

Számítógépes Grafika

Hajder Levente és Baráth Dániel

`hajder@inf.elte.hu`

Eötvös Loránd Tudományegyetem
Informatikai Kar

2019/2020. I. félév

Tartalom

- 1 Animáció
- 2 Animálható tulajdonságok
- 3 Animáció típusok
- 4 Hierachikus rendszerek

Animáció

- Állókép helyett képsorozat
- Objektumok/kamera/világ tulajdonságait változtatjuk
- Egy kép \equiv egy idő pillanat
- Képsorozat elég gyors \rightarrow folyamatos mozgást érzékel az emberi szem

Mi az, amit változtatunk?

- Lehet: pozíció, orientáció, szín, normál, BRDF, stb.
- "Értelme" van: pozíció, orientáció, kamera
- Animációt alkalmazunk:
 - a modellezési transzformációra
 - a kamera transzformációra

Animáció szintézis

- Legyen minden o objektumra, a modellezési trafó:
 $M_o \in \mathbb{R}^{4 \times 4}$
- Legyen a kamera trafó: $V \in \mathbb{R}^{4 \times 4}$
- *Megjegyzés: ha V a View mátrix, akkor csak a kamera pozícióját, orientációját tartalmazza; ha V a View és a Projection együtt, akkor tudjuk vele a látószöget is állítani*
- Legyen mindkettő idő függő!
- $M_o \in \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}^{4 \times 4}$
- $V \in \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}^{4 \times 4}$

Általános animációs program váza

```
while keep_running:  
    t = get_time()  
    for o in objects:  
         $M_o = M_o(t)$   
     $V = V(t)$   
    render_scene()
```

Animáció szintézis

- Valós idejű/interaktív:
 - rögtön meg is jelenítjük a képkockákat
 - a számításnak elég gyorsnak kell lennie a folytonosság látszatához
 - a felhasználói eseményekre reagálni kell
 - \Rightarrow olyan részletgazdag lehet a színtér, amit még így meg lehet jeleníteni
 - \Rightarrow inkrementális képszintézist használunk

Valósídejű animációs program váza

```
def update():  
    # vagy idle , vagy onFrameMove  
    t = get_time()  
    for o in objects:  
         $M_o = M_o(t)$   
         $V = V(t)$   
  
def render():  
    # vagy display , vagy onFrameRender  
    for o in objects:  
        render_object(o)
```


Animáció szintézis

- Nem valós idejű/*offline*:
 - "Nem számít", hogy mennyi ideig tart kiszámítani egy képkockát
 - Elkülönül a szintézis és a visszajátszás
 - Először elmentjük a képkockákat
 - Aztán majd videóként lehet visszaneézni
 - \Rightarrow a felhasználó nem tud belenyúlani az animációba
 - \Rightarrow olyan részletes színteret, és olyan bonyolult algoritmust használunk, amit ki tudunk várni

Offline rendering

$\Delta t = 1/\text{FPS}$

```
for (t=t_start; t<t_end; t+= $\Delta t$ ):  
    for o in objects:  
         $M_o = M_o(t)$   
         $V = V(t)$   
    render_scene_to_disk()
```

Valósídejű animáció – rosszul

- Hogyan lehet a legkönnyebben elrontani az animáció számítást?
- Azzal, ha nem vesszük figyelembe, hogy mennyi idő telt el két képkocka között.
- Pl.: A középpontja körül akarjuk forgatni az objektumot állandó szögsebességgel.

```
model = rotation(phi, 0,1,0); phi +=  
phi_step;
```
- Az objektum olyan gyorsan fog forogni, amilyen gyakorisággal ez a kód részlet meghívódik.
- Gyorsabb gépen többször, lassabb gépen kevesebbszer.

Valósídejű animáció – jól

- Hogyan lehet a legkönnyebben ezt megelőzni?
- Sose azt tároljuk, hogy mennyivel kell változtatni, hanem, hogy mi a változás *sebessége*.
- Minden számítás előtt kérjük le, hogy mennyi idő telt el az előző képkocka óta, és ezel szorozzuk a sebességet.
- Pl.: `phi += phi_step;` helyett `phi += get_time_since_last_frame() * phi_speed;`
- Gyorsabb gépen kevesebb, lassabb gépen több idő telik el két képkocka között \Rightarrow gyors gépen kisebbeket lépünk, lassabban nagyobbakat.

Tartalom

- 1 Animáció
- 2 Animálható tulajdonságok
 - Kamera animáció
 - Pozíció és orientáció
 - Roll, Pitch, Yaw
- 3 Animáció típusok
- 4 Hierachikus rendszerek

Kamera animáció

- A kamera tulajdonágai:
 - szempozíció (*eye*),
 - egy pont amire néz (*center*),
 - felfele irányt megadó vektor (*up*),
 - a képernyő/ablak oldal aránya (*aspect*),
 - nyílásszög (*fovy*).
- Ezek mind külön-külön változtathatók az animáció létrehozásához.

Pozíció és orientáció

- Pozíció: *"Hol van az objektum?"*
- Orientáció: *"Hogy áll, merre fele néz az objektum?"*
- Elsősorban ezt a kettőt szeretnénk változtatni.
- $M_o(t)$ megadja mindkettőt.
- Normális esetben

$$M_o(t) = \begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} & A_{13} & 0 \\ A_{21} & A_{22} & A_{23} & 0 \\ A_{31} & A_{32} & A_{33} & 0 \\ p_x & p_y & p_z & 1 \end{bmatrix},$$

- $\vec{p} = (p_x, p_y, p_z)$ a pozíció.
- Az **A** mátrix **tartalmazza** az orientációt.

Orientációs paraméterek

- Tegyük \vec{p} -t és \mathbf{A} -t is időfüggővé!
- \vec{p} tagjait leírhatjuk külön-külön függvénnyel.
- *Pl.: Valami esik, elég p_y -t változtatni.*
- \mathbf{A} tagjai összefüggenek, csak az orientáció érdekel belőle minket (nem érdekel: méretezés, nyírás).
- Az orientáció megadható három tengely menti forgatással
→ három független függvénnyel.

Yaw, pitch, roll

- Egy objektum függőleges- (*yaw*), kereszt- (*pitch*) és hossz tengelye (*roll*) menti elfordulásait egyszerre adjuk meg.
- Már találkoztunk vele, 3×3 -as mátrixszal megadható, három forgatás szorzata.
- Három tengely menti elfordulás szögével megadható \Rightarrow megadja az orientációt is.

Tartalom

- 1 Animáció
- 2 Animálható tulajdonságok
- 3 Animáció típusok**
 - Képlet animáció
 - Kulcskocka animáció
 - Pálya animáció
- 4 Hierachikus rendszerek

Képlet animáció

- Egy adott tulajdonság változását egy megfelelő függvénnyel írjuk le.
- Pl: Óra mutatói
 - Nagymutató: $yaw(t) = t/10$
 - Kismutató: $yaw(t) = t/120$
 - (ha t -t mp-ben adjuk meg, a forgatásokat pedig fokban)
- Pl: Pattogó labda
 - $p_y(t) = |\sin(\omega t + \theta_0)| \cdot e^{-kt}$

Kulcskocka (*key frame*) animáció

- Egy bonyolult mozgást nehézkes lenne képlettel megadni.
- Inkább adjuk csak bizonyos időközönként, hogy *akkor* mit szeretnénk látni.
- Ezek a kulcskockák.
- Egy tulajdonságot két kulcskocka között *interpolációval* számolunk ki.

Kulcskocka (*key frame*) animáció

- Az interpolációval az objektum egyes paramétereire folytonos görbét illesztünk.
- Az animáció lejátszása/elmentése során a program minden képkockában a hozzá tartozó t értékkel kiértékeli az objektum paraméter-függvényeit.
- Ezekből számítja a transzformációs mátrixokat.
- A mátrixok felhasználásával előállítja a képet.

Lineáris interpoláció

- Legyen a két kulcskockánk időpontja t_0 és t_1 .
- Legyen az interpolálandó tulajdonság g .
- Lineáris interpolációval $\forall t \in [t_0, t_1]$ -re kapjuk

$$g(t) = \left(1 - \frac{t - t_0}{t_1 - t_0}\right) g(t_0) + \frac{t - t_0}{t_1 - t_0} g(t_1)$$

Interpoláció két kulcskocka között

K: Mi a baj a lineáris interpolációval?

V: Ritkán néz ki természetesen. Animáció során a sebesség konstans, előtte, utána nulla.

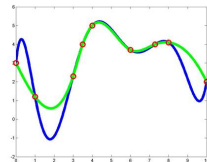
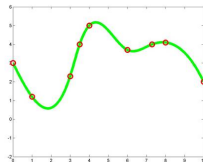
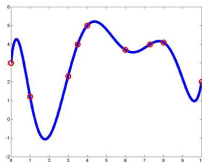
- Elgurított labda: folyamatosan lassul.
- Zuhanó zongora: folyamatosan gyorsul.
- Rakéta a Földről a Marsra: gyorsul, halad, lassít.
- Ilyen interpolációra használhatunk:
 - Gyök függvényt.
 - Másodfokú függvényt.
 - Logisztikus függvényt/görbét.
- Gyakorlatban: Bézier görbe

Polinom interpoláció

- n kulcspontra fel tudunk írni $n - 1$ -ed fokú polinomot.
- Interpolációs polinom: minden kulcskockában az előírt értéket veszi fel.
- Együtthatók számíthatók Lagrange interpolációval.
- A lineáris interpoláció a Lagrange interpoláció speciális esete $n = 2$ -re.

Spline interpoláció

- A polinom interpolációval kapott fv. magas fokszám esetén a szomszédos pontok között "hullámzik", így elrontja az animációt.
- Spline interpoláció: használjunk több, egymáshoz kapcsolódó, alacsony fokszámú polinomot az interpolációhoz!



Pálya animáció

- Egy objektum mozgását megadhatjuk a bejárando pálya megadásával is.
- A pályát egy 3D görbével adjuk meg.
- A model ezen a görbén halad végig.

Orientáció megadása

- Hogyan adjuk meg az objektumunk orientációját?
- Egy *előre*, és egy *felfele* irány egyértelműen meghatározza ezt.
- *Megjegyzés: v.ö. kamera esetén center-eye ill. up vektorok*
- Ha a pályagörbe differenciálható, akkor az megadja a sebességvektort minden időpillanatban.
- A sebességvektor mindig előre fele mutat.

Orientáció megadása

- A *felfele* irány megadására két lehetőségünk is van.
- Ha van egy természetes *felfele*, akkor használjuk azt. (Mindennél, ami nem ből be a kanyarban.)
- Ha ez az irány is változik, akkor ez megegyezik a gyorsulás irányával, azaz a pályagörbe második deriváltjának irányával.

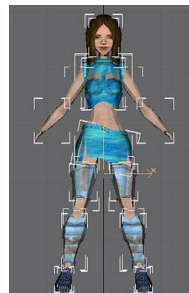
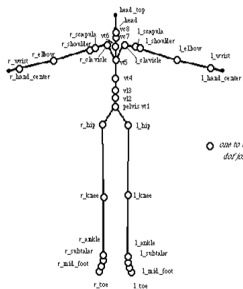
Tartalom

- 1 Animáció
- 2 Animálható tulajdonságok
- 3 Animáció típusok
- 4 Hierarchikus rendszerek
 - Előrehaladó kinematika
 - Inverz kinematika

Hierachikus rendszerek

- Egy gyerek objektum mozgását a szülőhöz viszonyítva adjuk meg.
- Gyerekeknek lehetnek újabb gyerekei, s.i.t.
- Hierachikus rendszert – fát – kapunk.

Példa: Emberi test



Kényszerek (*constraints*)

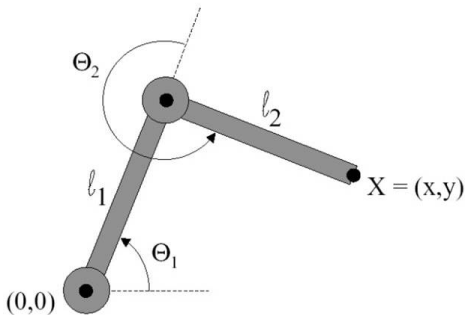
- Nem minden mozgást szeretnénk megengedni a szülőhöz képest.
- Ezeket a megszorításokat írhatjuk le *kényszerekkel*.
- Korlátozhatjuk a szabadságfokokat: pl. könyök csak egy tengely mentén tud forogni, de a csukló kettő
- Vagy a tartományokat: kevesen bírják, ha a fejük 90° -nél többet fordul.

Előrehaladó kinematika

- Végállapotot határozunk meg az állapotváltozók függvényében.
- Szimulációkhoz jól használható.
- Minden elemre megadjuk, a hozzá tartozó transzformációt.
- Ezeket a hierarchiában felülről lefele haladva értékeljük ki.
- Az adott elemhez tartozó transzformáció az összes ő és a saját transzformáció szorzata.

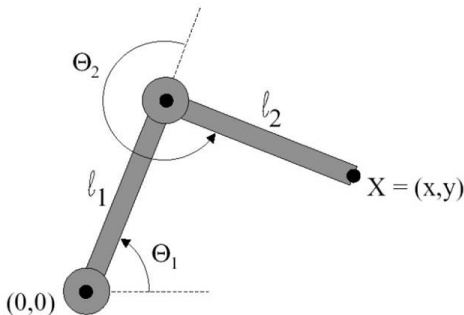
Példa

- Kétszabadságfokú, rotációs csuklókat tartalmazó rendszer.
- A csuklók csak a Z tengely körül fordulnak.



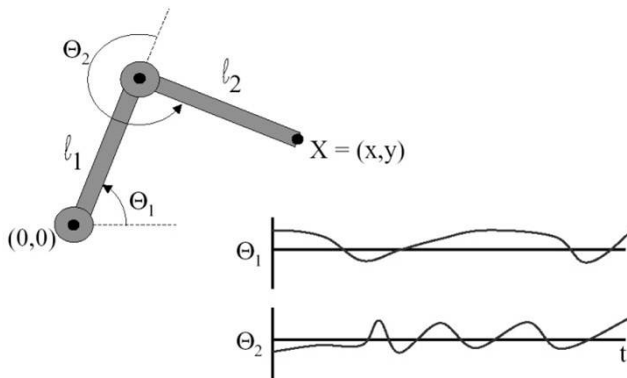
Példa – folyt.

- Állapotváltozók: Θ_1, Θ_2
- A végberendezés (X) pozícióját a gép számolja.
- $X = (l_1 \cos \Theta_1 + l_2 \cos(\Theta_1 + \Theta_2), l_1 \sin \Theta_1 + l_2 \sin(\Theta_1 + \Theta_2))$



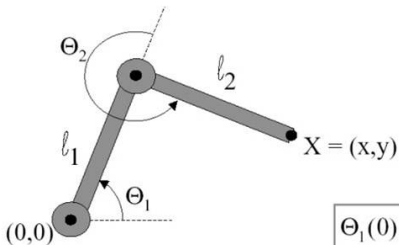
Példa – folyt.

- Az állapotváltozókat megadhatjuk (pl. spline) függvénnyel.



Példa – folyt.

- Az állapotváltozókat megadhatjuk kezdeti értékkel és sebességgel.



$$\Theta_1(0) = 60^\circ \quad \Theta_2(0) = 250^\circ$$

$$\frac{d\Theta_1}{dt} = 1.2 \quad \frac{d\Theta_2}{dt} = -0.1$$

Mit nem tud az előrehaladó kinematika?

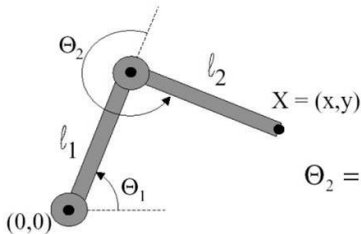
- Az előrehaladó kinematika nem használható, ha a strukturális összefüggés erősen nemlineáris
- Hiába interpolálunk egyenletesen az állapottérben, a végberendezés vadul kalimpálhat a kulcspontok között
- Problémás esetek:
 - Láb mozgása a talajon
 - Végállapot jó, de menet közben a berendezés részei átmehetnek egymáson.

Inverz kinematika

- Az inverz kinematika a kritikus végberendezés helyzetét interpolálja, majd az állapotváltozók értékét végberendezés interpolált helyzetéből számítja vissza.
- Az inverz kinematika másik neve a cél-orientált animáció.
- *"Ezt szeretném megfogni, hogyan forgassam az ízületeimet?"*

Példa

- A végberendezés helyzetéből visszaszámoljuk az állapotváltozók értékét.



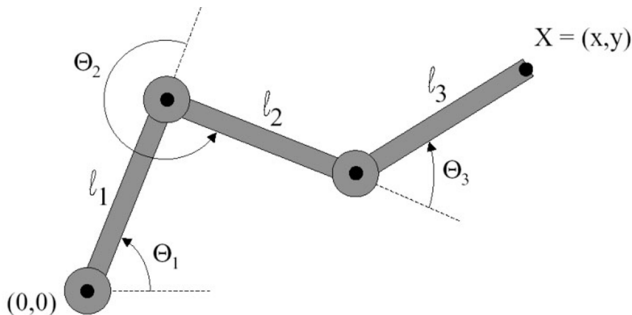
$$\Theta_2 = \cos^{-1} \left(\frac{x^2 + y^2 - l_1^2 - l_2^2}{2l_1 l_2} \right)$$

Problémák

- Nehéz "természetesnek látszó" mozgást leírni vele.
- Az inverz függvény kiszámítása nem triviális,
- és nem is egyértelmű (redundancia).

Példa

- Egyenletek száma: 2, ismeretlen változók száma: 3 \Rightarrow Végtelen sok megoldás!
- Rendszer DOF $>$ végberendezés DOF
- Az emberi csontváz kb 70 DOF!



Példa

Nem egyértelmű, ill. nem létező megoldás

