



DCGI

KATEDRA POČÍTAČOVÉ GRAFIKY A INTERAKCE

Herní Fyzika

Jiří Bittner

Obsah přednášky

- Úvod do herní fyziky *GAE 12.1-12.2*
- Detekce kolizí *GAE 12.3*
- Dynamika tuhých těles *GAE 12.4-12.5*
- Pokročilá herní fyzika *GAE 12.6*

Herní fyzika - Úvod

- Pohyb a interakce v čase (působení sil)
 - Dynamika tuhých těles
 - Deformovatelná tělesa
 - Šaty, látky
 - Částicové systémy
 - Fluidní mechanika
- Výstup: složitý a “chaotický” pohyb (není předpřipravený)

Rigid Body Dynamics Demo

PHYSX GPU RIGID BODY SIMULATION

Herní fyzika - Úvod

- Různé požadavky pro různé herní žánry
 - Fyzikální simulace pomáhá i škodí
 - Hra s příběhem – volná fyz. simulace může narušit příběh
- Fyzika – větší nároky na vývoj, přípravu/výměnu dat, HW
- Fyzika nemusí vždy být real-time
 - Předpočítané animace

Fyzikální simulace

1. Aktualizuj herní objekty (GUI inputs, herní logika)
2. Aktualizuj síly, aplikuj silové impulzy, uprav vazby
3. Simulační krok
 - a) Numerická integrace
 - b) Detekce kolizí
 - c) Nejsou kolize – vyskoč
 - d) Řešení kolizi - vytvoření vazeb, penalizačních síl/impulzů, goto a)
4. Aktualizuj “fyzikální” herní objekty
5. Kolizní dotazy (ray/shape casts, fantomy)
6. Přejdi na vykreslování

Obsah přednášky

- Úvod do herní fyziky *GAE 12.1-12.2*
- Detekce kolizí *GAE 12.3*
- Dynamika tuhých těles *GAE 12.4-12.5*
- Pokročilá herní fyzika *GAE 12.6*

Detekce kolizí

- Využití
 - Fyzikální simulace (nejnáročnější klient)
 - Herní logika, uživatelské rozhraní
- Vstup: n 3D objektů (kolizních těles)
 - geometrie + transformace
- Úkol: detekovat kolize, najít průsečíky
 - kolize ano-ne
 - hloubka průniku, normála ve styčném bode, ...
- Test každý s každým: složitost $O(n^2)$!

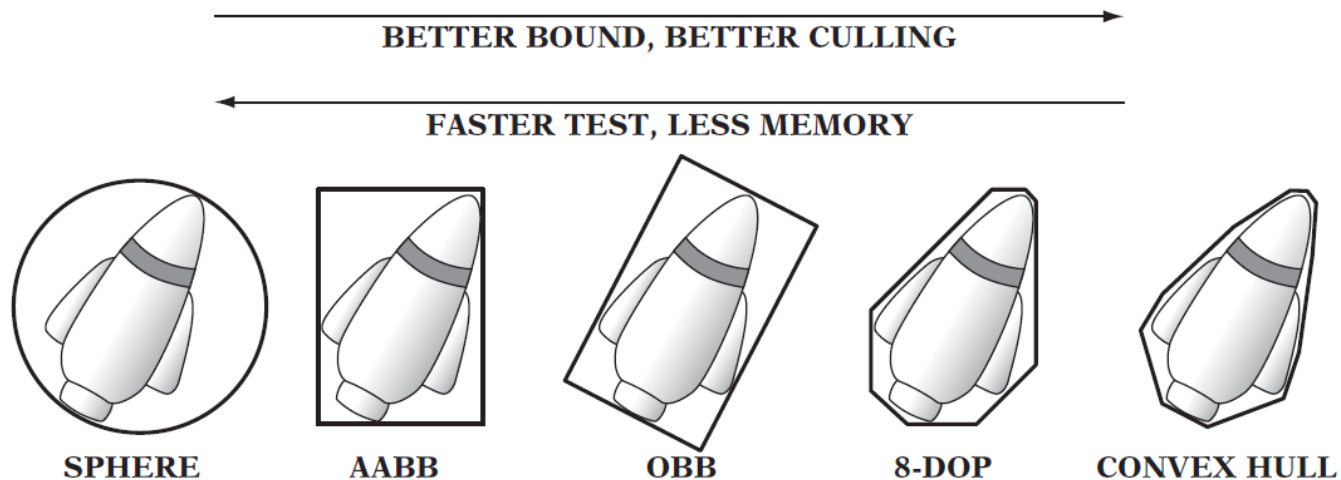
Kolizní tělesa

- Kolizní / obalová tělesa (colliders / bounding volumes)
- Aproximace povrchu pomocí jednoduchých těles
- Rychlý test průniku



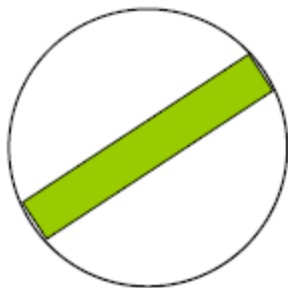
- Příklad: obalíme objekty A, B koulemi S_A a S_B
 - průsečík koulí velice rychlý
 - pokud S_A neprotíná S_B pak nekolidují ani A a B
 - v opačném případě A a B mohou (ale nemusí) kolidovat

Srovnání obalových těles



Koule

- Dána středem a poloměrem
- Velice rychlý výpočet průsečíku
- Většinou ne příliš těsná
- Snadno se aktualizuje
 - Invariantní vzhledem k rotaci

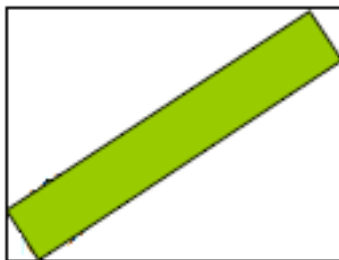


Válec a tažená koule

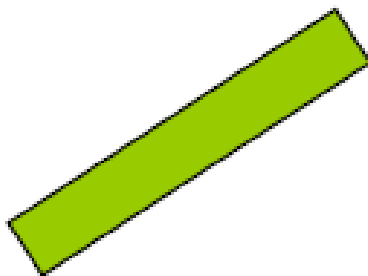
- Válec
 - Aproximace postavy
- Tažená koule (Capsule)
 - Rychlejší na výpočet



- Axis Aligned Bounding Box
 - Osově zarovnaný kvádr
- Obvykle o něco těsnější než koule
- Jednoduchý výpočet minimálního AABB

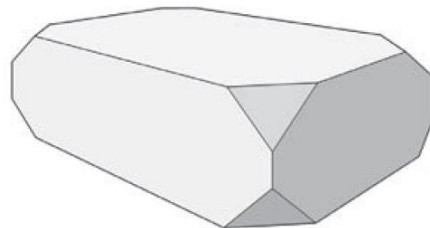


- Oriented Bounding Box
 - obecně natočený kvádr
- Dobré aproximační vlastnosti
- Složitější výpočet kolizí
 - Separation Axis Theorem – 15 os



k-DOP

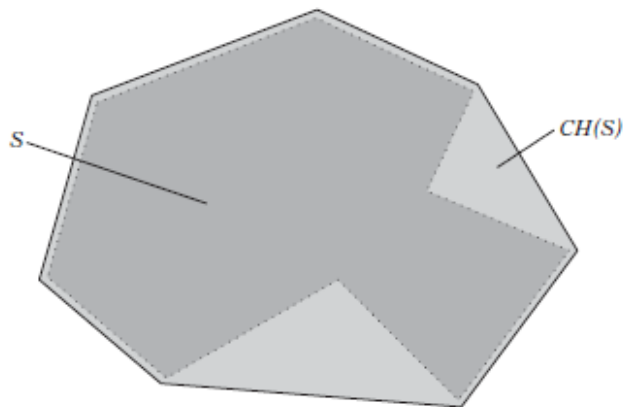
- Discreet oriented polytope
 - orientovaný mnohostěn
- Zadán množinou $k/2$ jednotkových vektorů $d_1, \dots, d_{k/2}$
- Normály stěn: $d_1, \dots, d_{k/2}, -d_1, \dots, -d_{k/2}$
- $k=6$: AABB
- $k=14$: zkosené vrcholy
- $k=18$: zkosené hrany
- $k=26$: zkosené vrcholy i hrany



14-DOP

Konvexní obálka

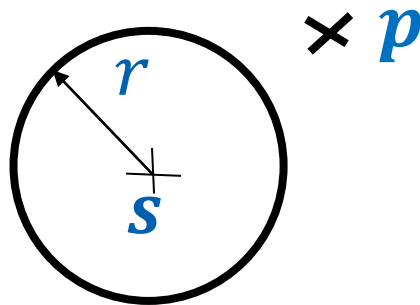
- Nejmenší možné konvexní obalové těleso
- Test průniku náročnější (GJK algoritmus)



Příklad 1: Koule vs Bod

- Koule: $[s_x, s_y, s_z], r$
- Bod: $[p_x, p_y, p_z]$
- Bod uvnitř koule:

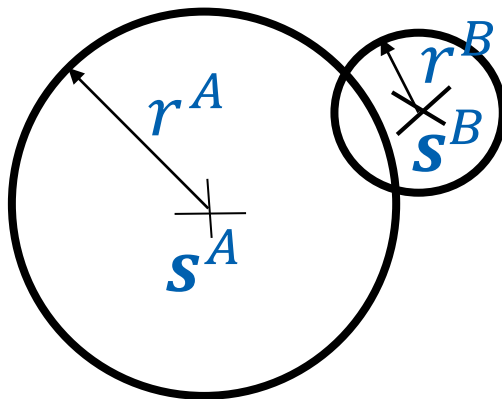
$$(p_x - s_x)^2 + (p_y - s_y)^2 + (p_z - s_z)^2 < r^2$$



Příklad 2: Koule vs Koule

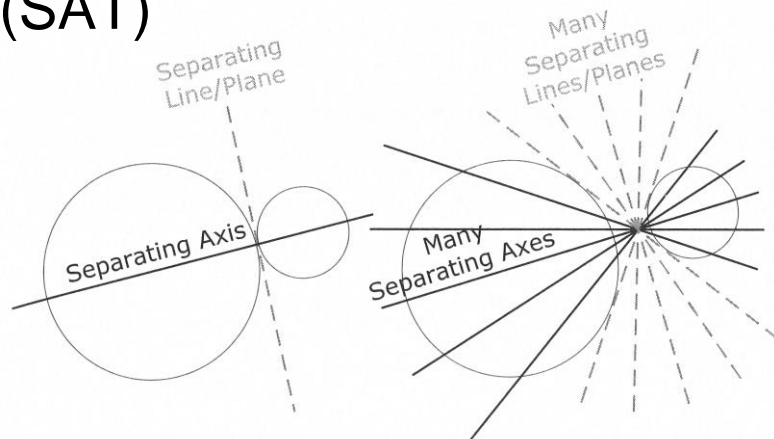
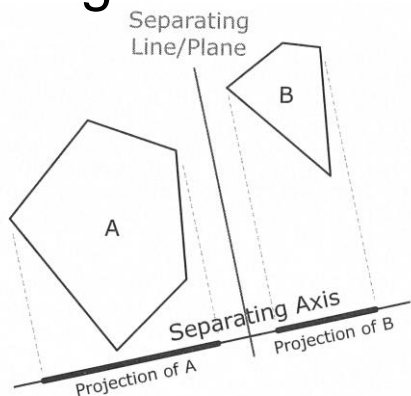
- Koule A: $[s_x^A, s_y^A, s_z^A], r^A$
- Koule B: $[s_x^B, s_y^B, s_z^B], r^B$
- Koule v kolizi:

$$(s_x^A - s_x^B)^2 + (s_y^A - s_y^B)^2 + (s_z^A - s_z^B)^2 < (r^A + r^B)^2$$



Separační roviny

- Vyloučení kolize \Leftrightarrow nalezení separační roviny (osy)
- Separating Axis Theorem (SAT)



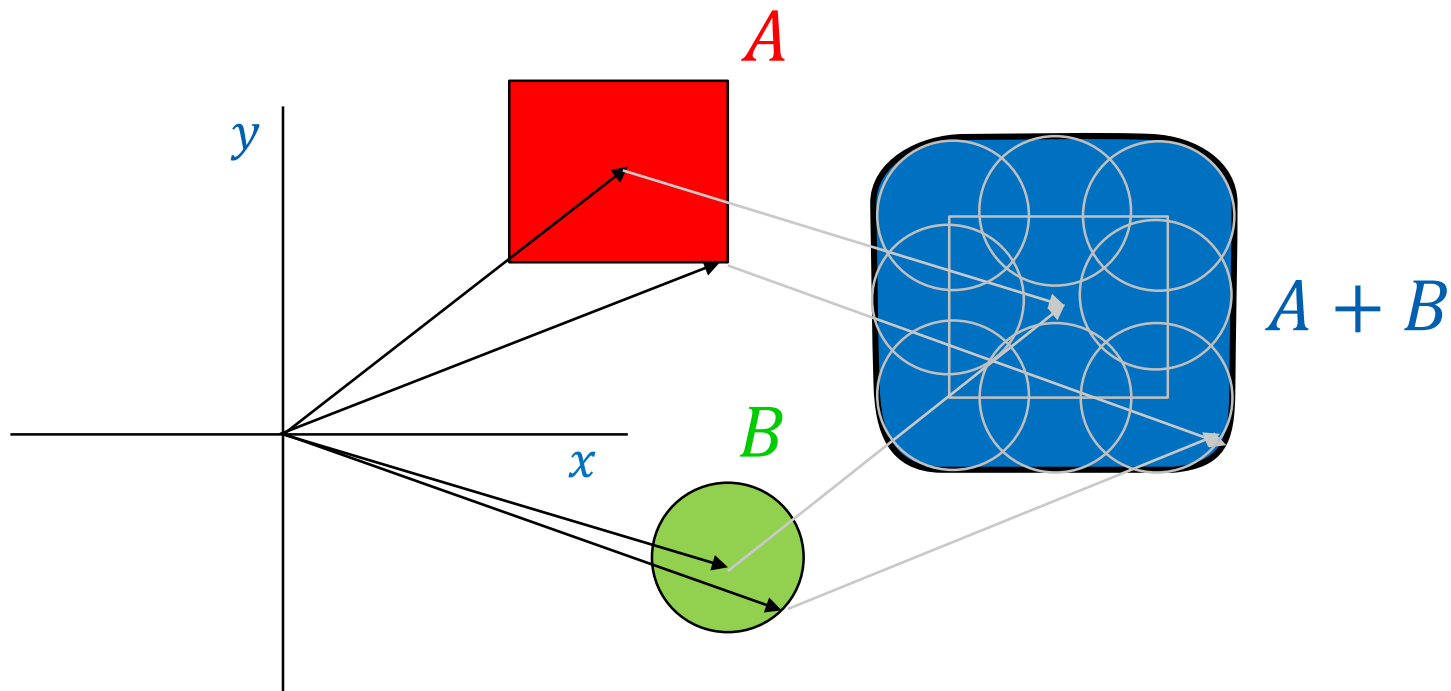
- Počet testovaných os
 - AABB/AABB – 3 osy
 - OBB/OBB – 15 os
 - k-dop/k-dop – k os

GJK algoritmus

- Gilbert–Johnson–Keerthi 1988
- Obecný algoritmus pro *konvexní polyhedrony*
 - Test zda Minkowského rozdíl polytopů obsahuje počátek
- Procházení dvojic vrcholů polyhedronů
- Vytváření části polyhedronu reprezentující Minkowského rozdíl
 - Nemožnost rozšíření směrem k počátku: není kolize
 - Počátek v rozdílu: kolize nalezena

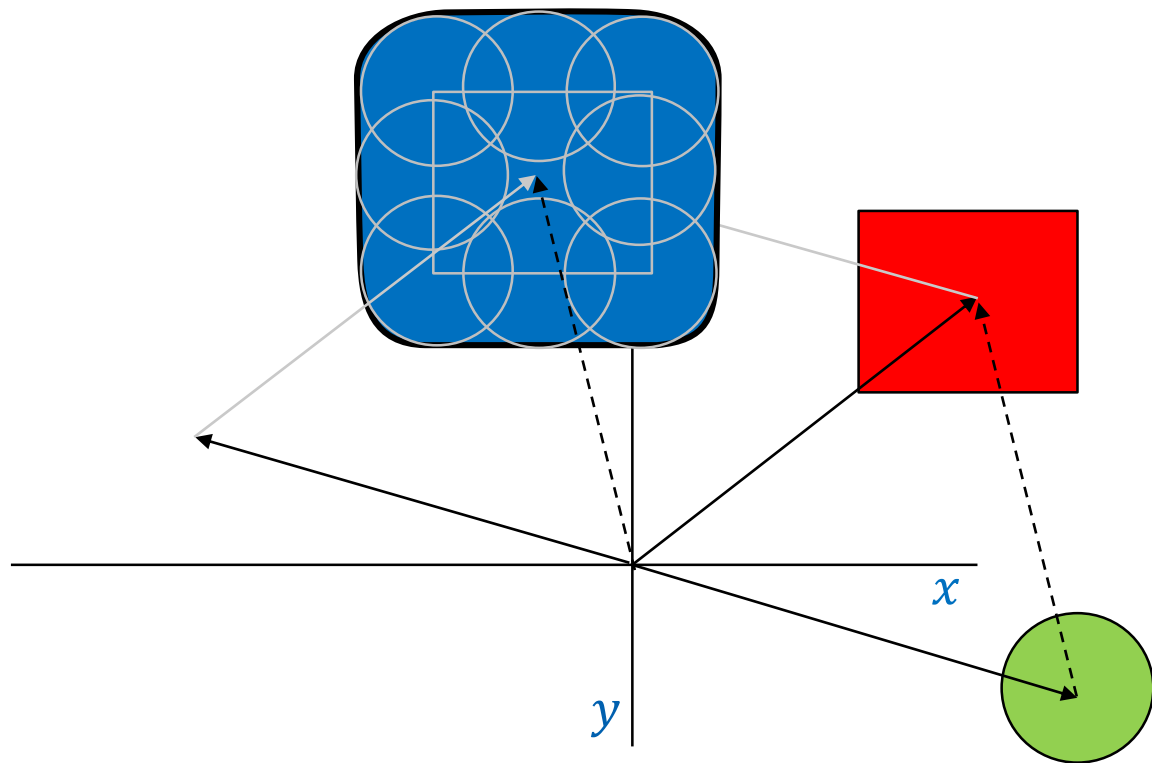
Gilbert et al. A fast procedure for computing the distance between complex objects in three-dimensional space. IEEE Journal on Robotics and Automation (Volume: 4, Issue: 2, Apr 1988)

Minkowského součet



$$A + B = \{a + b \mid a \in A, b \in B\}$$

Minkowského rozdíl – není kolize

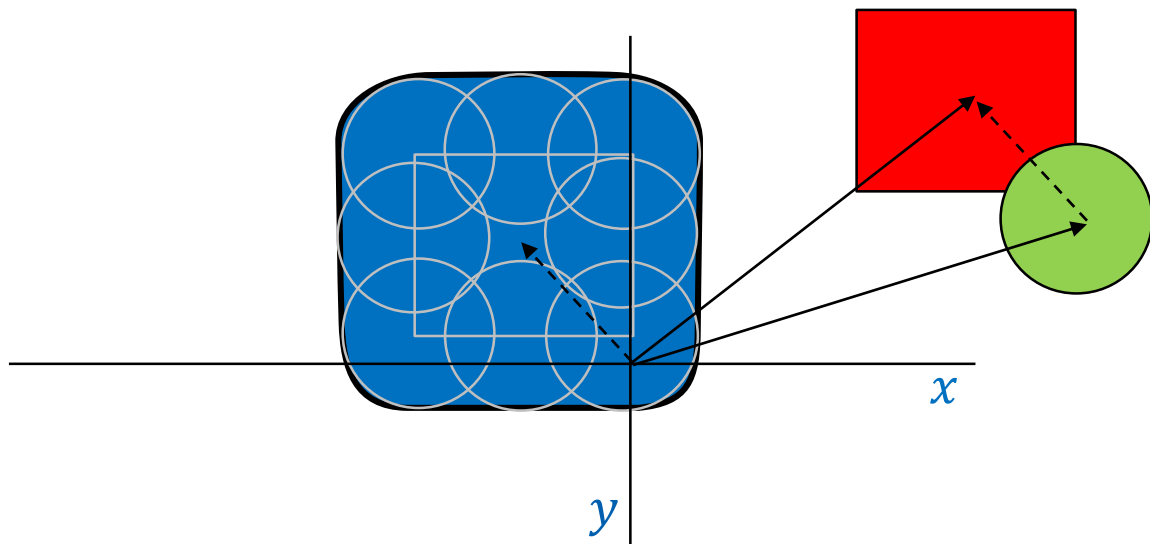


$$A - B = \{a - b \mid a \in A, b \in B\}$$

Minkowského rozdíl – je kolize

C. Muratori vysvětlení algoritmu

video (50 minut) <https://mollyrocket.com/849>



$$A - B = \{a - b | a \in A, b \in B\}$$

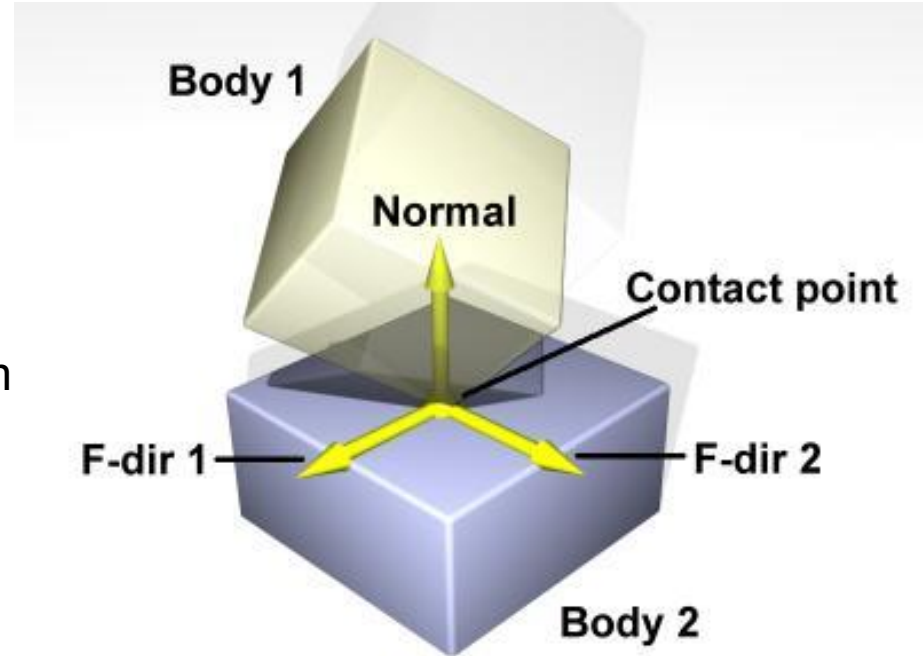
Metody výpočtů průsečíků

- T. Akenine-Moller, E. Haines, N. Hoffman. Real-Time Rendering.
- Matice metod pro výpočet průsečíků

<http://www.realtimerendering.com/intersections.html>

Výstup detekce kolizí

- True/false
- Body průniku / kontaktu
 - Kolizní objekty
 - Pozice
 - Vzdálenost (+/-)
 - Normála, lokální souřadnicový systém



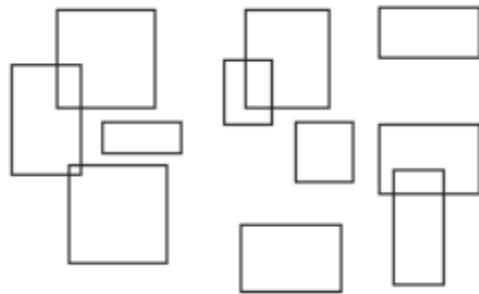
Urychlení detekce kolizí

- Typická situace
 - Mnoho objektů, ale pouze několik málo párů koliduje
- Rozdělení detekce do více fází !

Fáze detekce kolizí

1. Široká fáze (broad phase)

- konzervativní testy
- najde skupiny těles které spolu mohou kolidovat
- rychle oddělí ty, které určitě nekolidují
- akcelerační struktury

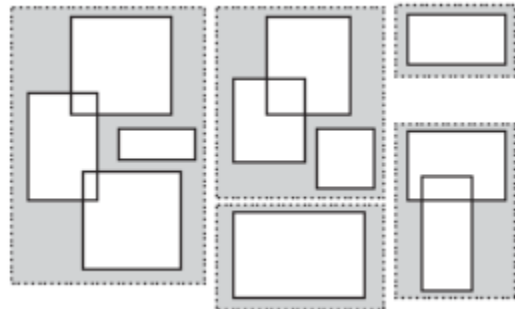


2. Filtrování kolizí

- Vrstvy
- Kolizní maska

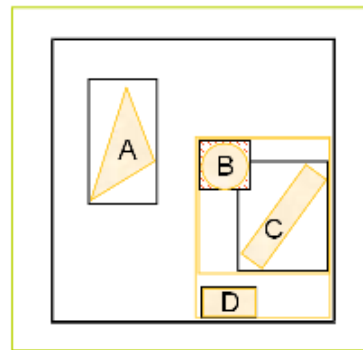
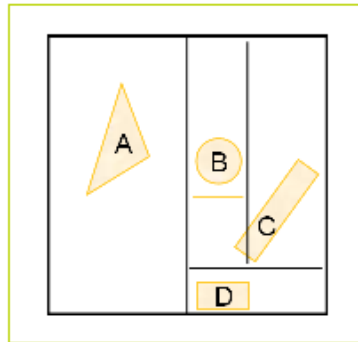
3. Úzká fáze (narrow phase)

- přesný výpočet pro dvojice objektů (colliders)



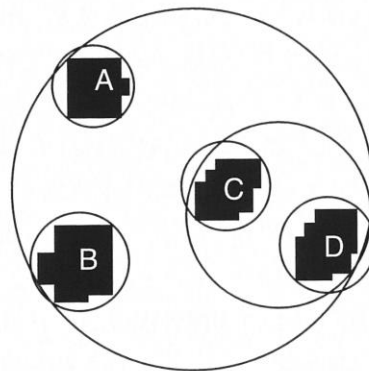
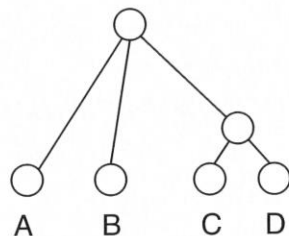
Akcelerační struktury

- Hlavně pro širokou fázi
 - Použitelné i pro úzkou fázi
- Vyhledávání v logaritmickém čase
- Nejdříve postavit a pak traverzovat
- Dělicí objekty
 - Hierarchie obálek (Bounding Volumes Hierarchy)
- Dělicí prostor
 - Mřížka
 - Octree
 - kd-tree
 - BSP



Hierarchie obálek

- Strom
- Každý uzel má obálku a n potomků
 - n-ární hierarchie

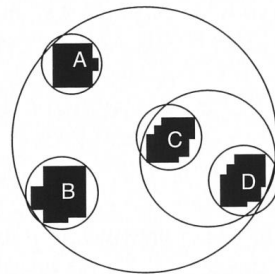
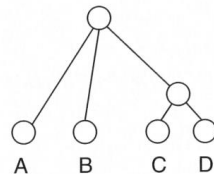
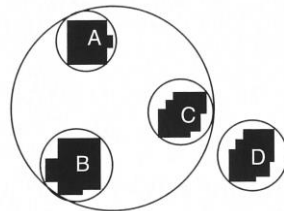
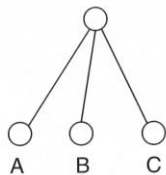
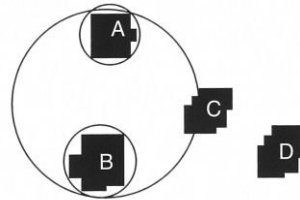
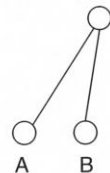
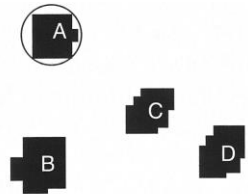


- Základní algoritmus (detekce všech možných kolizí)
 - Uzel A/B nekoliduje – ukonči větev
 - Jinak dej všechny páry potomků na zásobník

Hierarchie obálek

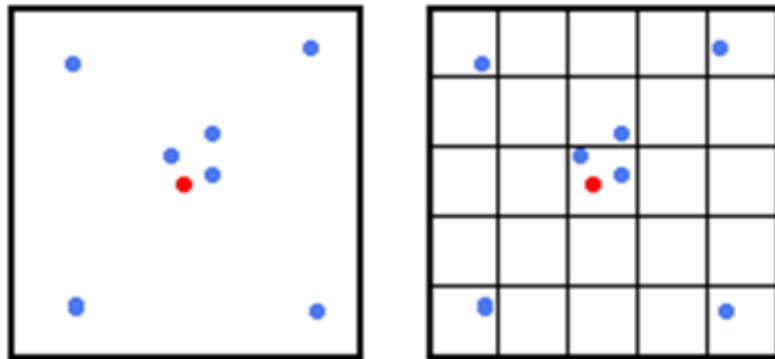
■ Stavba

- Inkrementální (vkládání)
- Shora dolů (dělení)
- Zdola nahoru (slučování)



Mřížka

- Dělení prostoru na buňky
- V každé buňce seznam objektů, který jí protíná
 - Na velké objekty reference z mnoha buněk
- V konstantním čase zjistíme ve které jsme buňce

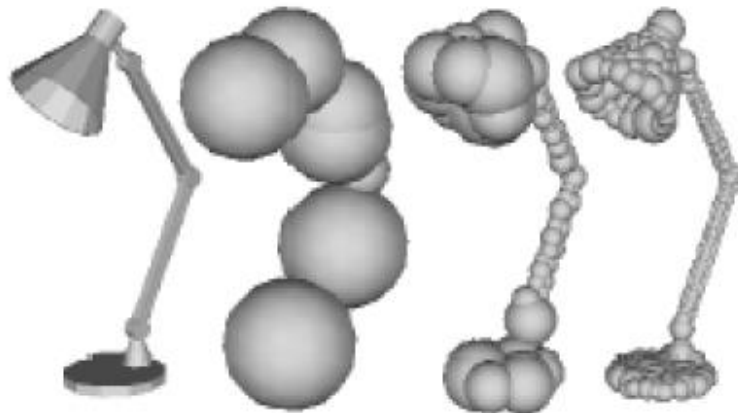


Aktualizace akceleračních struktur

- Možnost změny objektu v čase
 - např. animované postavy, hroutící se budovy
- Přestavět akcelerační strukturu může být pomalé
- Řešení
 - Zachovat původní strom, ale aktualizovat obalová tělesa
 - BVH refit
 - Přepočítat jen některé části stromu
 - Pro rigidní objekty použít předpřipravenou hierarchii
 - Seznam hierarchií
 - Mřížka hierarchií
 - Hierarchie hierarchií

Časově kritická detekce kolizí

- Raději nepřesné než opožděné výsledky
 - výpočetní čas detekce kolizí často kolísá
 - záleží na geometrické složitosti průniku
- Časově kritický algoritmus
 - výpočet lze přerušit a algoritmus vydá co nejpřesnější odpověď

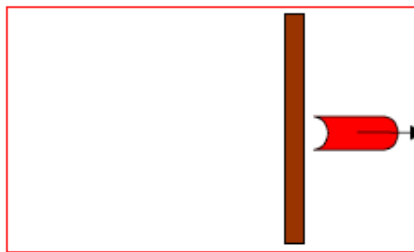
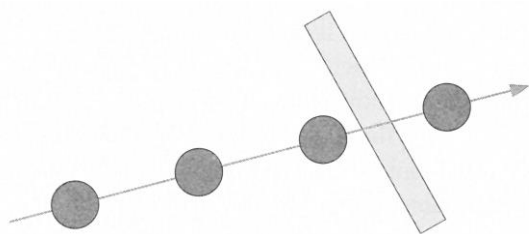


Časově kritická detekce kolizí - algoritmus

- Nejdříve detekovat kolize **párů** kořenových obálek
 - if (kolize) uložit páry potomků do *prioritní fronty* (podle velikosti)
 - pokud je čas, tak zpřesnit
- Skončí buď prerušením, nebo dosažením poslední úrovně

Spojitá detekce kolizí

- Diskrétní (statická) detekce: *statický* “snímek” scény
 - nestačí pro rychle se pohybující se objekty



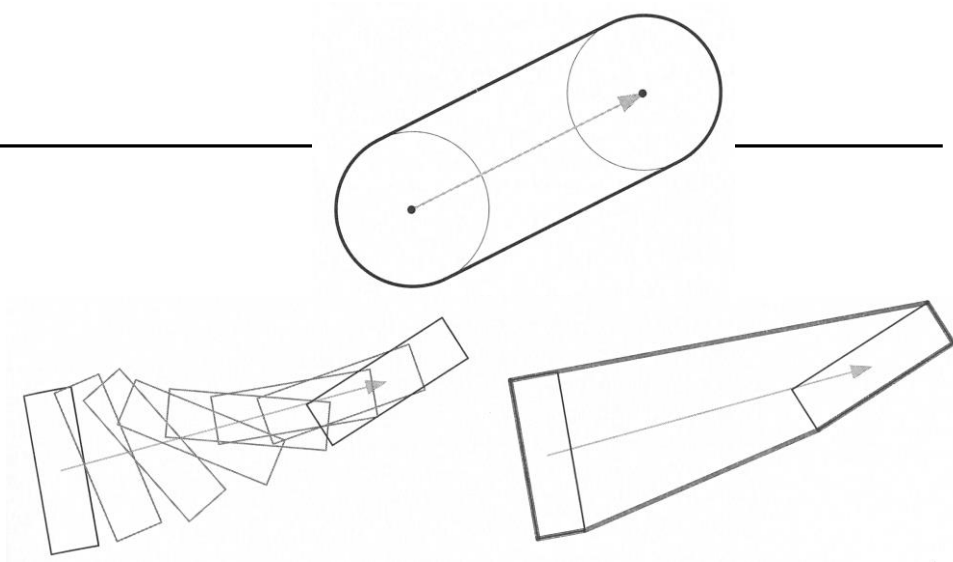
bullet through paper
problem

- Spojitá (dynamická): uvažuje *pohyb* i mezi snímky
- Problém: nalézt první okamžik kontaktu

Spojité detekce kolizí

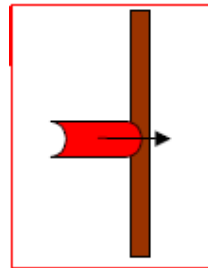
■ Tažená kolizní tělesa

- Model pohybu mezi snímky
- Intervalová aritmetika

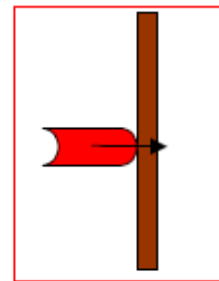


■ Psedo-spojité detekce

- diskrétní detekce po krátkých intervalech
- Δt pomocí horního odhadu rychlosti tělesa
- binární hledání v čase 0 až T pro přesný čas kontaktu



Hledání kolize



Přesný čas kontaktu

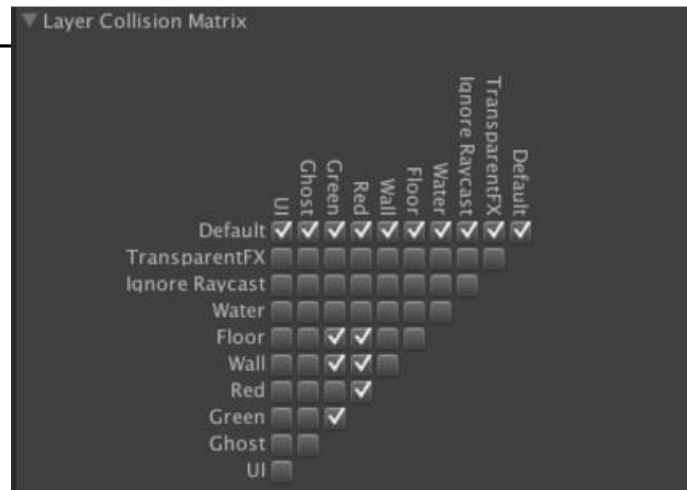
Pseudo-spojité detekce kolizí – Příklad



Simulátor Hannover Messe 2000

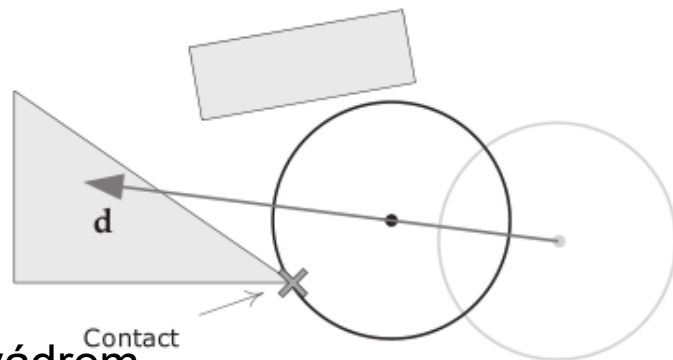
Filtrování kolizí

- Povolení / zakázání některých kolizí
 - Bitová maska
- Kolizní vrstvy
 - Maska vrstev pro každý objekt (Havok)
 - Collision matrix (Unity)
- Callbacks
 - AddContactPoint – herní logika může kontakt zrušit
- Kolizní materiály
 - Materiál (textura) nese informaci o fyz. / kolizních vlastnostech
 - Včetně např. informace o zvuku kolize



Kolizní dotazy

- Kolize dynamických objektů
 - Detekce všech kolizí - napojení na fyzikální engine
 - Odpověď na kolizi
- Vrhání paprsků (Ray cast)
 - Nalezení nejbližšího průsečíku s paprskem
 - Střelba, AI, detekce polohy, kola vozidla, ...
- Vrhání tvarů (Shape cast)
 - Nalezení nejbližších průsečíků s koulí, kapsulí, kvádrem, ...
 - Pohyb postav, plánování cest, polohování kamery, ...



Virtuální objekty

- Fantom (Phantom), Collision trigger
- “Zero distance shape cast”
- Slouží k detekci kolize, ale neovlivňuje scénu
- Příklady
 - Fantom pro kameru
 - Aktivace události (trigger) při vstupu do místnosti

Detekce kolizí v Unity

- Collider component
 - Sphere, Capsule, Box, Mesh, Wheel, Terrain, Hierarchy
- Events
 - OnCollisionEnter, OnCollisionStay, OnCollisionExit
 - Collision info
- Phantoms
 - IsTrigger
 - OnTriggerEnter, OnTriggerStay, OnTriggerExit
- Physics.Raycast
 - Debug.DrawRay
- 2D verze kolizí (i fyziky)

Praktická doporučení

- Různé reprezentace objektů scény (herní, kolizní, vizuální)
- Používat konvexní objekty, kolekce konvexních objektů
- Pokud není nutné nepoužívat “meshe” pro kolize
- Dělení na statickou a dynamickou část scény
- Filtrování: označit jaké kolize vyšetřovat (co s čím)

Obsah přednášky

- Úvod do herní fyziky *GAE 12.1-12.2*
- Detekce kolizí *GAE 12.3*
- Dynamika tuhých těles *GAE 12.4-12.5*
- Pokročilá herní fyzika *GAE 12.6*

Fyzikální simulace

1. Aktualizuj herní objekty (GUI inputs, herní logika)
2. Aktualizuj síly, aplikuj silové impulzy, uprav vazby
3. Simulační krok
 - a) Numerická integrace
 - b) Detekce kolizí
 - c) Nejsou kolize – vyskoč
 - d) Řešení kolizí - vytvoření vazeb, penalizačních síl/impulzů, goto a)
4. Aktualizuj “fyzikální” herní objekty
5. Kolizní dotazy (ray/shape casts, fantomy)
6. Přejdi na vykreslování

Fyzikální simulace

1. Aktualizuj herní objekty (GUI inputs, herní logika)
2. Aktualizuj síly, aplikuj silové impulzy, uprav vazby
3. Simulační krok
 - a) Numerická integrace
 - b) Detekce kolizí
 - c) Nejsou kolize – vyskoč
 - d) Řešení kolizí - vytvoření vazeb, penalizačních síl/impulzů, goto a)
4. Aktualizuj “fyzikální” herní objekty
5. Kolizní dotazy (ray/shape casts, fantomy)
6. Přejdi na vykreslování

Dynamika tuhých těles

- Vypočítat jak síly ovlivňují tělesa
- A jak tělesa reagují na kolize
- Fyzikální objekty úzce svázány s kolizními
 - např. ve PhysX totožné objekty

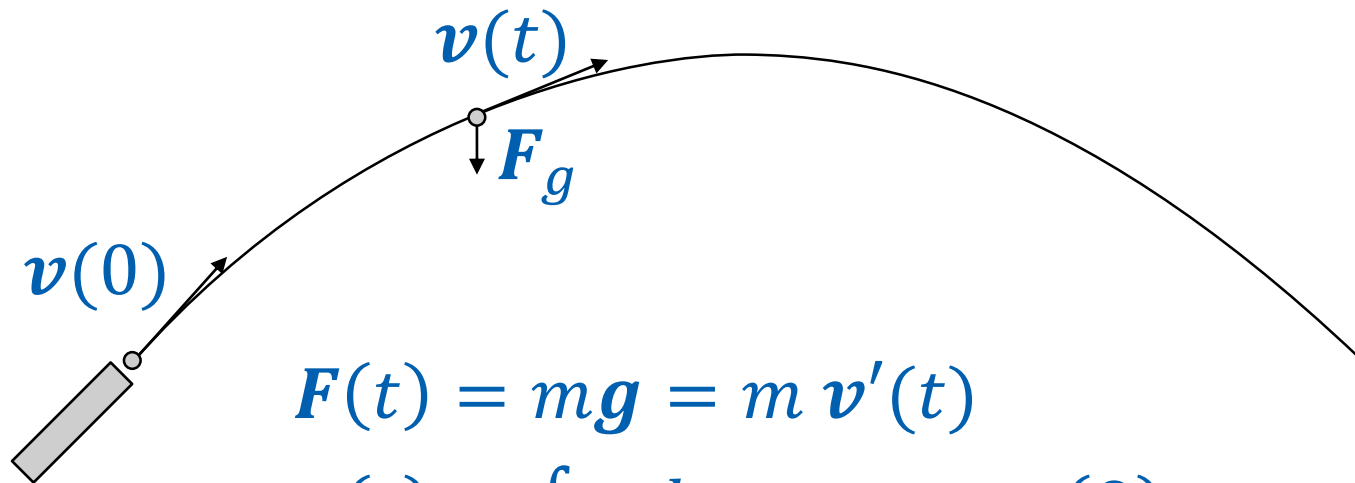
Pohybová rovnice

- Newtonovy pohybové zákony (Isaac Newton 1687)
 - 1. Zákon (setrvačnosti)
 - **2. Zákon (síly)**
 - 3. Zákon (akce a reakce)

$$\begin{aligned} \mathbf{F}(t) &= m \mathbf{a}(t) = m \frac{d\mathbf{v}(t)}{dt} = m \frac{d^2\mathbf{r}(t)}{dt^2} \\ &= m \mathbf{v}'(t) = m \mathbf{r}''(t) \end{aligned}$$

- Diferenciální rovnice
 - Analytické řešení
 - Numerické řešení

Příklad: Letící střela, analytické řešení

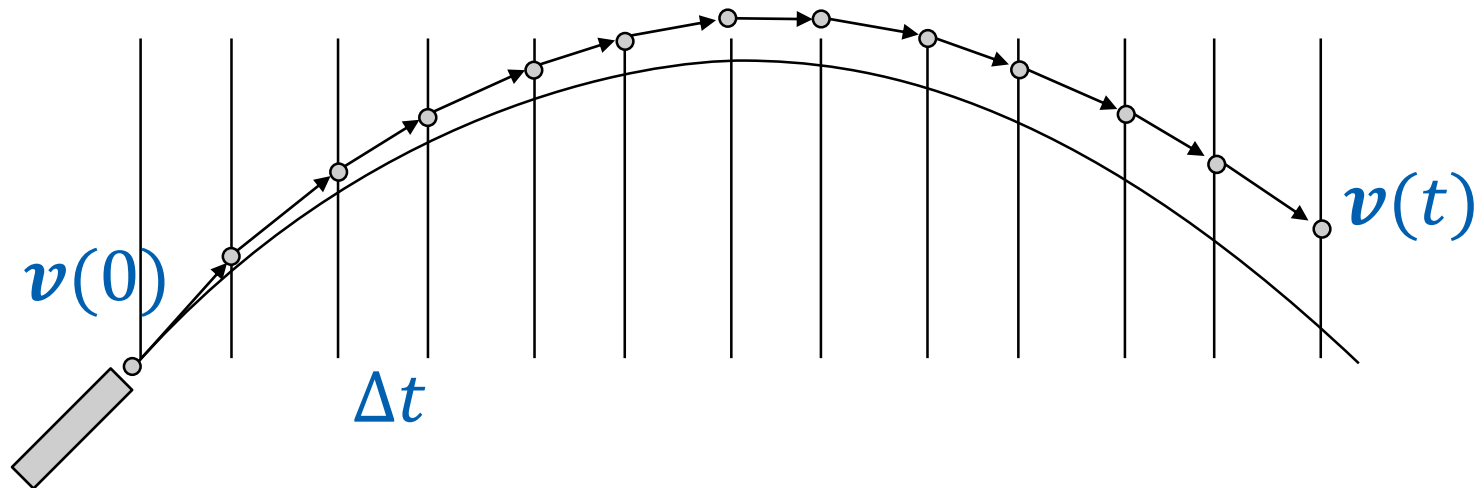


$$F(t) = m\mathbf{g} = m \mathbf{v}'(t)$$

$$\mathbf{v}(t) = \int \mathbf{g} dt = \mathbf{g} t + \mathbf{v}(0)$$

$$\mathbf{r}(t) = \int \mathbf{v}(t) dt = \frac{1}{2} \mathbf{g} t^2 + \mathbf{v}(0)t + \mathbf{r}(0)$$

Příklad: Letící střela, numerické řešení

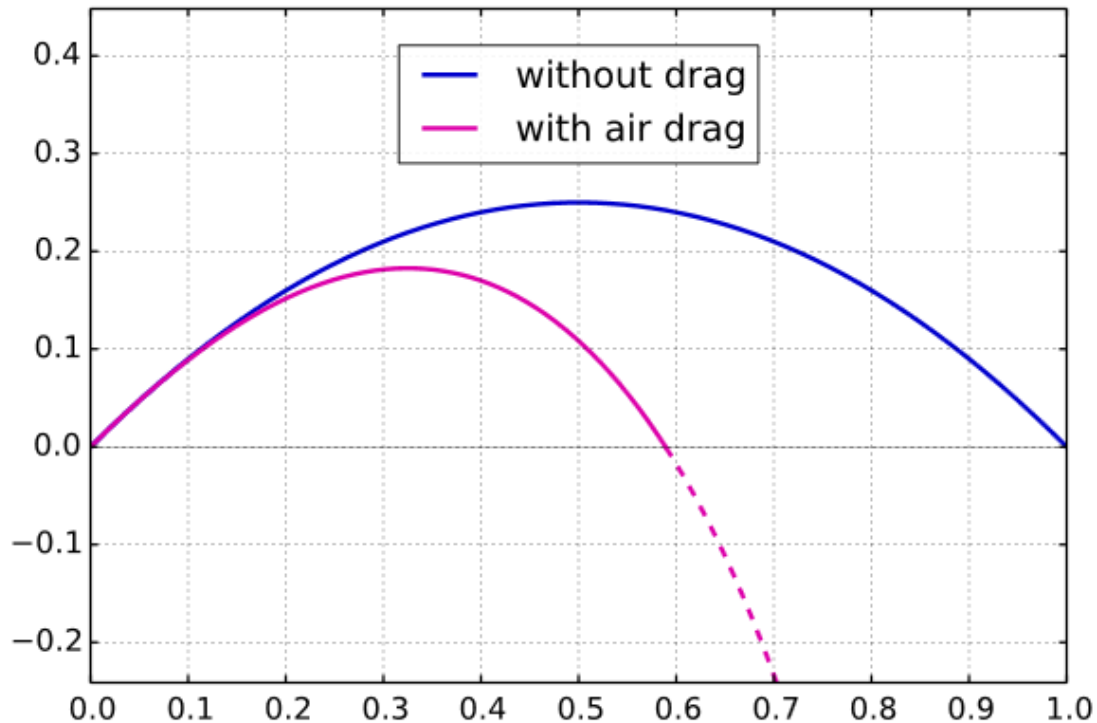


předpoklad ... $v(t)$ je konst. během snímku

$$v(t + \Delta t) = v(t) + g \Delta t$$

$$r(t + \Delta t) = r(t) + v(t)\Delta t$$

Příklad: Letící střela



- Odpor vzduchu

- síla zpomalující střelu závislá na její rychlosti (balistická křivka)

Eulerova metoda

- Explicitní / Dopřená Eulerova metoda

$$r'(t) = v(t)$$

$$v(t + \Delta t) = v(t) + \frac{F(t)}{m} \Delta t$$

$$r(t + \Delta t) = r(t) + v(t) \Delta t$$

předpoklad ... $v(t)$ je konst. během snímku

Verletova metoda

$$r(t + \Delta t) = 2r(t) - r(t - \Delta t) + \frac{F(t)}{m} \Delta t^2$$

$$v(t + \Delta t) = \frac{r(t + \Delta t) - r(t)}{\Delta t}$$

■ Odvození

- Součet Taylorových řad pro $r(t - \Delta t)$, $r(t + \Delta t)$, zanedbání polynomů vyšších stupňů *Viz GAE 12.5*

Rychlostní Verletova metoda (Velocity Verlet)

$$r(t + \Delta t) = r(t) + v(t)\Delta t + \frac{1}{2}a(t)\Delta t^2$$

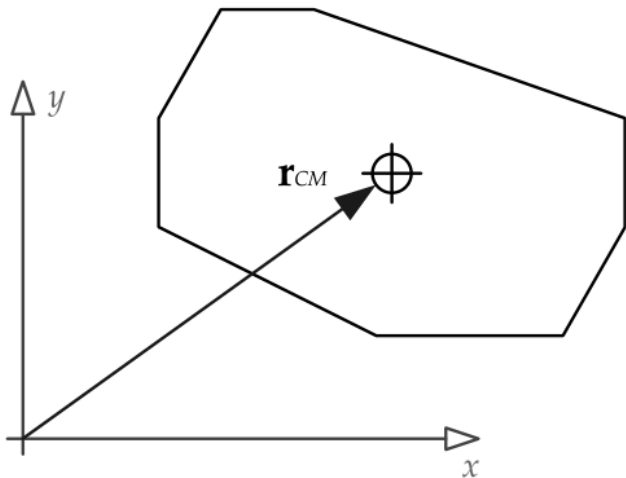
$$v\left(t + \frac{1}{2}\Delta t\right) = v(t) + \frac{1}{2}a(t)\Delta t$$

$$a(t + \Delta t) = \frac{1}{m}F(t + \Delta t, r(t + \Delta t))$$

$$v(t + \Delta t) = v\left(t + \frac{1}{2}\Delta t\right) + \frac{1}{2}\frac{F(t + \Delta t)}{m}\Delta t$$

Dynamika ve 3D

- Separace lineárního a rotačního pohybu
- Lineární pohyb
 - (lineární) rychlost, lineární momenty, hmotnost
 - Těžiště objektu



$$\mathbf{r}_{CM} = \frac{\sum_{\forall i} m_i \mathbf{r}_i}{\sum_{\forall i} m_i} = \frac{\sum_{\forall i} m_i \mathbf{r}_i}{m}$$

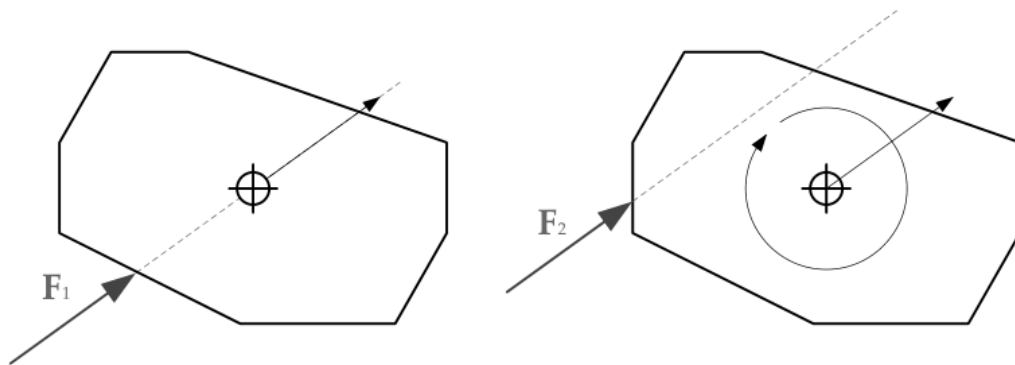
Dynamika ve 3D - Rotační pohyb

úhlová rychlost

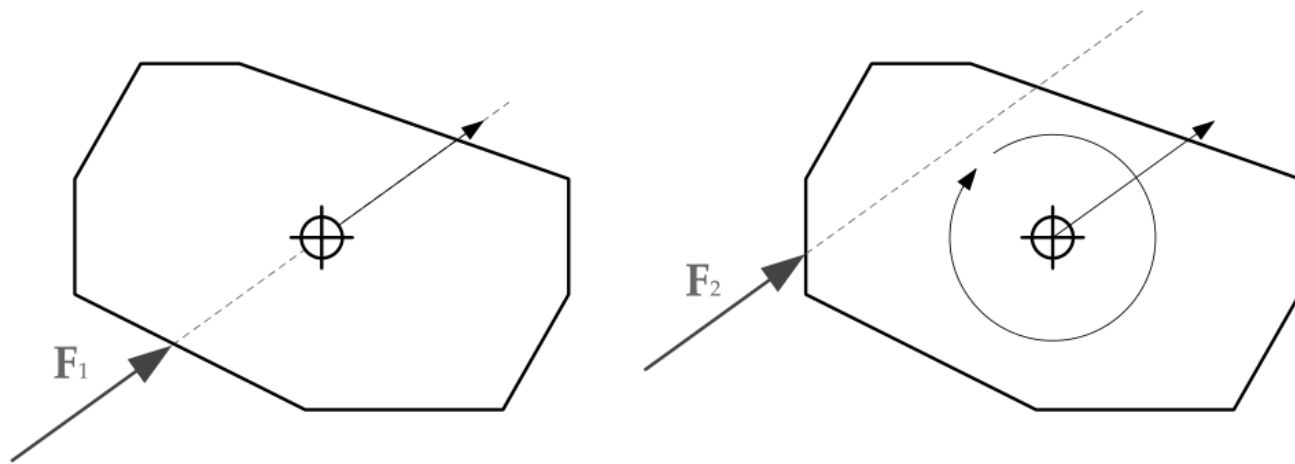
$$\omega(t) = \frac{d\theta(t)}{dt} = \dot{\theta}(t) \quad \left| \quad \mathbf{v}(t) = \frac{d\mathbf{r}(t)}{dt} = \dot{\mathbf{r}}(t) \right.$$

úhlové zrychlení

$$\alpha(t) = \frac{d\omega(t)}{dt} = \dot{\omega}(t) = \ddot{\theta}(t) \quad \left| \quad \mathbf{a}(t) = \frac{d\mathbf{v}(t)}{dt} = \dot{\mathbf{v}}(t) = \ddot{\mathbf{r}}(t) \right.$$



Dynamika ve 3D – Rotační pohyb



moment síly (torque) $\mathbf{M} = \mathbf{r} \times \mathbf{F} = \frac{d\mathbf{L}}{dt}$

\mathbf{L} moment hybnosti

Dynamika ve 3D – Rotační pohyb

moment hybnosti

hybnost

$$\mathbf{L}(t) = \mathbf{I}\boldsymbol{\omega}(t) \quad \bigg| \quad \mathbf{p}(t) = m\mathbf{v}(t).$$

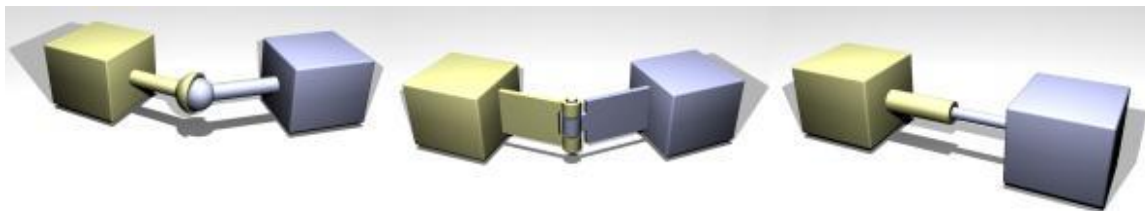
- Úhlová rychlost $\boldsymbol{\omega}(t)$
- Moment setrvačnosti \mathbf{I} (obdoba hmotnosti pro lineární pohyb)
 - Není skalár, ale tenzor (maticové vyjádření)
 - 3 momenty setrvačnosti vzhledem k souřadným osám + deviační momenty

$$\begin{bmatrix} L_x(t) \\ L_y(t) \\ L_z(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} I_{xx} & I_{xy} & I_{xz} \\ I_{yx} & I_{yy} & I_{yz} \\ I_{zx} & I_{zy} & I_{zz} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \omega_x(t) \\ \omega_y(t) \\ \omega_z(t) \end{bmatrix}$$

$$\begin{aligned} I_{xx} &\stackrel{\text{def}}{=} \sum_{k=1}^N m_k (y_k^2 + z_k^2), & I_{xy} = I_{yx} &\stackrel{\text{def}}{=} - \sum_{k=1}^N m_k x_k y_k, \\ I_{yy} &\stackrel{\text{def}}{=} \sum_{k=1}^N m_k (x_k^2 + z_k^2), & I_{xz} = I_{zx} &\stackrel{\text{def}}{=} - \sum_{k=1}^N m_k x_k z_k, \\ I_{zz} &\stackrel{\text{def}}{=} \sum_{k=1}^N m_k (x_k^2 + y_k^2), & I_{yz} = I_{zy} &\stackrel{\text{def}}{=} - \sum_{k=1}^N m_k y_k z_k, \end{aligned}$$

Simulace pohybujících se těles

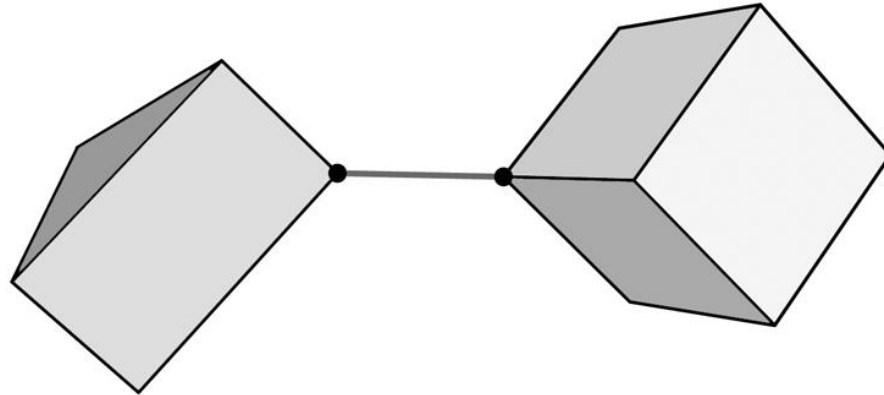
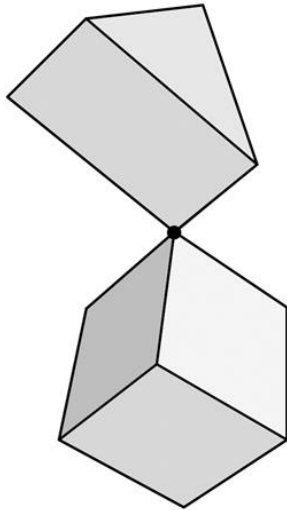
- Mnoho těles a potenciálních interakcí
- Soustava diferenciálních rovnic
- Omezující podmínky = vazby mezi objekty
 - pevné kontakty, klouby, pružiny, panty



- Minimalizace chyby řešení soustavy
 - Iterativní minimalizace (konstantní krok simulace Δt)

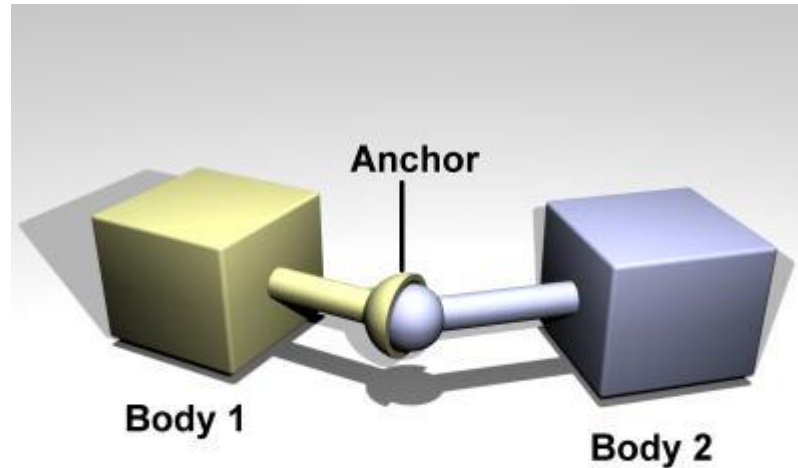
Pevný kontakt

- Vzájemné ukotvení těles
- Ukotvení tělesa v prostoru
- Definice síly při které se kontakt poruší
- Pokud není nutné nahradit jedním tělesem



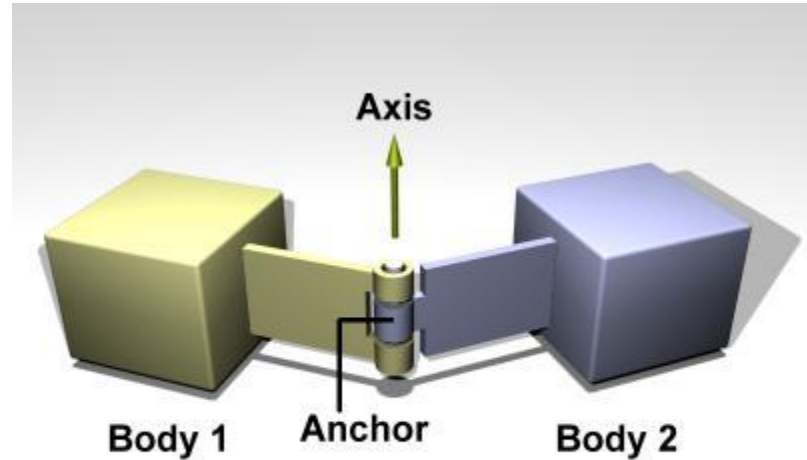
Kloub (ball socket)

- Ukotvení k bodu v prostoru
- Možnost rotace



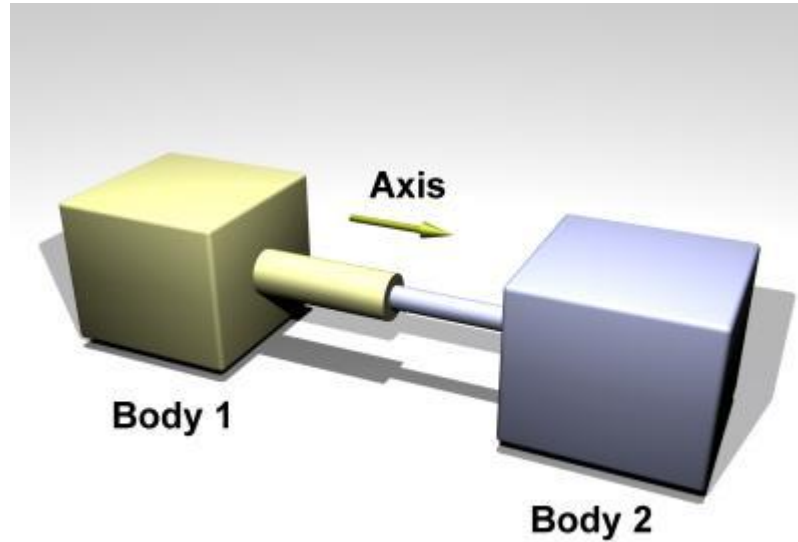
Pant (hinge)

- Kotva
- Osa
- Limity rotace
 - Kolo = pant s neomezenou rotací



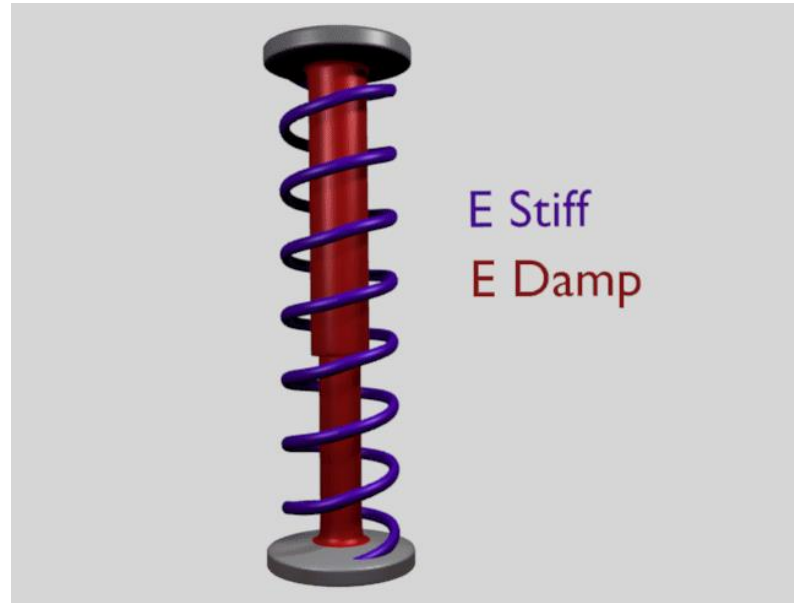
Píst (slider)

- Osa



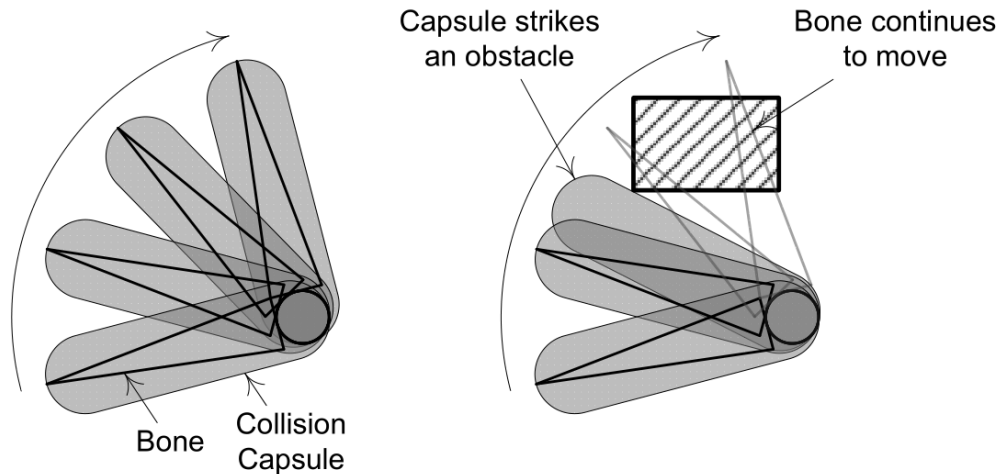
Tlumená pružina

- Tuhost
- Tlumení
- Min – max délka



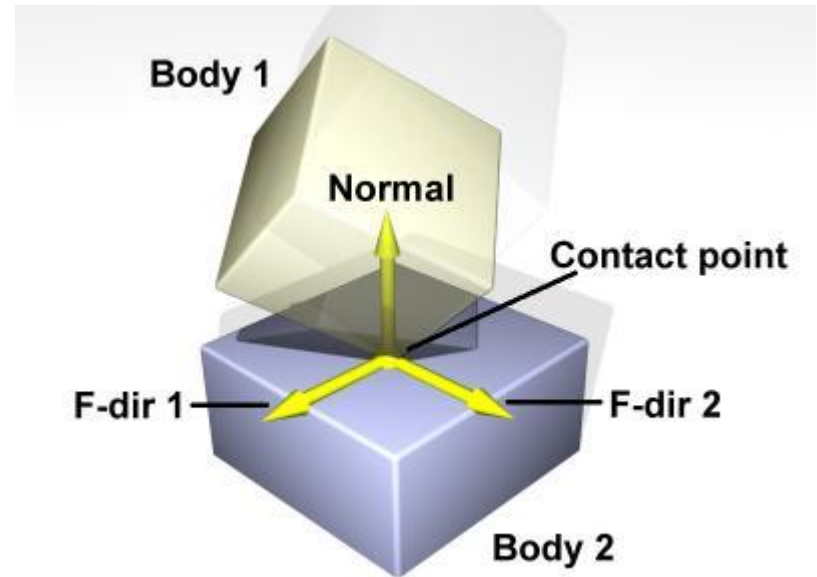
Poháněné vazby

- Ovládání sil působících ve vazbě
- Motory
- Nepřímá animace
 - Ovládání “hadrové panenky” (rag doll)
 - Rotační moment podle rozdílu úhlu snímku animace a aktuální pozice



Kolizní kontakty

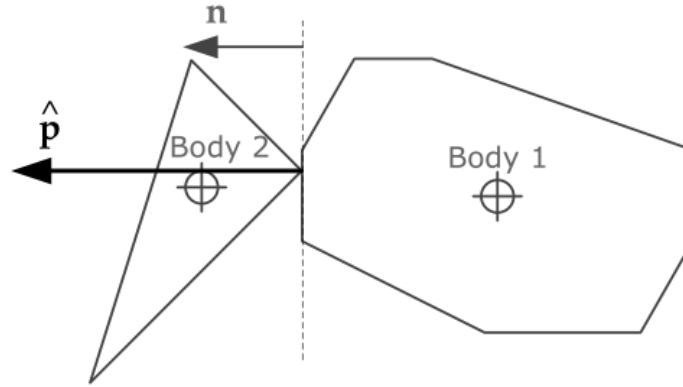
- Dynamicky generované (kolize)
- Generovány i těsně před kolizí
- Normála
- Lokální souřadný systém



Reakce na kolize

- Zákon zachování energie
- Silové impulzy (opačně orientované)
 - Vypočtené z rychlostí kolidujících těles
- Penalizační síly
 - Závislé na hloubce detekované průniku
- Iterativní hledání nekolizní pozice
- Minimalizace chyby
 - Po max počtu iterací akceptuj zbývající chybu (kolize)

Reakce na kolize – výpočet impulzu



$$\Delta \mathbf{p} = m \Delta \mathbf{v} = \hat{\mathbf{p}} = ?$$

$$\hat{\mathbf{p}} = \hat{p} \mathbf{n} = \frac{(\epsilon + 1)(\mathbf{v}_2 \cdot \mathbf{n} - \mathbf{v}_1 \cdot \mathbf{n})}{\frac{1}{m_1} + \frac{1}{m_2}} \mathbf{n}$$

ϵ odrazivost

$$\mathbf{v}'_1 = \mathbf{v}_1 - \frac{\hat{\mathbf{p}}}{m_1} \mathbf{n} \qquad \mathbf{v}'_2 = \mathbf{v}_2 + \frac{\hat{\mathbf{p}}}{m_2} \mathbf{n}$$

- Odrzivost

- 0 – neodráží se (plastický kontakt)
- 1 – veškerá energie dopadu se přemění v energii odrazu (elastický kontakt)

- Tření

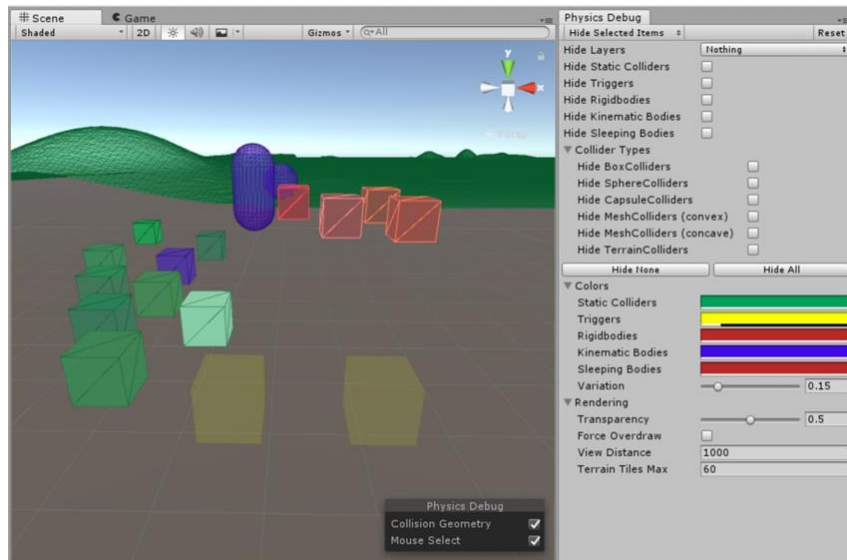
- Koeficient statického tření (před uvedením objektu do pohybu)
- Koeficient dynamického (kinematického) tření (objekty v pohybu)

- Interakce mezi objekty

- způsob kombinace tření (avg, min, max, multiply, ...)
- způsob kombinace odrazivosti (avg, min, max, multiply, ...)

Optimalizace simulace

- Uspání objektů
 - Kinetická energie < threshold
- Simulační ostrovy
 - Skupiny objektů, které se řeší nezávisle
- Ladění fyziky
 - Vizualizace těles, kolizí, ...
 - Unity: Physics Debug Window



Fyzikální simulace – shrnutí

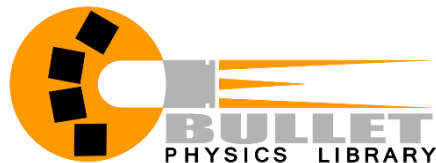
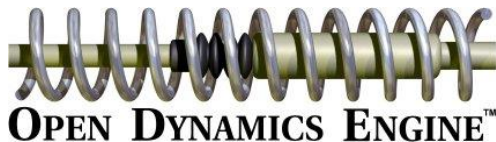
1. Aktualizuj herní objekty (GUI inputs, herní logika)
2. Aktualizuj síly, aplikuj silové impulzy, uprav vazby
3. Simulační krok
 - a) Numerická integrace
 - b) Detekce kolizí
 - c) Nejsou kolize – vyskoč
 - d) Řešení kolizí - vytvoření vazeb, penalizačních sil/impulzů, goto 3a)
4. Aktualizuj “fyzikální” herní objekty
5. Kolizní dotazy (ray/shape casts, fantomy)
6. Přejdi na vykreslování

Pokročilá herní fyzika

- Deformovatelné objekty
- Fyzikálně založená animace tváře, těla
- Šaty
- Vlasy
- Voda, tekutiny
- Kouř, plyny
- Fyzikálně založená syntéza audia
- Řešeno ve výzkumných člancích
 - <http://kesen.realtimerendering.com/> (SIGGRAPH / EG)
 - <https://www.youtube.com/watch?v=5YvIHREdVX4> (SIGGRAPH 2017 trailer)

Knihovny pro herní fyziku (+kolize)

- Havok
 - Zlatý standard
 - Standardní binary release zadarmo
 - Plná verze drahá
- PhysX
 - Původně Novodex
 - SDK zadarmo, zdrojový kód a podpora za poplatek
 - Integrováno do Unity
- ODE, Bullet
 - zadarmo + zdrojový kód



Obsah přednášky

- Úvod do herní fyziky *GAE 12.1-12.2*
- Detekce kolizí *GAE 12.3*
- Dynamika tuhých těles *GAE 12.4-12.5*
- Pokročilá herní fyzika *GAE 12.6*



DCGI

KATEDRA POČÍTAČOVÉ GRAFIKY A INTERAKCE

Otázky?