

Magdics Milán

3D Pozitron-Emissziós Tomográfia GPU-n

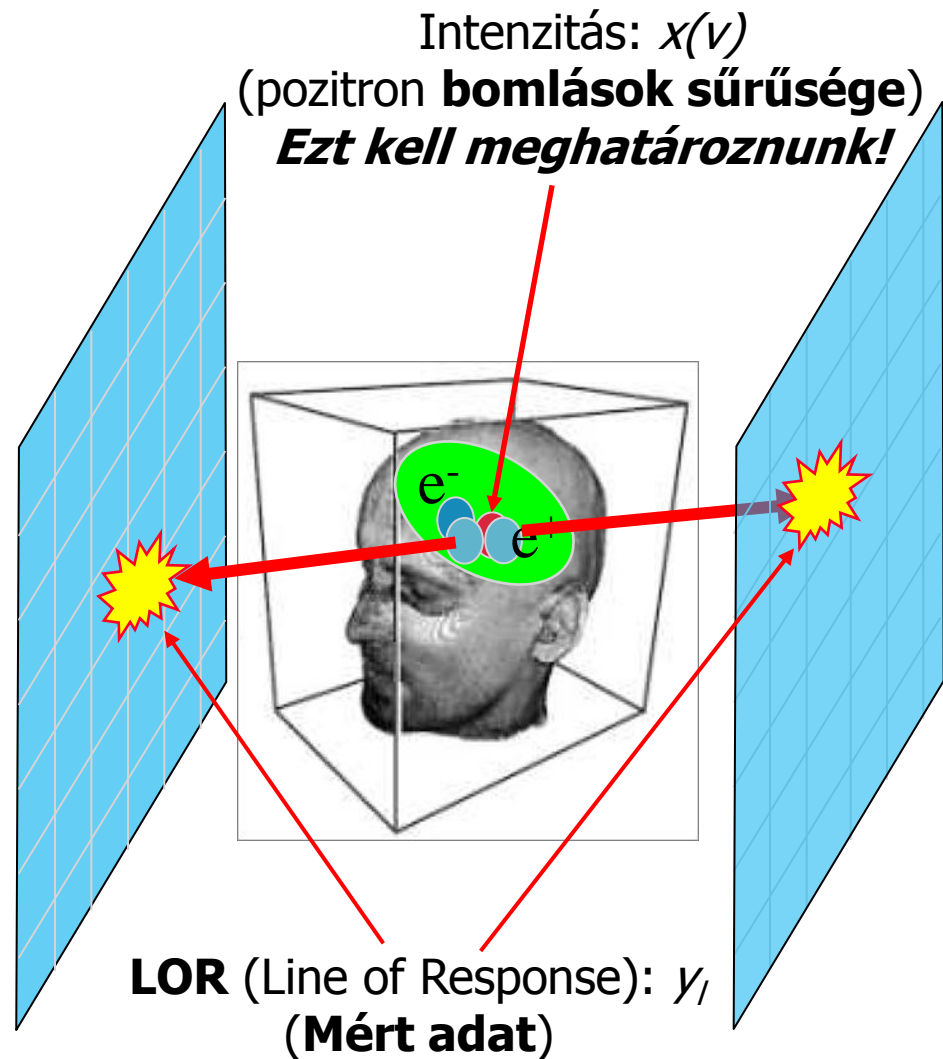
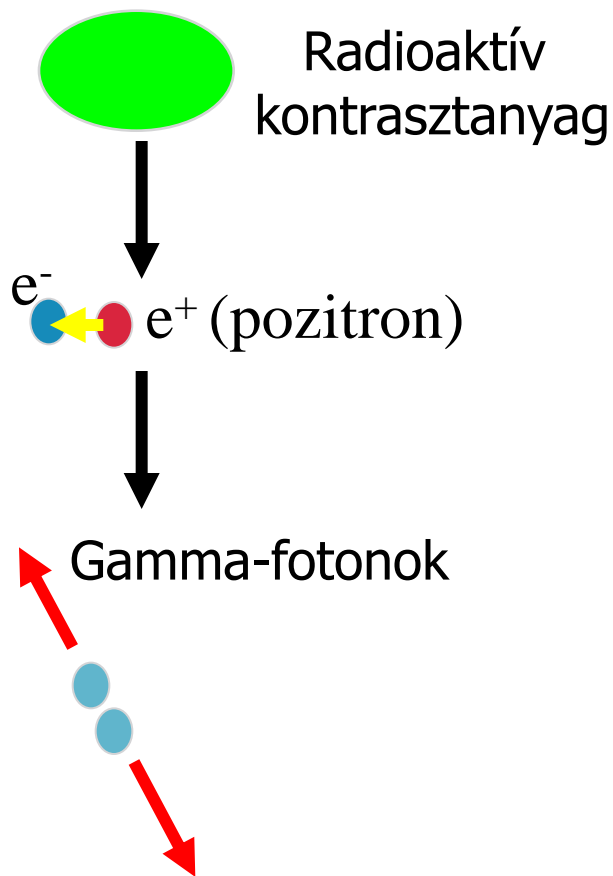
Grafika csoport

- BME Irányítástechnika és Informatika Tanszék (IIT)
- Tanszékvezető: Dr. Szirmay-Kalos László
- Főbb kutatási területek:
 - Globális illumináció
 - Tértfogatvizualizáció
 - Valós idejű képszintézis
 - Nemfotorealisztikus megjelenítés
 - *Tomográfiás rekonstrukció (GPGPU)*

Tartalom

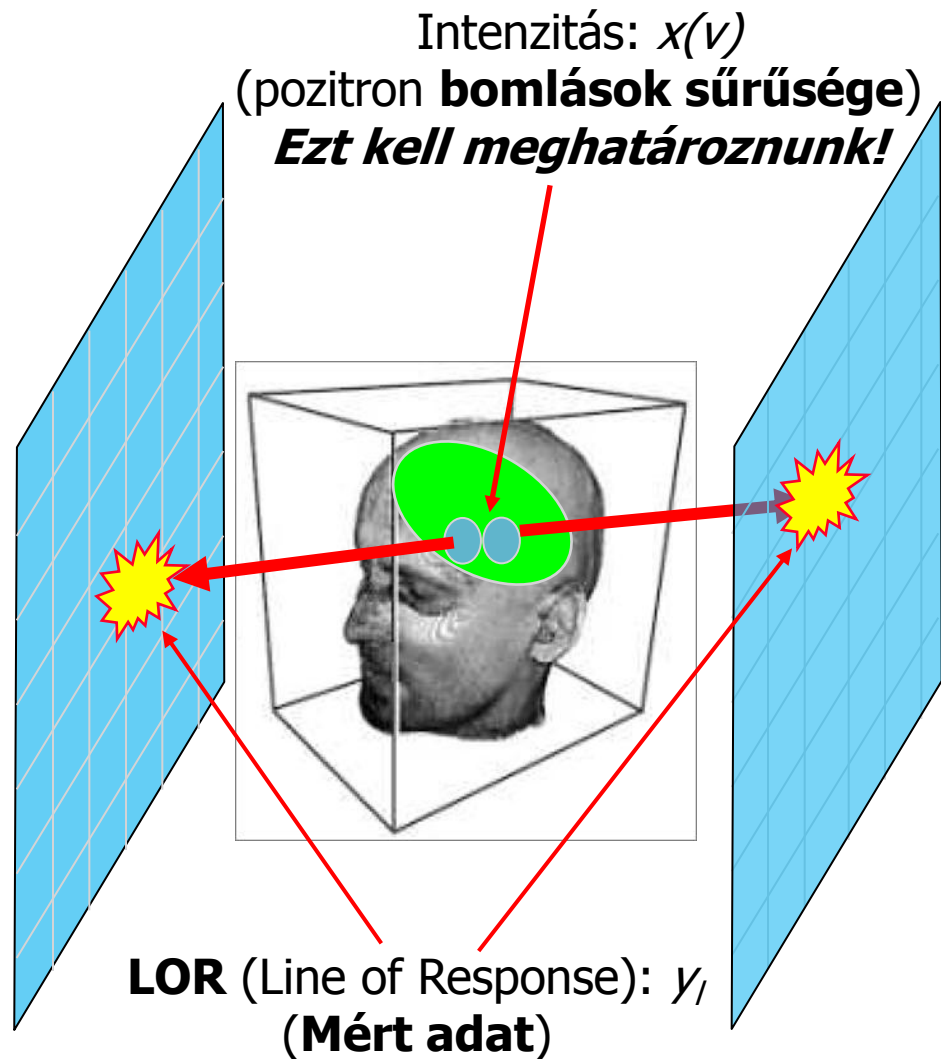
- PET
 - Hogyan működik?
 - Mire jó?
 - A rekonstrukciós algoritmus vázlata
- „GPU-barát” fizikai modellezés
 - Szóródás modellezése

Pozitron Emissziós Tomográfia



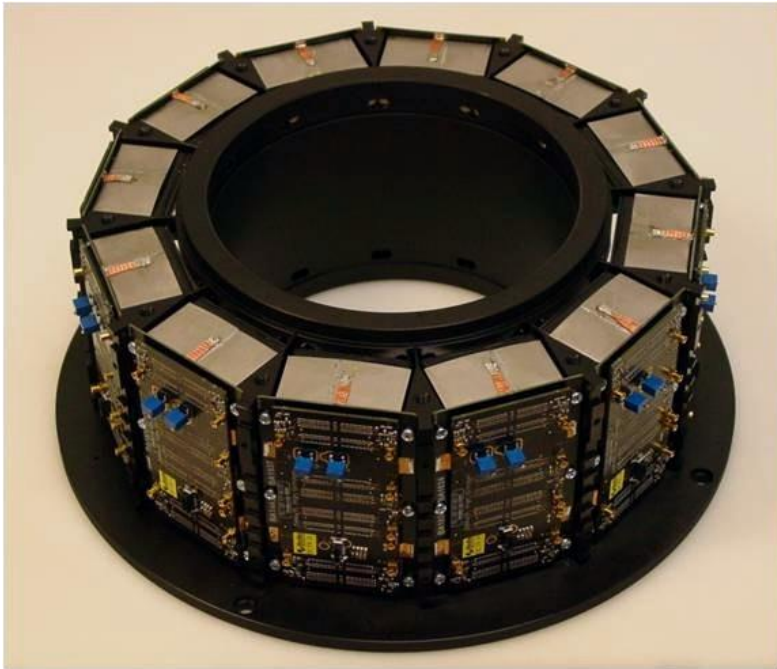
Pozitron Emissziós Tomográfia

- A készülék az egyidejű fotonbecsapódásokat regisztrálja (számolja)
- 4D adat (modulonként 2-2 koordináta)



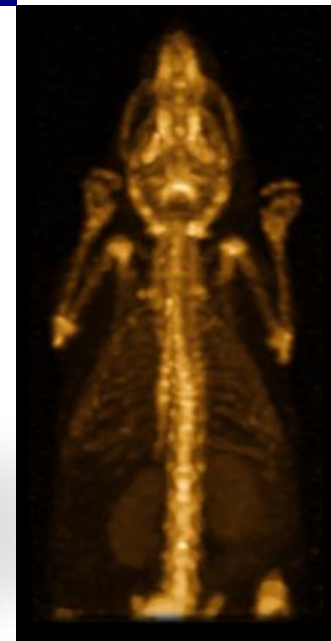
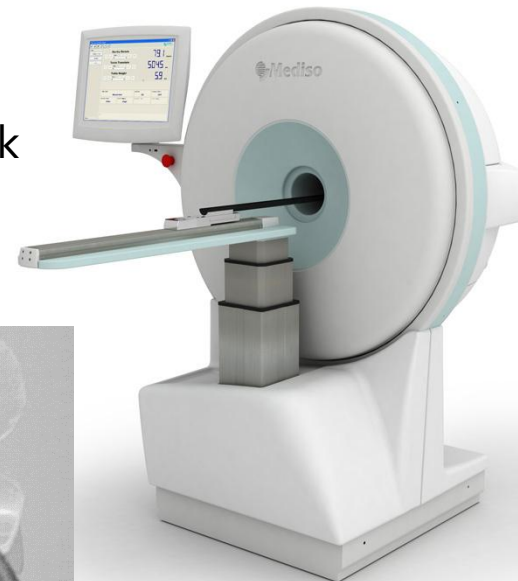
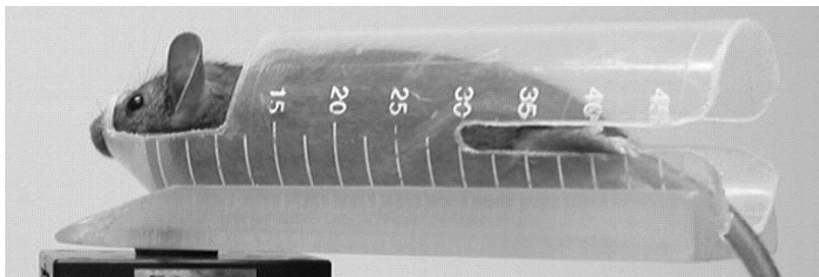
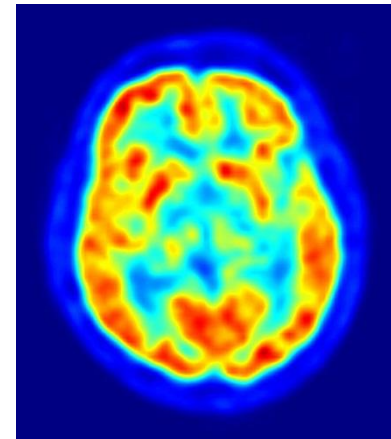
Pozitron Emissziós Tomográfia

- A detektorlapokat (panel) gyűrű alakban helyezik el
- Minden panelt 2D rácson elhelyezett kristályok alkotnak
- Általában CT-vel egybeépítve (pl. PET szóródásmodell)



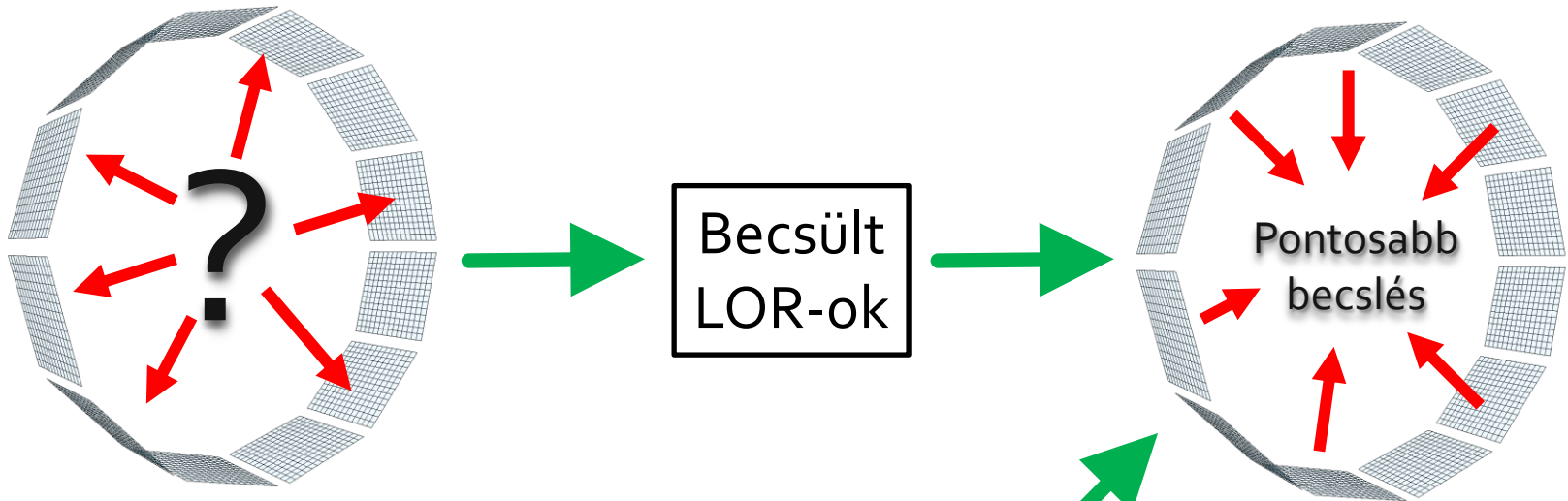
Felhasználás

- Általában olyan (radioaktív) anyagot juttatnak a szervezetbe, amelyet a sejtek az anyagcseréjük során felvesznek (pl. cukor)
- Így nyomon követhetővé válik az anyagcsere gyorsasága
 - Diagnosztika: a daganatos sejtek anyagcseréje jóval intenzívebb
 - Szervműködés: agyműködés feladatok elvégzése közben
 - Kisállat PET: gyógyszerkísérletek



Iteratív maximum-likelihood becslés

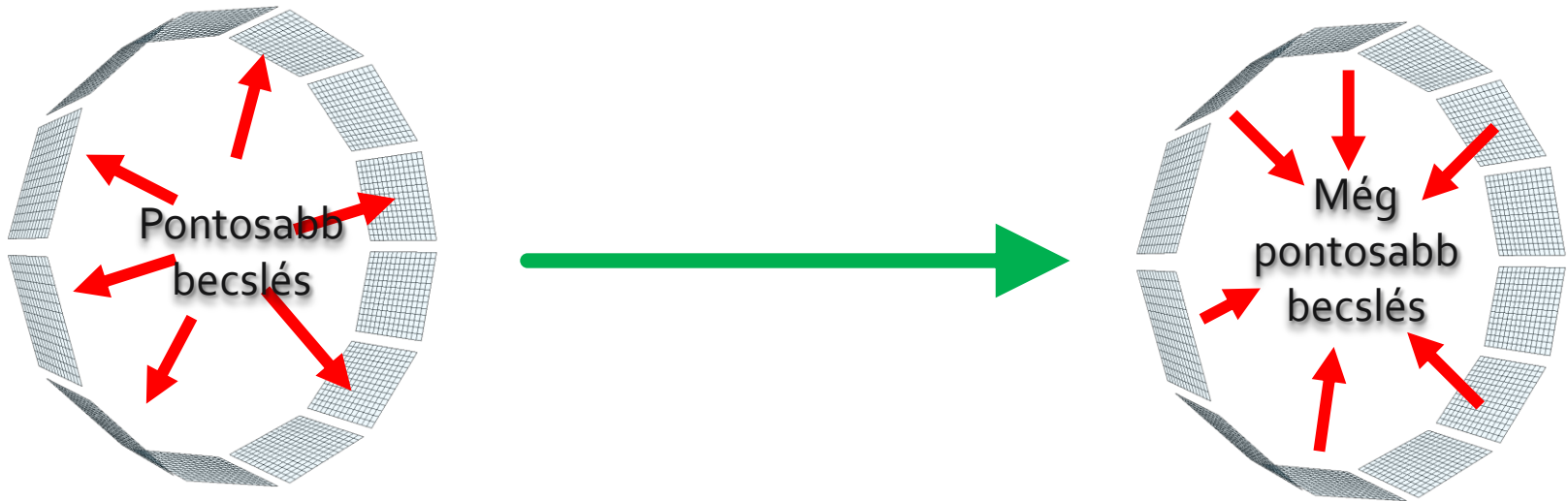
- ML (Maximum Likelihood) becslés célja: megtalálni azt az $x(v)$ bomláseloszlást, amelyet feltételezve a mérés valószínűsége maximális



- „Előrevetítés”:
A bomláseloszlás egy becsléséből kiindulva, egy minél pontosabb fizikai modellt alkalmazva kiszámoljuk, hogy mit kellene mérnünk: „Becsült LOR-ok”

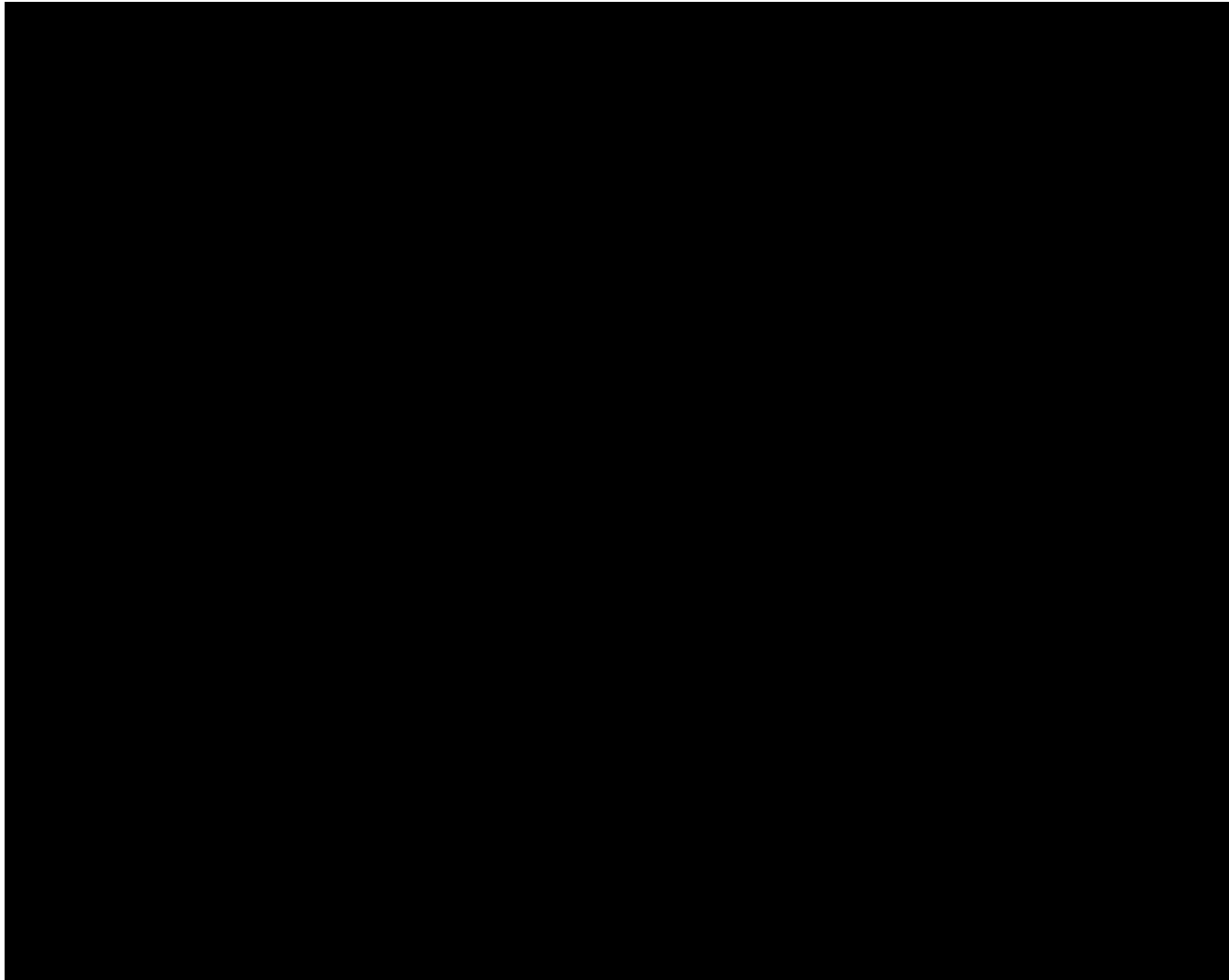
- „Visszavetítés”:
A becstelt és a tényleges, mért LOR-ok aránya alapján korrigáljuk a bomlássűrűsége adott becslést

Iteratív maximum-likelihood becslés



- Az egészet megismételjük, immáron az új, pontosabb becslésből kiindulva

Iteratív maximum-likelihood becslés



GPU?

- A tér egy adott pontjában keletkezett fotonpár bármely detektorpárba becsapódhat
- Egy tipikus készülékben „mindössze” néhány 10.000 detektor, de néhány **100.000.000 (százmillió) detektorpár** van
- A térfogati adatot egy kb. **10.000.000 (tízmillió) voxel**t tartalmazó 3D-rácsban szeretnénk reprezentálni (pl. $256 \times 256 \times 256 \approx 16$ millió)
- Minden iterációban **$10^8 \times 10^7$** nagyságrendű számítás!
- GPU!

Előrevetítés

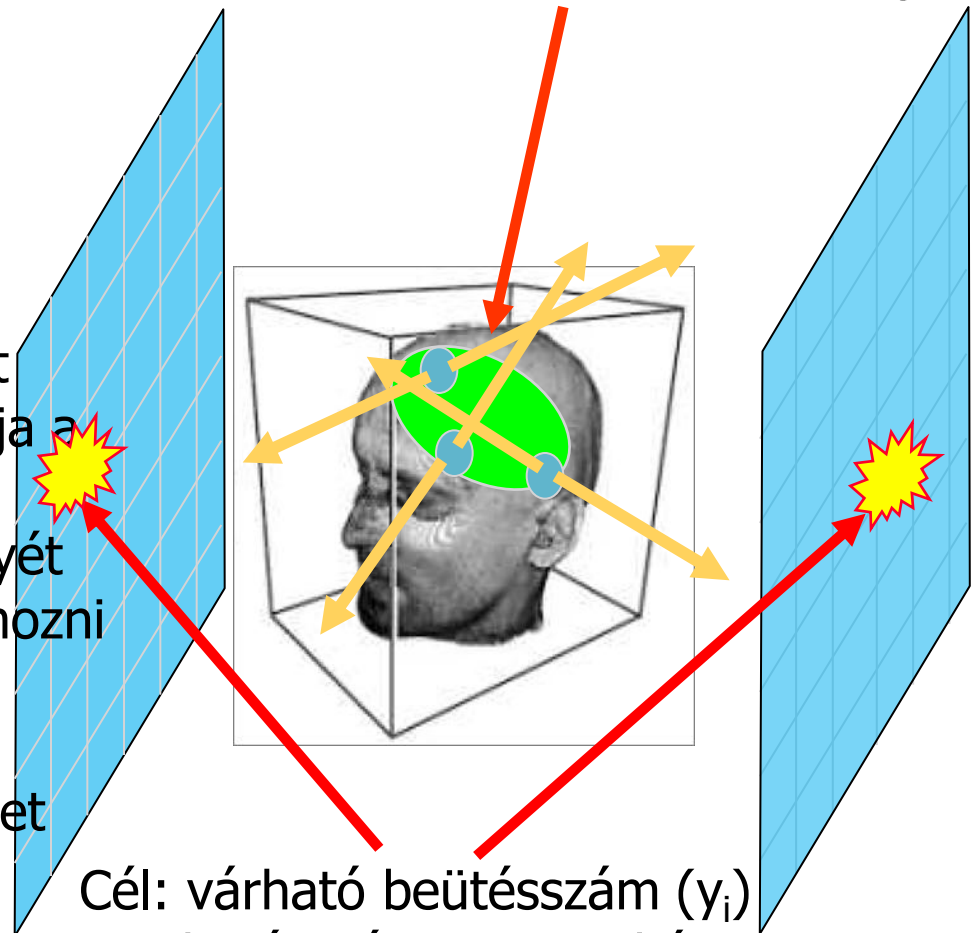
Adott: az intenzitás becslése: $x_j^{(n)}$

$$\tilde{y}_i = \int_{\vec{v}} x(\vec{v}) P(\vec{v} \rightarrow i) d\vec{v}$$

- **Direkt Monte-Carlo:**

A térfogatot fontosság szerint mintavételezi ($x(v)$), szimulálja a fotonok útját, az út végén regisztrálja a becsapódás helyét

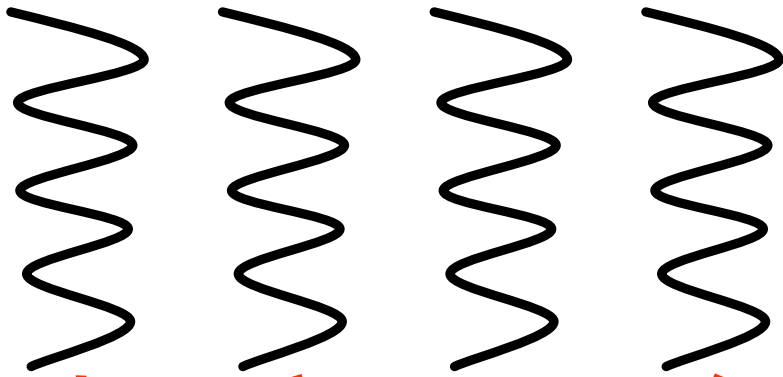
- Intuitív, „könnyű” leprogramozni
- A fizikai jelenségek (pl. szóródás) modellezése azok pontos lemásolásával történhet



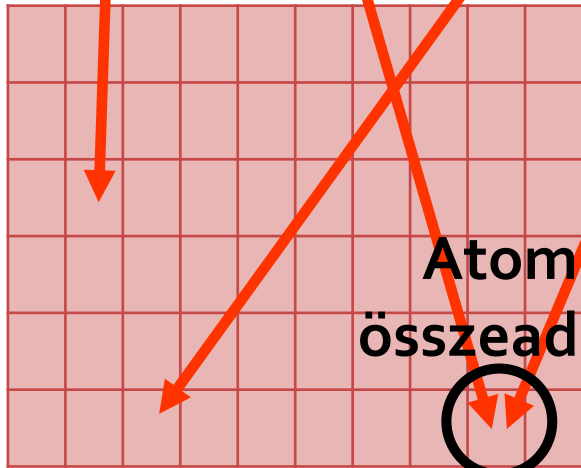
Cél: várható beütésszám (y_i) meghatározása, LoR-onként

Előrevetítés: Direkt Monte Carlo

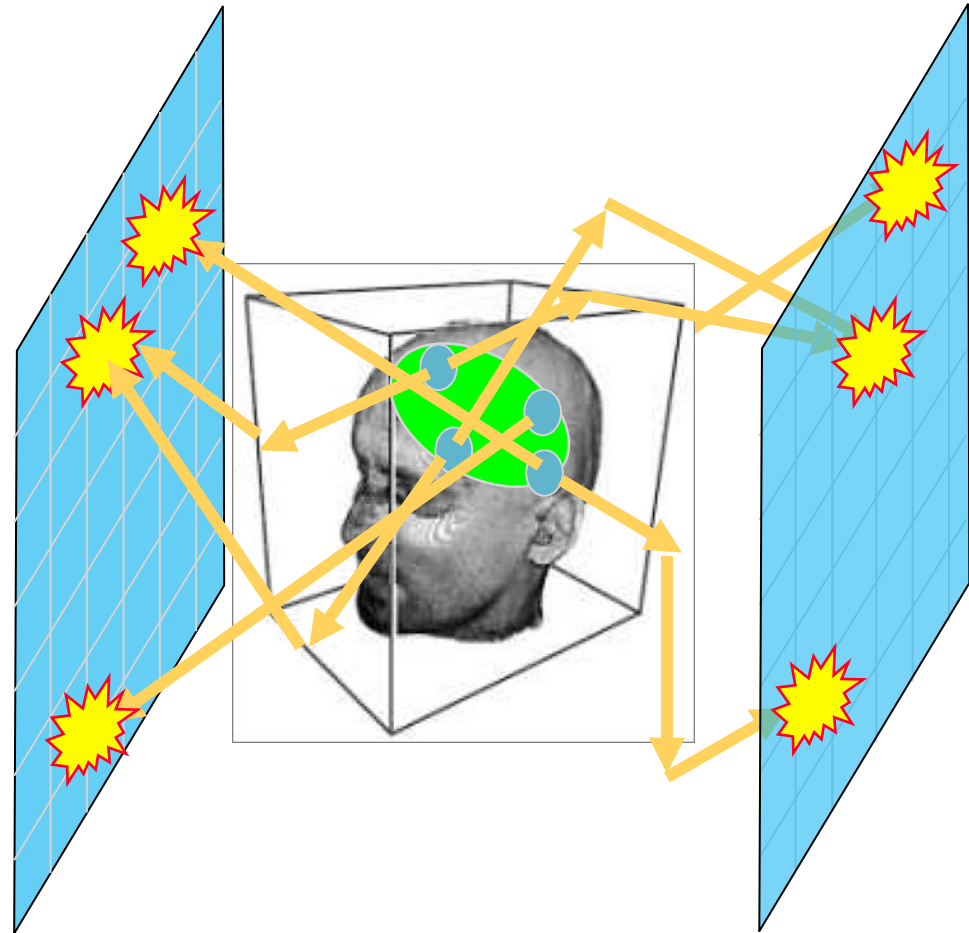
Thread Thread Thread Thread



GPU memória



Atomi
összeadás!



„Lövés”: GPU-n nem hatékony!

Előrevetítés: Adjugált MC

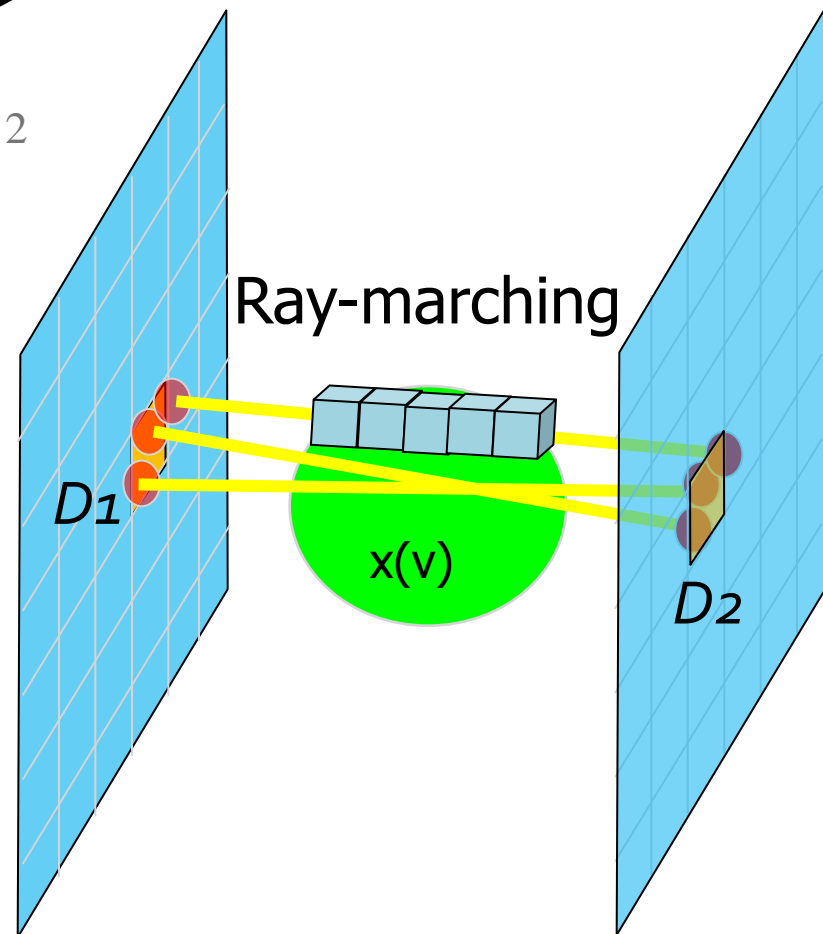
Térszög
($D_1 D_2$)

$$\int_{z_1}^{z_2} x(l) dl$$

$$\tilde{y}_i = \int_{D_1} \int_{D_2} G(z_1, z_2) X(z_1, z_2) dz_1 dz_2$$

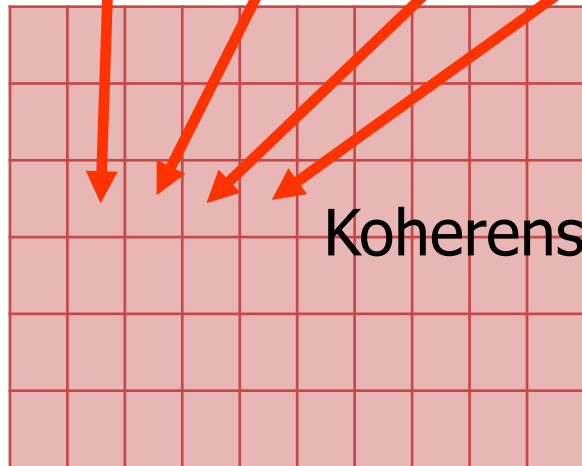
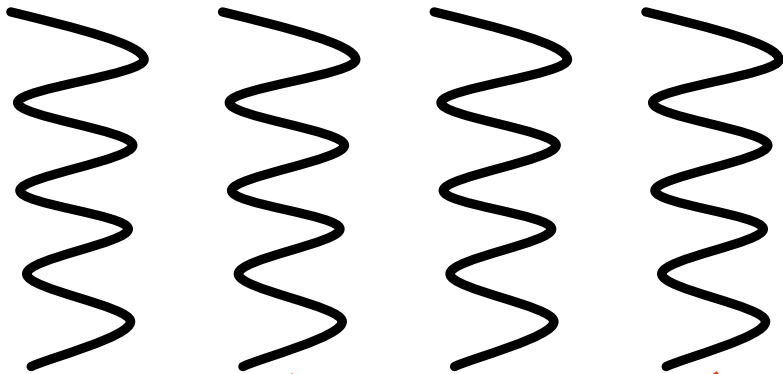
A detektorfelületet
mintavételezzük,
összegyűjtjük a
mintapontokat összekötő
utak hozzájárulását

Megj: ez (még) mellőzi a
szóródást és egyéb fizikai
hatásokat

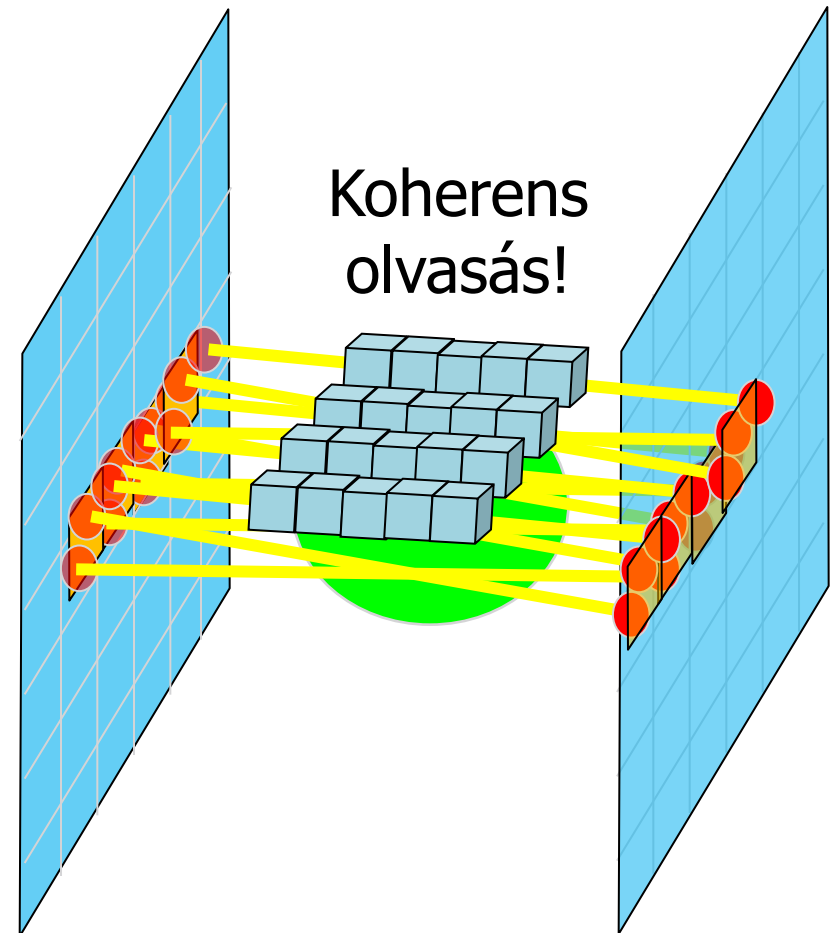


Előrevetítés: Adjungált MC

Thread Thread Thread Thread



Koherens írás!

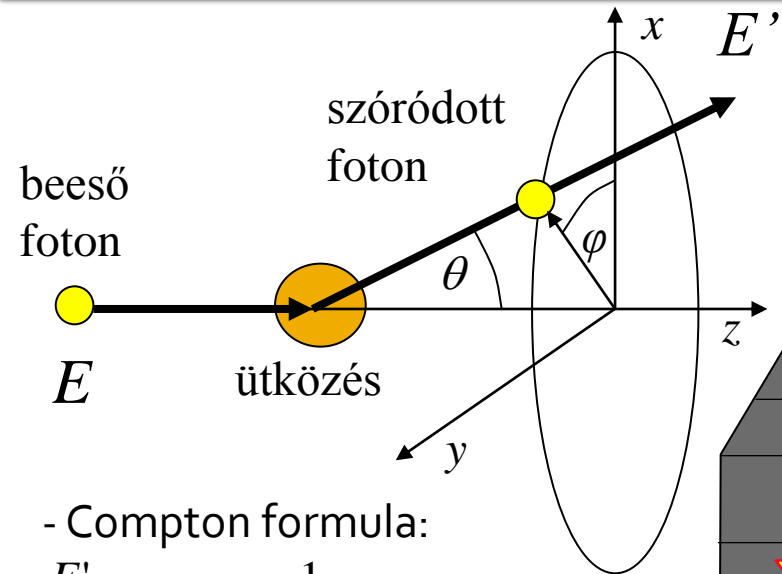


Koherens olvasás!

És a többi hatás?

- Szóródás, realiztikus detektormodell stb...?
- A fotonok explicit módon nem jelennek meg, így nem tudjuk szimulálni az útjukat
 - A vonalminták fotonok összességét reprezentálják

Szóródás, elnyelődés



- Compton formula:

$$\frac{E'}{E} = \frac{1}{1 + \frac{E}{m_e c^2} (1 - \cos \theta)}$$

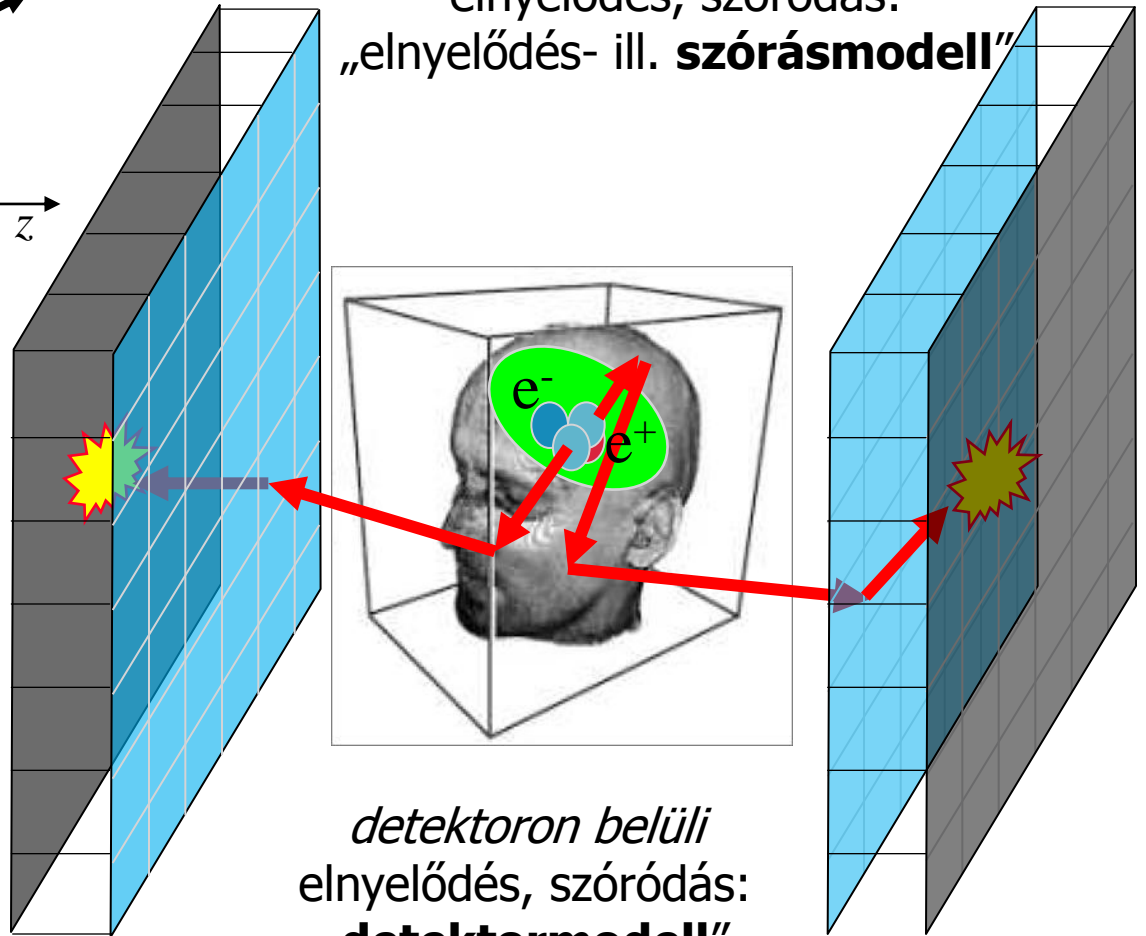
- Klein-Nishina:

$$P(\theta) = C \left(\frac{E'}{E} + \left(\frac{E'}{E} \right)^3 - \left(\frac{E'}{E} \right)^2 \sin^2 \theta \right)$$

Elektronsűrűség

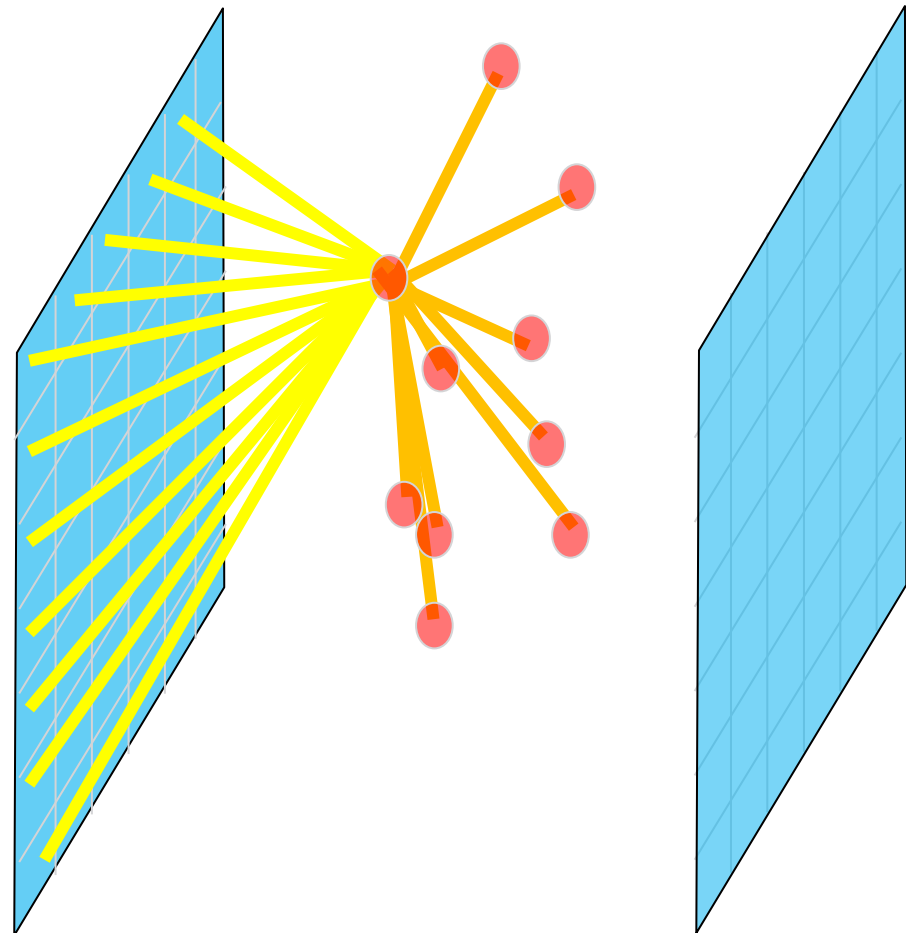
(anyagfüggő – CT mérésből)

testen belüli
elnyelődés, szóródás:
„elnyelődés- ill. **szórásmodell**”



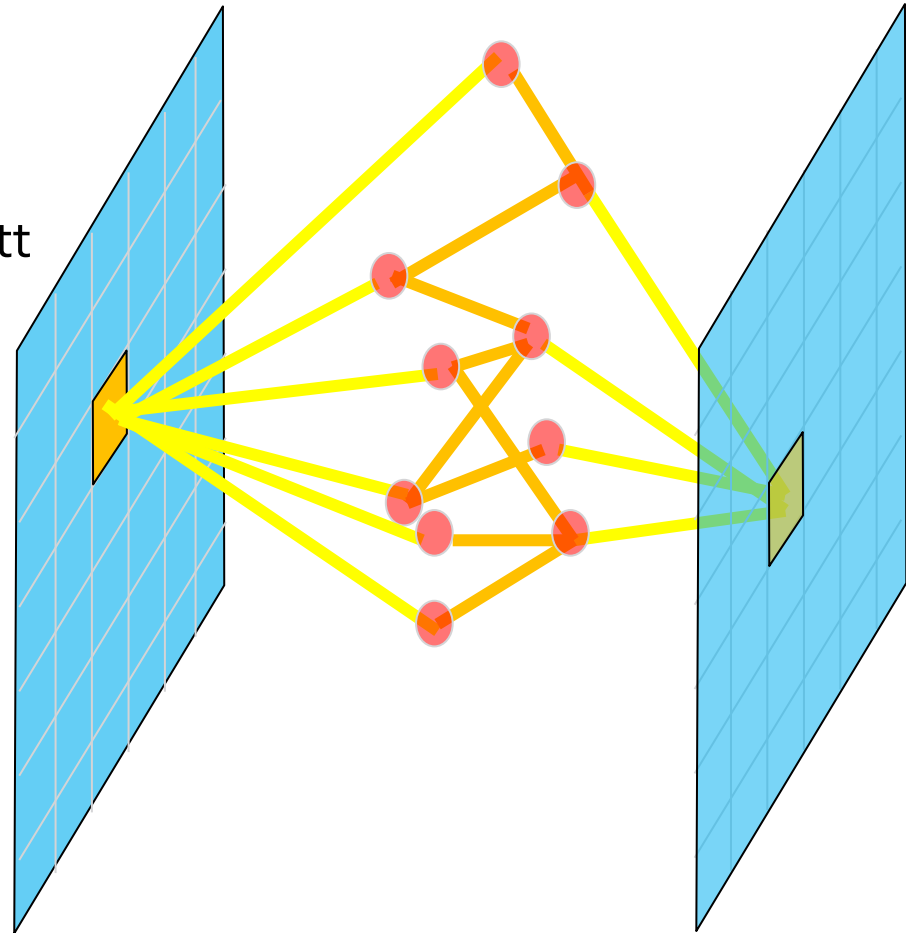
Szóródásmodell (kétszeres, pl.)

- Alapötlet: utak újrafelhasználása
- 1: szóródási pontok generálása
 - Fontosság szerint
 - Néhány 100!
- 2: összekötés a detektorokkal
 - Utak hozzájárulásának kiszámítása, elnyelődés figyelembevételével
 - Mintha a szóródási pontok is detektorok lennének
 - Néhány 10.000 detektor
- 3: Szóródási pontok összekötése, utak kiértékelése



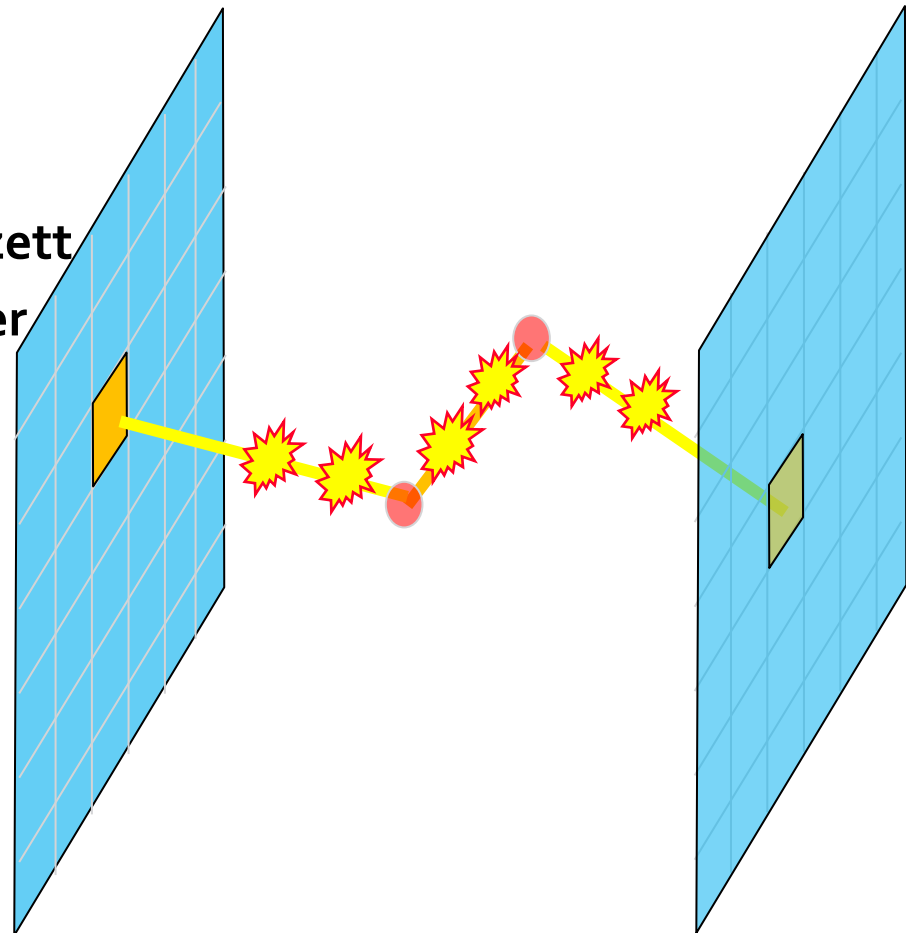
Szóródásmodell (kétszeres)

- Alapötlet: utak újrafelhasználása
- 4: Utak kombinálása, LOR-onként
 - Eredmény: 3-hosszú törtvonalak
 - Minden, a törtvonalon keletkezett fotonpár tagjai összesen kétszer szóródtak
 - A szóródási pontokat összekötő szakaszok **minden LOR-ra azonosak!**



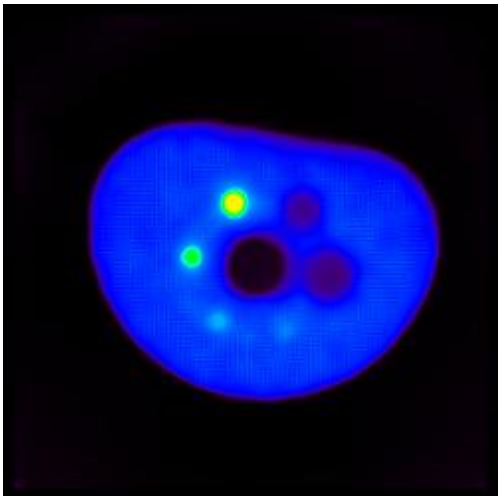
Szóródásmodell (kétszeres)

- Alapötlet: utak újrafelhasználása
- 4: Utak kombinálása, LOR-onként
 - Eredmény: 3-hosszú törtvonalak
 - **Minden, a törtvonalon keletkezett fotonpár tagjai összesen kétszer szóródtak**
 - A szóródási pontokat összekötő szakaszok **minden LOR-ra azonosak!**

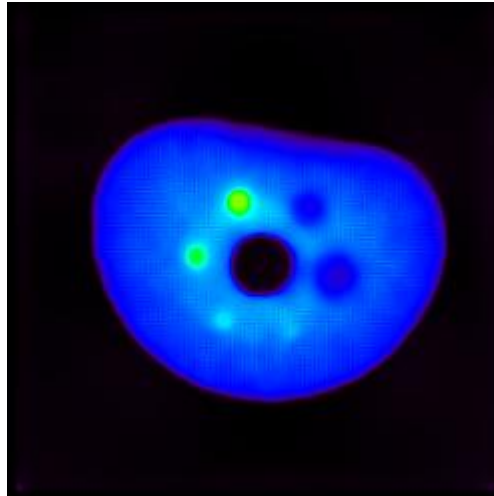


Ha figyelmen kívül hagyjuk...

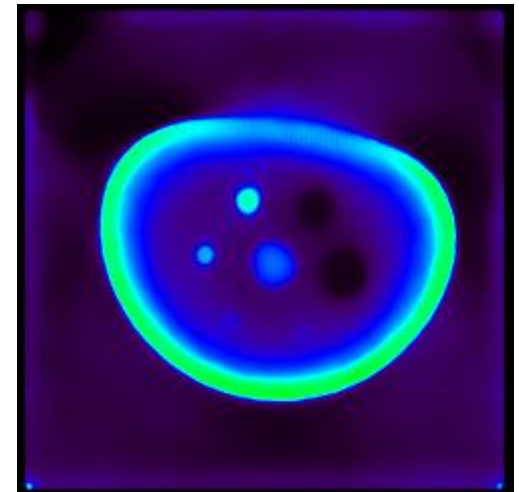
Szóródás+elnyelődés



Elnyelődés

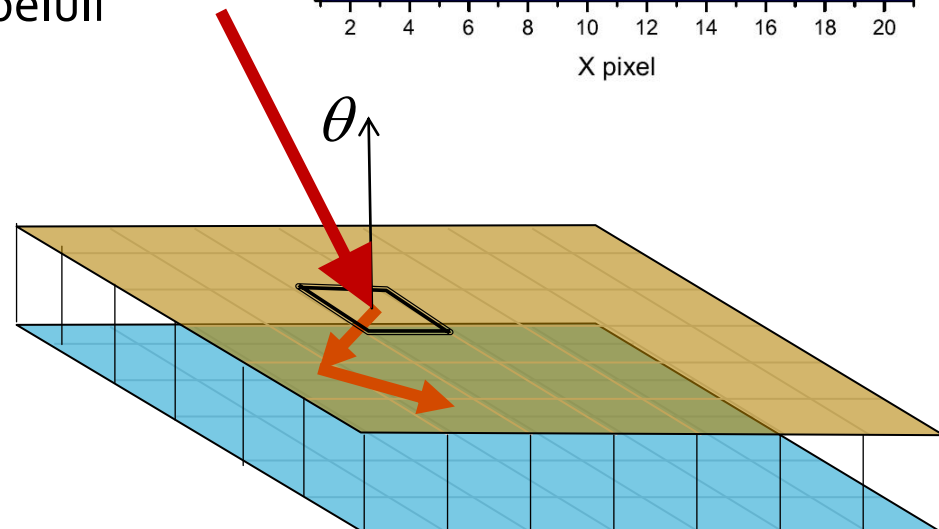
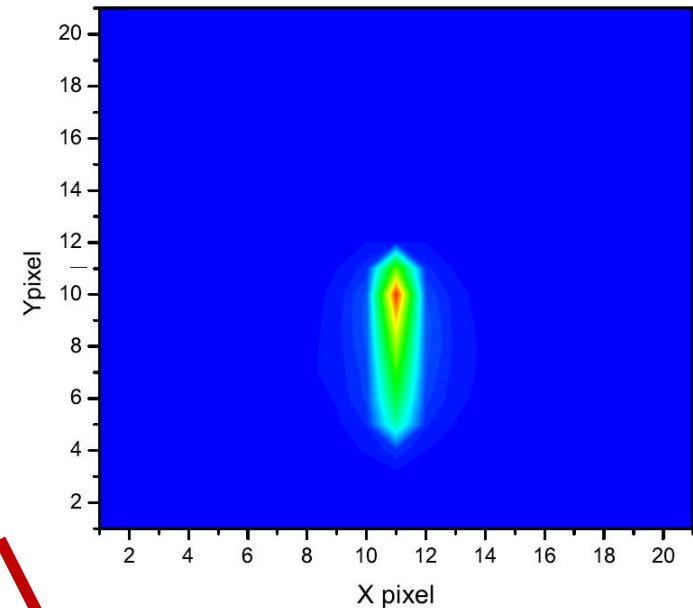


Csak geometria



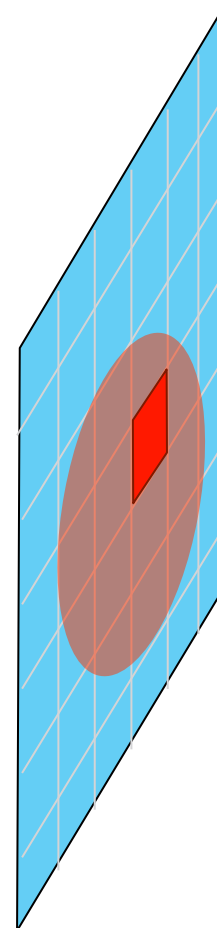
Detektormodell

- A detektoron belüli szóródás független a méréstől (nem cseréljük ki a kristályokat)
- Annak a valószínűsége, hogy a beérkező foton a detektoron belül hogyan szóródik, csak a beesési iránytól függ
 - És a foton energiájától, de ettől most eltekintünk
- Előre leszimulálható a detektoron belüli szóródás eloszlása: „csóvák”
- A két foton szóródása független
 - Elegendő fotononként szimulálni

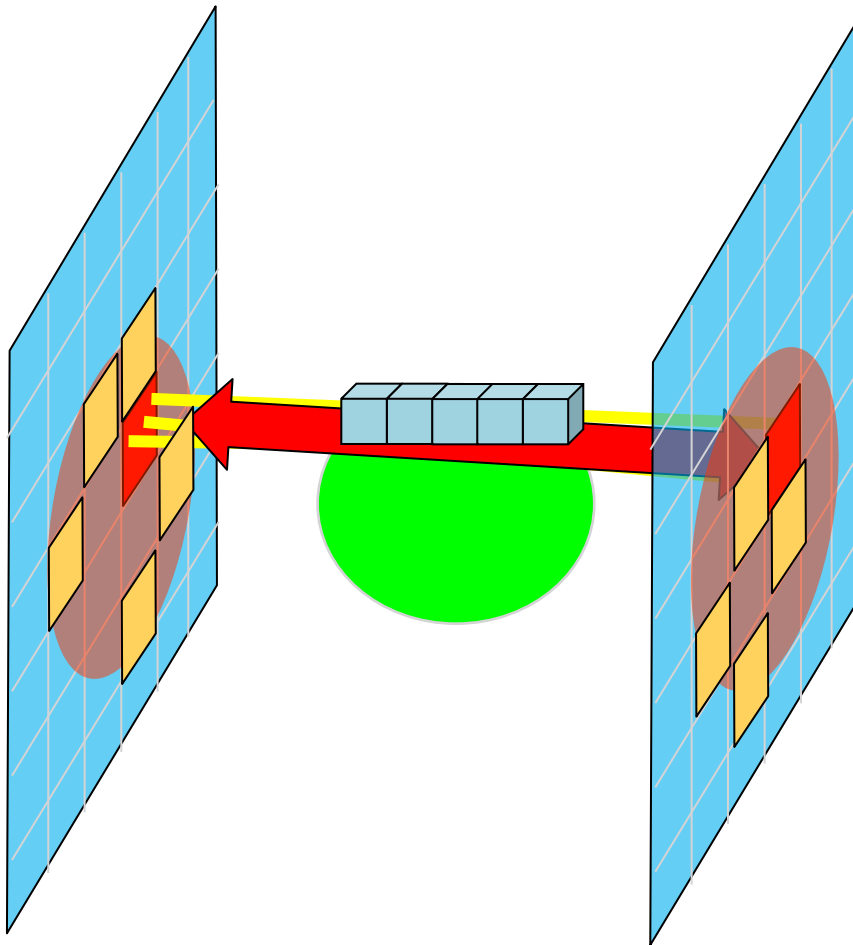


Detektormodell

- Ha egy adott detektort vizsgálunk, csak a csóván belülről, a csóva által meghatározott valószínűséggel érkezhettek fotonok



Detektormodell



1. Detektormodell nélküli előrevetítés
2. Offline (fontosság szerint) generált *index-offset* minták alapján a már kiszámolt értékek *kiolvasása*, *konvolúció* (*összeadás*)

Számítási költség elhanyagolható a ray-marchinghoz képest, így jóval több mintát is vehetünk

Konklúzió

- Egy GPU-s implementáció gyakran teljesen más gondolkodásmódot igényel, mint egy nem párhuzamos implementáció
- Általában megéri magát a problémát újragondolni, és nem (csak) az implementációs részletekre helyezni a hangsúlyt
- Az eltérő megoldásoknak más-más előnyei, hátrányai lehetnek

Köszönöm a figyelmet!
