lassú a konverzió



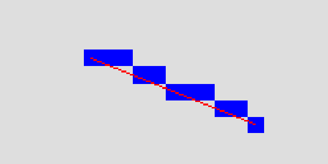
# Naiv algoritmus

- kerekítések miatt egy fél pixellel „el van csúszva” a számolás
- `draw.point((x,y))` $\rightarrow$ `int`-eket vár, lassú a konverzió
- `m = float(y2-y1)/(x2-x1)` nem pontos



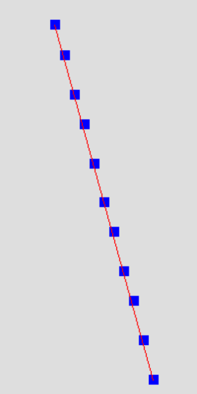
# Naiv algoritmus

- kerekítések miatt egy fél pixellel „el van csúszva” a számolás
- `draw.point((x,y))` $\rightarrow$ `int`-eket vár, lassú a konverzió
- `m = float(y2-y1)/(x2-x1)` nem pontos
- `y += m` $\rightarrow$ a hiba gyűlik $y$-ban



# Naiv algoritmus

- kerekítések miatt egy fél pixellel „el van csúszva” a számolás
- `draw.point((x,y))` $\rightarrow$ `int`-eket vár, lassú a konverzió
- `m = float(y2-y1)/(x2-x1)` nem pontos
- `y += m` $\rightarrow$ a hiba gyűlik $y$-ban
- csak $|m| < 1$-re működik helyesen



# Javítsuk az algoritmust 1.

```
def line2(x1,y1,x2,y2, draw):
  m = float(y2-y1)/(x2-x1)
  x = x1
  y = y1
  e = 0.0
  while x<=x2:
    draw.point((x,y))
    x += 1
    e += m
    if e >= 0.5:
      y += 1
      e -= 1.0
```

# Javítsuk az algoritmust 1.

- Jó: Mindig „eltalálja” a végpontokat

# Javítsuk az algoritmust 1.

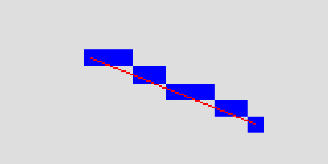
- Jó: Mindig „eltalálja” a végpontokat
- Jó: Egyenletesebben lép az $y$ irányban.

# Javítsuk az algoritmust 1.

- Jó: Mindig „eltalálja” a végpontokat
- Jó: Egyenletesebben lép az $y$ irányban.
- Rossz: Még mindig használunk `float`-okat

# Javítsuk az algoritmust 1.

Naiv:

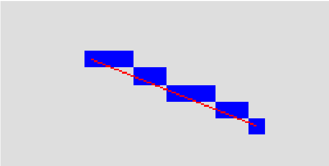


- Jó: Mindig „eltalálja” a végpontokat
- Jó: Egyenletesebben lép az $y$ irányban.
- Rossz: Még mindig használunk `float`-okat

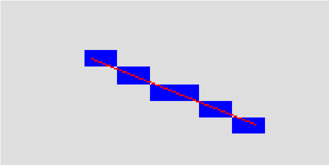
# Javítsuk az algoritmust 1.

- Jó: Mindig „eltalálja” a végpontokat
- Jó: Egyenletesebben lép az $y$ irányban.
- Rossz: Még mindig használunk `float`-okat

Naiv:



Javítás:



# Javítsuk az algoritmust 2.

```
def line3(x1,y1,x2,y2, draw):
  x = x1
  y = y1
  e = -0.5
  while x<=x2:
    draw.point((x,y))
    x += 1
    e += float(y2-y1)/(x2-x1)
    if e >= 0.0:
      y += 1
      e -= 1.0
```

# Javítsuk az algoritmust 3.

```
def line4(x1,y1,x2,y2, draw):
  x = x1
  y = y1
  e = -0.5*(x2-x1)←
  while x<=x2:
    draw.point((x,y))
    x += 1
    e += y2-y1←
    if e >= 0.0:
      y += 1
      e -= (x2-x1)←
```

# Javítsuk az algoritmust 4.

```python
def line5(x1,y1,x2,y2, draw):
  x = x1
  y = y1
  e = -(x2-x1)
  while x<=x2:
    draw.point((x,y))
    x += 1
    e += 2*(y2-y1)
    if e >= 0:
      y += 1
      e -= 2*(x2-x1)
```

# Javítsuk az algoritmust 4.

- Ez a *Bresenham* algoritmus (egyik speciális esete)

# Javítsuk az algoritmust 4.

- Ez a *Bresenham* algoritmus (egyik speciális esete)
- Külön gyűjtjük a hibát e-ben

# Javítsuk az algoritmust 4.

- Ez a *Bresenham* algoritmus (egyik speciális esete)
- Külön gyűjtjük a hibát e-ben
- Nem használunk `float`-okat

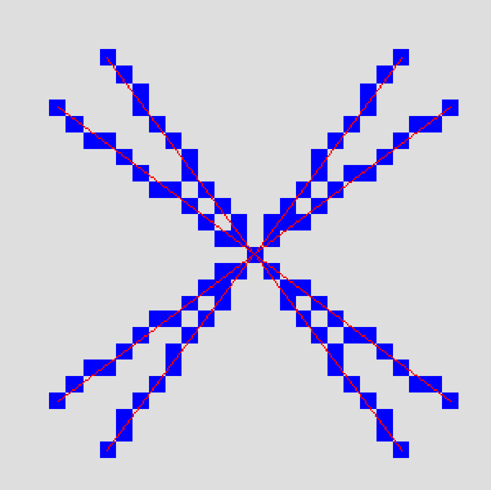
# Javítsuk az algoritmust 4.

- Ez a *Bresenham* algoritmus (egyik speciális esete)
- Külön gyűjtjük a hibát e-ben
- Nem használunk `float`-okat
- Tetszőleges meredekségű szakaszokra általánosítható.

# *Bresenham* algoritmus

- Nyolcadokra kéne felbontani a síkot, mindegyik külön eset.
- (Előzők végig: jobbra-le)
- El kell döntenünk, hogy $|x_2 - x_1|$ vagy $|y_2 - y_1|$ a nagyobb (merre meredekebb a szakasz).
- Ha $|y_2 - y_1|$ a nagyobb, cseréljük fel $x_i \leftrightarrow y_i$, és rajzolásnál is fordítva használjuk!
- Ha $x_1 > x_2$, akkor csere: $x_1 \leftrightarrow x_2$, $y_1 \leftrightarrow y_2$.
- Az $e$ hibatagot $|y_2 - y_1|$-nal növeljük minden lépésben
- $y$-nal $y_2 - y_1$ előjele szerint haladunk.

# *Bresenham* algoritmus



# Teljes *Bresenham* algoritmus 1.

```
def Bresenham(x1,y1,x2,y2, draw):
  steep = abs(y2-y1)>abs(x2-x1)
  if steep:
    x1, y1 = y1, x1
    x2, y2 = y2, x2
  if x1>x2:
    x1, x2 = x2, x1
    y1, y2 = y2, y1
  Dy = abs(y2-y1)
  if y1<y2:
    Sy = 1
  else:
    Sy = -1
```

# Teljes *Bresenham* algoritmus 2.

```
x = x1
y = y1
e = -(x2-x1)
while x<=x2:
  if steep:
    draw.point((y,x))
  else:
    draw.point((x,y))
  x += 1
  e += 2*Dy
  if e >= 0:
    y += Sy
    e -= 2*(x2-x1)
```

# Tartalom

# Háromszög raszterizáció

- A háromszög oldalait tudjuk vágni – most töltsük ki a belsejét!

# Háromszög raszterizáció

- A háromszög oldalait tudjuk vágni – most töltsük ki a belsejét!
- Ha egy meghatározott bejárási irányban adtuk meg az összes háromszög csúcsát, tudunk félsíkokat adni (tudjuk irányítani az éleket)

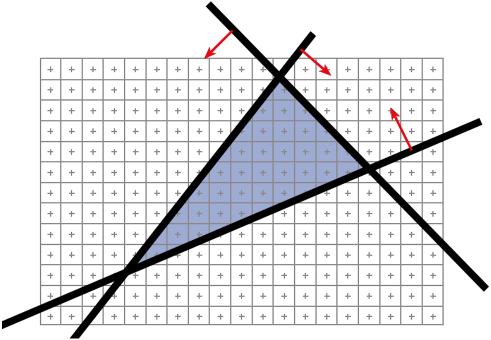
# Háromszög raszterizáció

- A háromszög oldalait tudjuk vágni – most töltsük ki a belsejét!
- Ha egy meghatározott bejárási irányban adtuk meg az összes háromszög csúcsát, tudunk félsíkokat adni (tudjuk irányítani az éleket) $\rightarrow$ u.i. ha $(t_x, t_y)$ az irányvektora az oldalnak, akkor $(-t_y, t_x)$ egy normális lesz

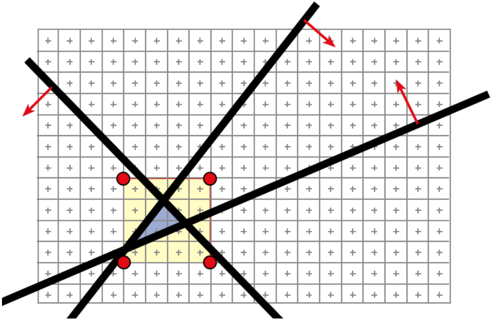
# Háromszög raszterizáció

- A háromszög oldalait tudjuk vágni – most töltsük ki a belsejét!
- Ha egy meghatározott bejárási irányban adtuk meg az összes háromszög csúcsát, tudunk félsíkokat adni (tudjuk irányítani az éleket) $\rightarrow$ u.i. ha $(t_x, t_y)$ az irányvektora az oldalnak, akkor $(-t_y, t_x)$ egy normális lesz
- Minden pixelre menjünk végig a képernyőn és nézzük meg, hogy a háromszög oldalai által meghatározott síkok jó oldalán van-e!

# Háromszög raszterizáció



# Háromszög raszterizáció – okosabban



# Háromszög raszterizáció

- Lehetne még okosabban is csinálni, de: gyakorlatban ez a brute-force megközelítés nagyon jól alkalmazható!

# Háromszög raszterizáció

- Nem egy rögzített értékkel akarunk kitölteni, a hanem a csúcsokban adott értékeket akarjuk interpolálni.

# Háromszög raszterizáció

- Nem egy rögzített értékkel akarunk kitölteni, a hanem a csúcsokban adott értékeket akarjuk interpolálni.
- Felhasználásai: szín (Gouraud-árnyalás), textúra koordinták, normálvektorok

# Háromszög raszterizáció

- Nem egy rögzített értékkel akarunk kitölteni, a hanem a csúcsokban adott értékeket akarjuk interpolálni.
- Felhasználásai: szín (Gouraud-árnyalás), textúra koordinták, normálvektorok
- Legyen a felület egy pontja $p = \alpha p_1 + \beta p_2 + \gamma p_3$, az $\alpha, \beta, \gamma$ baricentrikus koordinátákkal adott.

# Háromszög raszterizáció

- Nem egy rögzített értékkel akarunk kitölteni, a hanem a csúcsokban adott értékeket akarjuk interpolálni.
- Felhasználásai: szín (Gouraud-árnyalás), textúra koordinták, normálvektorok
- Legyen a felület egy pontja $p = \alpha p_1 + \beta p_2 + \gamma p_3$, az $\alpha, \beta, \gamma$ baricentrikus koordinátákkal adott.
- Ekkor bármilyen más értéket is végig tudunk interpolálni ugyan így:

$$c = \alpha c_1 + \beta c_2 + \gamma c_3$$

# Háromszög raszterizáció

- Nem egy rögzített értékkel akarunk kitölteni, a hanem a csúcsokban adott értékeket akarjuk interpolálni.
- Felhasználásai: szín (Gouraud-árnyalás), textúra koordinták, normálvektorok
- Legyen a felület egy pontja $p = \alpha p_1 + \beta p_2 + \gamma p_3$, az $\alpha, \beta, \gamma$ baricentrikus koordinátákkal adott.
- Ekkor bármilyen más értéket is végig tudunk interpolálni ugyan így:

$$c = \alpha c_1 + \beta c_2 + \gamma c_3$$

- Ez az úgy nevezett *Gouraud interpoláció* (nem véletlenül)

# Háromszög kitöltés 1.

```
for all x:
  for all y:
    α,β,γ = barycentric(x,y)
    if α ∈ [0,1] and β ∈ [0,1] and γ ∈ [0,1]:
      c = αc_1 + βc_2 + γc_3
      draw.point((x,y),c)
```

# Baricentrikus koordináták

- A baricentrikus koordináták számíthatók a következő képletek segítségével:

$$
\begin{aligned}
f_{01}(x, y) &= (y_0 - y_1)x + (x_1 - x_0)y + x_0y_1 - x_1y_0 \\
f_{12}(x, y) &= (y_1 - y_2)x + (x_2 - x_1)y + x_1y_2 - x_2y_1 \\
f_{20}(x, y) &= (y_2 - y_0)x + (x_0 - x_2)y + x_2y_0 - x_0y_2
\end{aligned}
$$

- Ekkor az $x, y$ ponthoz tartozó baricentrikus koordináták:

$$
\begin{aligned}
\alpha &= f_{12}(x, y)/f_{12}(x_0, y_0) \\
\beta &= f_{20}(x, y)/f_{20}(x_1, y_1) \\
\gamma &= f_{01}(x, y)/f_{01}(x_2, y_2)
\end{aligned}
$$

# Háromszög kitöltés 2.

```
x_min = min(floor(x_i))
x_max = max(ceiling(x_i))
y_min = min(floor(y_i))
y_max = max(ceiling(y_i))
for y in [y_min..y_max]:
  for x in [x_min..x_max]:
    α = f12(x,y)/f12(x0,y0)
    β = f20(x,y)/f20(x1,y1)
    γ = f01(x,y)/f01(x2,y2)
    if α>0 and β>0 and γ>0:
      c = αc_1 + βc_2 + γc_3
      draw.point((x,y),c)
```

$$\alpha = f_{12}(x,y)/f_{12}(x_0,y_0)$$
$$\beta = f_{20}(x,y)/f_{20}(x_1,y_1)$$
$$\gamma = f_{01}(x,y)/f_{01}(x_2,y_2)$$

# Háromszög kitöltés 2.

- Gyorsítás: felesleges minden $x, y$-t vizsgálni, elég a háromszöget tartalazó téglalapon végig menni.

# Háromszög kitöltés 2.

- Gyorsítás: felesleges minden $x, y$-t vizsgálni, elég a háromszöget tartalazó téglalapon végig menni.
- Inkrementálissá tétel:
  - Most még lassú, nem használjuk, ki hogy sorban megyünk $x$-en, $y$-on.

# Háromszög kitöltés 2.

- Gyorsítás: felesleges minden $x, y$-t vizsgálni, elég a háromszöget tartalazó téglalapon végig menni.
- Inkrementálissá tétel:
  - Most még lassú, nem használjuk, ki hogy sorban megyünk $x$-en, $y$-on.
  - Milyenek is ezek az $f$-ek?

# Háromszög kitöltés 2.

- Gyorsítás: felesleges minden $x, y$-t vizsgálni, elég a háromszöget tartalazó téglalapon végig menni.
- Inkrementálissá tétel:
  - Most még lassú, nem használjuk, ki hogy sorban megyünk $x$-en, $y$-on.
  - Milyenek is ezek az $f$-ek?
  - Mind $f(x, y) = Ax + By + C$ alakú.

# Háromszög kitöltés 2.

- Gyorsítás: felesleges minden $x, y$-t vizsgálni, elég a háromszöget tartalazó téglalapon végig menni.
- Inkrementálissá tétel:
  - Most még lassú, nem használjuk, ki hogy sorban megyünk $x$-en, $y$-on.
  - Milyenek is ezek az $f$-ek?
  - Mind $f(x, y) = Ax + By + C$ alakú.
  - Ekkor $f(x+1, y) = f(x, y) + A$, ill.
  - $f(x, y+1) = f(x, y) + B$

# Háromszög kitöltés 2.

- Gyorsítás: felesleges minden $x, y$-t vizsgálni, elég a háromszöget tartalazó téglalapon végig menni.
- Inkrementálissá tétel:
  - Most még lassú, nem használjuk, ki hogy sorban megyünk $x$-en, $y$-on.
  - Milyenek is ezek az $f$-ek?
  - Mind $f(x, y) = Ax + By + C$ alakú.
  - Ekkor $f(x + 1, y) = f(x, y) + A$, ill.
  - $f(x, y + 1) = f(x, y) + B$
- Megvalósítás: *házi feladat*

# Tartalom

# *Flood-fill* – elárasztásos kitöltés

- Tetszőleges, már raszterizált poligon kitöltésére alkalmas.

# *Flood-fill* – elárasztásos kitöltés

- Tetszőleges, már raszterizált poligon kitöltésére alkalmas.
- Bemenet: raszter kép + annak egy pontja

# *Flood-fill* – elárasztásos kitöltés

- Tetszőleges, már raszterizált poligon kitöltésére alkalmas.
- Bemenet: raszter kép + annak egy pontja
- Brute-force: a megadott pontból kiindulva rekurzívan haladunk:
  - Az aktuális pont színe megegyezik a kiindulási pont színével?

# *Flood-fill* – elárasztásos kitöltés

- Tetszőleges, már raszterizált poligon kitöltésére alkalmas.
- Bemenet: raszter kép + annak egy pontja
- Brute-force: a megadott pontból kiindulva rekurzívan haladunk:
  - Az aktuális pont színe megegyezik a kiindulási pont színével?

    **nem** megállunk

    **igen** átszínezzük, és

# *Flood-fill* – elárasztásos kitöltés

- Tetszőleges, már raszterizált poligon kitöltésére alkalmas.
- Bemenet: raszter kép + annak egy pontja
- Brute-force: a megadott pontból kiindulva rekurzívan haladunk:
  - Az aktuális pont színe megegyezik a kiindulási pont színével?

    **nem** megállunk

    **igen** átszínezzük, és
  - minden szomszédra újrakezdjük az algoritmust.

# *Flood-fill* – szomszédásgok

- Négy szomszéd: fent, lent, jobbra, balra

# *Flood-fill* – szomszédásgok

- Négy szomszéd: fent, lent, jobbra, balra
- Nyolc szomszéd: az előző négy + a sarkak

# *Flood-fill* – szomszédásgok

- Négy szomszéd: fent, lent, jobbra, balra
- Nyolc szomszéd: az előző négy + a sarkak
- Rekurzió nagyon durva: gyakorlatban ennél okosabb algoritmusok is vannak

# *Flood-fill* – szomszédásgok

- Négy szomszéd: fent, lent, jobbra, balra
- Nyolc szomszéd: az előző négy + a sarkak
- Rekurzió nagyon durva: gyakorlatban ennél okosabb algoritmusok is vannak → aktív éllista stb.