



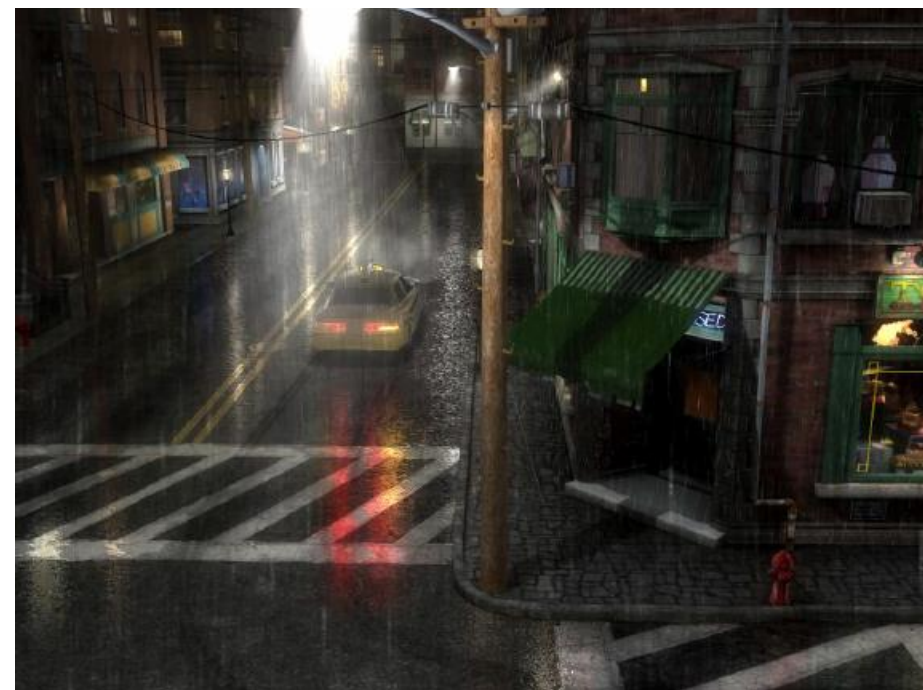
Simulace stékání dešťové vody ulicemi rozsáhlých městských scén

Michal Novotný

Softwarový projekt, 2016

Představení problému

- Interaktivita vodní simulace – rychlost x přesnost
- Dnes: Malé scény, výpočetně náročné
- Myšlenka velké interaktivní scény
- Stékání dešťové vody
- Hlavní požadavky na řešení



AMD – Real-time rain rendering in city environments 2006

Cíl práce

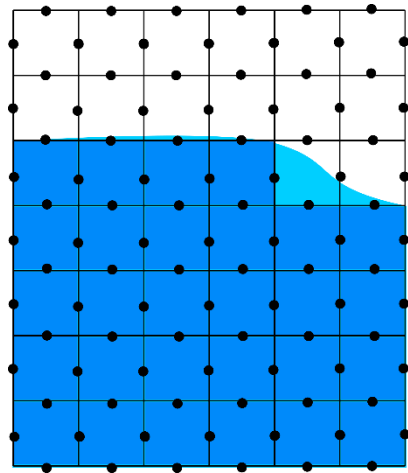
- Řešení části problému = samotná simulace
- Prostudování různých metod
- Porovnání nalezených řešení vzhledem k požadavkům
- Návrh řešení s ohledem na budoucí práci

Simulace vody

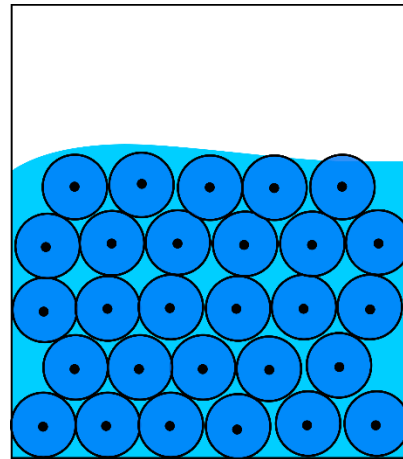
- Řeší se Navier-Stokesovy rovnice – popisují matematicky chování kapalin
- Dnes 2 hlavní metody řešení
 - *Eulerovský a Lagrangeovský přístup*

$$\underbrace{\frac{\partial u}{\partial t}}_{\text{zrychlení}} + \underbrace{(u \cdot \nabla)u}_{\text{konvektivní akcelerace}} = -\underbrace{\frac{\nabla p}{\rho}}_{\text{tlakové pole}} + \underbrace{\frac{\mu}{\rho} \nabla^2 u}_{\text{viskozita}} + \underbrace{\frac{F_{ext}}{\rho}}_{\text{vnější síly}} \quad (1)$$

$$\nabla \cdot u = 0 \quad (2)$$



Mřížkový systém (Euler)



Systém částic (Lagrange)

SPH (Smoothed Particle Hydrodynamics)

- Lagrangeovský přístup
- Řeší Navier-Stokesovy rovnice

- Využití „smoothing kernels“ (jader) pro řešení ($W(r, h)$)

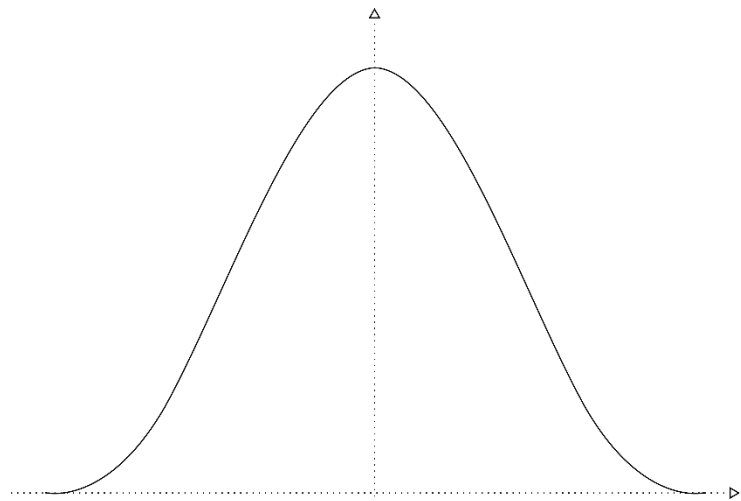
- Částice je ovlivněna pouze svým okolím => *smoothing length*

$$\frac{dv_i}{dt} = \frac{-\nabla p}{\rho_i} + \frac{\mu}{\rho_i} \nabla^2 u + \frac{F_{ext}}{\rho_i} \quad (0)$$

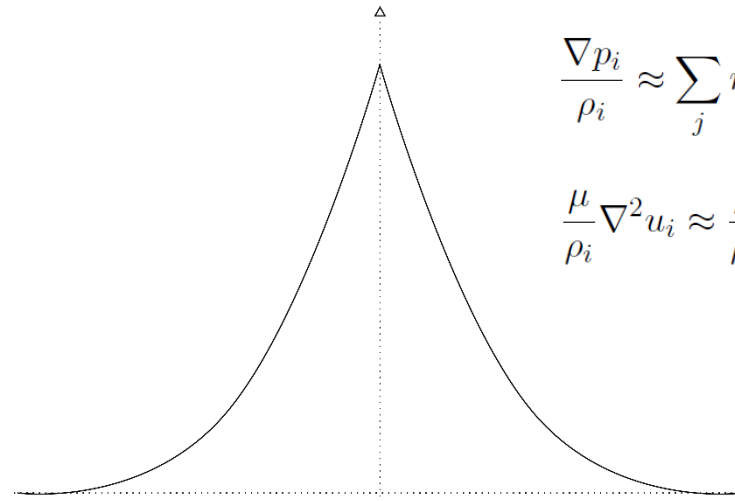
$$\rho_i \approx \sum_j m_j W(r - r_j, h) \quad (1)$$

$$\frac{\nabla p_i}{\rho_i} \approx \sum_j m_j \left(\frac{p_i}{\rho_i^2} + \frac{p_j}{\rho_j^2} \right) \nabla W(r - r_j, h), \quad p = k(\rho - \rho_0) \quad (2)$$

$$\frac{\mu}{\rho_i} \nabla^2 u_i \approx \frac{\mu}{\rho_i} \sum_j m_j \left(\frac{u_j - u_i}{\rho_j} \right) \nabla^2 W(r - r_j, h) \quad (3)$$



Základní kernelová funkce



Kernelová funkce pro tlakové pole

Eulerova vs. Lagrangeova metoda

- Mřížkový systém
 - **Výhody:** Přesnější (detaily), lepší pro větší masy vody
 - **Nevýhody:** Paměťová náročnost, mřížka určuje výskyt kapaliny, pomalejší (než částicový systém)
- Částicový systém
 - **Výhody:** Rychlejší a méně paměťově náročný, volný výskyt kapaliny, lepší pro menší objemy
 - **Nevýhody:** Méně přesnější, náročné hledání povrchu kapaliny

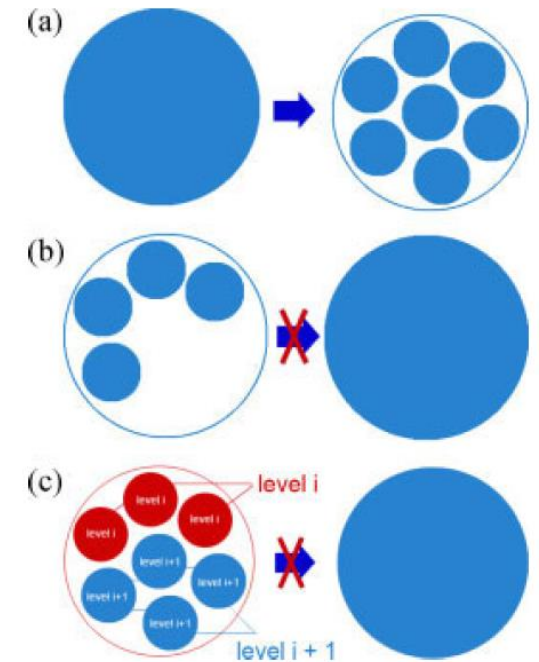
Studované metody – adaptivní přístup

Adaptivní mřížka

- Metoda *Tall Cells* (Müller 2011)
- Rozdělení buněk na *dlouhé* a *normální*
- **Řeší:** Interaktivní čas, „velká“ scéna

Adaptivní SPH

- Založeno na *rozdělování* a *spojování* částic (He Yan 2009)
- Speciálně upravené SPH
- **Řeší:** Interaktivní čas, velká scéna, paralelizace



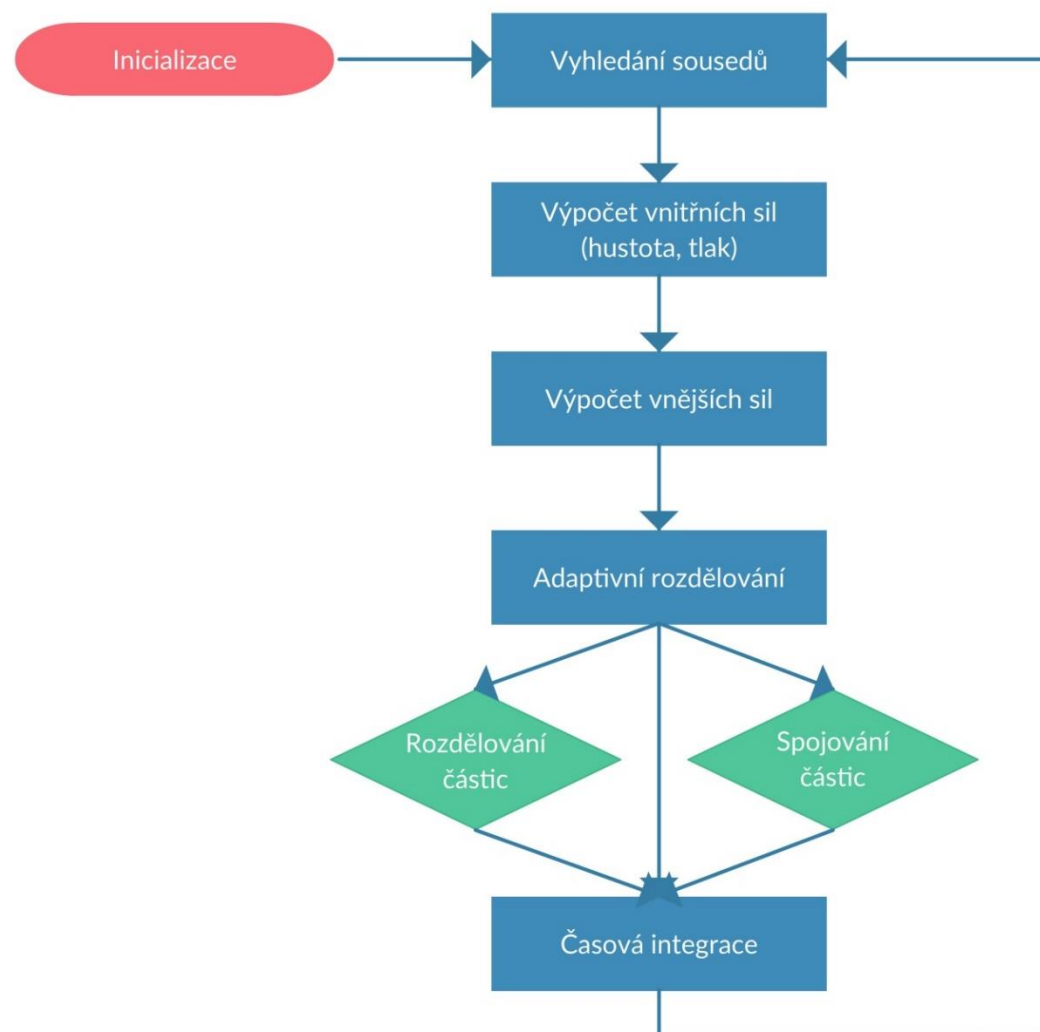
Převzato z He Yan a spol. 2009

Paralelizace

- Paralelizace na CPU (OpenMP, MPI)
- Systém částic - lze dobře paralelizovat
 - Různé přístupy k řešení konfliktů přístupu více vláken
 - *Asymmetric, Symmetric, Slices*
 - Speciální datové struktury ukládání sousedních částic
- Paralelizace na GPU (Cuda, OpenCL)
 - Hybridní metody (CPU+GPU) x pouze GPU

Návrh řešení

- Zvolená metoda = *Adaptivní SPH*
 - Proč: interaktivní časy, systém částic (menší masa vody, volnost), paralelizovatelnost
- Hlavní cíl: *řešení simulačního kroku*
 - diagram



Problémy

- Nalezení „správných metod“
 - Velké množství, každý článek nabízí pouze určité zlepšení
- Malé množství dobrých metod vzhledem k požadavkům
 - Adaptivních řešení moc není
 - Starší články
- Posuzování správné metody
- Návrh aplikace vzhledem k množství možností

Budoucí práce

- Rešerše a návrh aplikace jsou přípravou pro *bakalářskou práci*
- Další krok: implementace zvolené metody podle návrhu
- Budoucí možnosti: využití dalších technik pro kompletní řešení problému
 - Realistické vykreslení simulace
 - Kompletní scéna a pohyb ve scéně
 - Další doplňky, efekty, ucelené řešení problému

Děkuji za pozornost