**projekt** do předmětu **GMU – Grafické a multimediální procesory**

**Částicový systém pro simulaci kapalin ve 3D**

řešitelé: **Pavel Dvořák**, xdvora0e  
**Matúš Fedorko**, xferor01  
**Petr Blatný**, xblatn03

# Zadání

Zde napište informace k zadání (nejde jen o přepis toho, co je na webu; komentujte vaše vlastní zpřesnění zadání, zaměření, důrazy, pojetí atd.). Text strukturujte, použijte odrážky, číslování…

Rozsah: cca 10 odrážek

Výsledkem projektu je simulátor kapaliny. Tato simulace probíhá pomocí simulování chování jednotlivých částic tvořící kapalinu.

Program umožňuje simulovat několik případů proudění kapaliny.

# Použité technologie

Zde vypište, jaké technologie vaše řešení používá – co potřebuje k běhu, co jste použili při tvorbě, atd. Text strukturujte, použijte odrážky, číslování…

Rozsah: cca 7 odrážek

C/C++Projekt je řešen v programovacím jazyku C++

OpenCL Pro výpočet na grafické kartě bylo zvoleno OpenCL.

OpenGL Na zobrazení 3D obsahu je použita knihovna OpenGL.

Projekt dále využívá knihovny SDL, Glew, Glm, SDL Image a SDL TTF.

Projekt byl řešen v prostředí MS Visual Studio

# Použité zdroje

Zde vypište, které zdroje jste použili k tvorbě: hotový kód, hotová data (obrázky, modely, …), studijní materiály. Pokud vyplyne, že v projektu je použit kód nebo data, která nejsou uvedena tady, jedná se o závažný problém a projekt bude pravděpodobně hodnocen 0 body.

Rozsah: potřebný počet odrážek

Model systému vychází z open source simulátoru kapalin dle *Hoetzlein R. C.: Fluids v. 2, dostupné z http://www.rchoetzlein.com/eng/graphics/fluids.htm*

Částicový systém pro simulaci kapalin využívá rovnice a metodu Smoothed Particle Hydrodynamics. Popsanou v diplomové práci *Zsolt Horváth: Částicové simulace v reálném čase, diplomová práce, Brno, FIT VUT v Brně, 2012*

Kernel pro výpočet dynamiky částic kapaliny vychází z *Joey Fladderak: SPH Fluid Simulation, dostupné z http://joeyfladderak.com/portfolio-items/sph-fluid-simulation/#prettyPhoto*

Simulace kapalin využívají k popisu rovnice Navier-Stokes. Rovnice popisují nestlačitelné newtonovské kapaliny.

Jejich řešení poskytuje Langrangeova metoda. Ta dělí kapalinu na částice a počítá s rovnicemi kapalin z částicové fyziky. Zjednodušeně sleduje individuální částice pohybující se v prostoru a čase. Tyto částice je možné definovat pomocí několika parametrů.

Dynamiku částic je možné simulovat postupným výpočtem hustoty částice, tlaku působící na částici. Dále jsou počítány síly

# Nejdůležitější dosažené výsledky

Popište 3 věci, které jsou na vašem projektu nejlepší. Nejlépe ukažte a komentujte obrázky, v nejhorším případě vypište textově.

Výsledný program umožňuje efektivně simulovat chování kapaliny. dopsat

# Ovládání vytvořeného programu

Stručně popište, jak se program ovládá (nejlépe odrážky rozdělené do kategorií). Pokud se ovládání odchyluje od zkratek a způsobů obvykle používaných v okýnkových nadstavbách operačních systémů, zdůvodněte, proč se tak děje.

Rozsah: potřebný počet odrážek

Program zobrazí okno, ve kterém probíhá simulace kapaliny. Při držení levého tlačítky myši a jejím pohybováním je možné měnit pohled na scénu.

Pravým tlačítkem a pohybem myši je možné scénu přiblížit nebo oddálit.

Tlačítkem D je možné zapnout proudění částic.

Tlačítkem W je vyvolán horizontální pohyb částic.

Mezerník restartuje vykreslování scény. upravit

# Zvláštní použité znalosti

Uveďte informace, které byly potřeba nad rámec výuky probírané na FIT. Vysvětlete je pomocí obrázků, schémat, vzorců apod.

Rozsah: podle potřeby

Pro simulace kapalin není možné použití popisu povrchu pomocí polygonální sítě, která se používá pro popis objektů v počítačové grafice. Namísto toho se používají objemové modely. Ty je možné řešit Langrangeovou metodou, která určuje vlastnosti jednotlivých částic. Parametry částic, popisující jejich aktuální stav, jsou: pozice *p*, hmotnost *m*, objem *V*, hustota , rychlost *v* a zrychlení *a*.

**Rovnice Navier-Stokes** jsou diferenciální rovnice, řešené nejčastěji numerickými metodami. Rovnice popisují chování newtonovské kapaliny, jejich důležitou vlastností je, že dynamická viskozita je konstanta úměrnosti mezi napětím a rychlostí deformace.

Kde je dotykové napětí v tekutině, *v* je rychlost toku, je dynamická viskozita. Pro tyto kapaliny dostaneme Navier-Stokes rovnice:

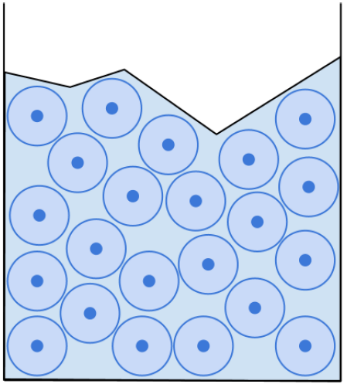
Kde je hustota kapaliny, *v* je vektor rychlosti, je operace skalárního součinu, *r* označuje gradient, *p* je tlak, je viskozita, *f* je vektor externích sil. Rovnice vycházejí ze zákona zachovaní energie pro kapaliny.

Rovnice popisující zachování hmoty je dána vztahem:

Langrangeova formulace zachování momentu:

Částice mají stejnou hmotnost a je jich stále stejný počet, můžeme tedy ignorovat zákon zachování hmoty. Tím dostaneme výraz:

Kde je zrychlení částice, je tlaková síla, je napětí způsobené viskozitou a je suma externích sil (gravitace, odraz od stěn nádoby, ...)

Struktura částicové kapaliny dle Langrangeovy formulace

**Smoothed particle hydrodynamics** je metoda aproximace numerického řešení rovnic dynamiky kapalin.

Objem kapaliny reprezentujeme pomocí částic, pro které je možné vypočítat vlastnosti kapaliny. Výhodou metody je možnost její paralelizace a tím urychlení výpočtu. Síly působící na každou částici jsou dané skalárními hodnotami. Veličiny interpolujeme v místě *r* na základě váženého součtu příspěvků od všech částic do vzdálenosti *h*. Aproximací lze získat:

Kde *j* je index částice, je objem částice *j*, , kde *r* je pozice částice a *A* je skalární interpolovaná veličina. Mezi objemem *V*, hmotností *m* a hustotou platí vztah:

Kombinací rovnic získáme vztah interpolační funkce SPH:

Kde *j* je index sousední částice, je hmotnost j-té částice, je její pozice, je hustota, je skalární veličina v pozici .

**Vykreslovací jádro** *W*, je funkce, která udává pozici *r* a vyhlazovací vzdálenost *h*. Tato vzdálenost je potom prahem, který rozhoduje o tom, kolik částic se započítává do interpolace. Tato funkce může být obecně různá a tím ovlivní výpočet kapaliny.



Grafické znázornění jádra W

Základní Langrangeova formulace rovnice Navier-Stokes pro nestlačitelné kapaliny je dána vztahem:

kde pravá strana obsahuje interní a externí síly.

**Výpočet hustoty**  závisí pouze na hmotnosti částice *m*:

K výpočtu používá jádro polynomu 6. stupně:



Grafické znázornění jádra

**Tlak**, určuje sílu, kterou jsou odpuzovány částice jedna od druhé:

kde je v předchozím kru vypočítaná hustota částice, je klidová hustota kapaliny.

**Tlaková síla** je potom dána vztahem:

Využívá gradient jádra spiky (špičatý):



Grafické znázornění spiky jádra

Viskozita, neboli odolnost proti toku, je v SPH definována vztahem:

kde je koeficient viskozity kapaliny, tento vztah platí, pokud je hustota konstantní a stejná u všech částic. K výpočtu je používán laplacián () jádra viskozity, nebo též vyhlazovacího jádra:



Grafické znázornění vyhlazovacího jádra

# Rozdělení práce v týmu

Pavel Dvořák – příprava modelu, převod vzorců do kódu pro výpočet na CPU

Matůš Fedorko – převod na výpočet pomocí OpenCL

Petr Blatný - dokumentace

Pokud to bude vhodné, použijte odrážky místo souvislých vět.

Rozsah: co nejstručnější tak, aby bylo zřejmé, jak byla dělena práce a za co v projektu je kdo zodpovědný.

# Co bylo nejpracnější

Popište, co vám při řešení nejvíce komplikovalo život, s čím jste se museli potýkat, co zabralo čas.

Rozsah: 5-10 řádků

Částicový systém vychází z velkého množství fyzikálních výpočtů zmíněných v předchozí kapitole. Jejich pochopení a následná implementace byli na projektu asi nejsložitější. Problémem bylo i zprovoznění knihovny OpenCL a ostatních knihoven na různých strojích.

# Zkušenosti získané řešením projektu

Popište, co jste se řešením projektu naučili. Zahrňte dovednosti obecně programátorské, věci z oblasti počítačové grafiky, ale i spolupráci v týmu, hospodaření s časem, atd.

Rozsah: formulujte stručně, uchopte cca 3-5 věcí

Naučili jsme se práci s knihovnou OpenCL na složitějším problému. Obohacením pro nás bylo i nastudování funkce částicového systému. Asi by to chtělo ještě něco…

# Autoevaluace

Ohodnoťte vaše řešení v jednotlivých kategoriích (0 – nic neuděláno, zoufalství, 100% – dokonalost sama). Projekt, který ve finále obdrží plný počet bodů, může mít složky hodnocené i hodně nízko. Uvedení hodnot blízkých 100% ve všech nebo mnoha kategoriích může ukazovat na nepochopení problematiky nebo na snahu kamuflovat slabé stránky projektu. Bodově hodnocena bude i schopnost vnímat silné a slabé stránky svého řešení. dodělat

**Technický návrh: 50%** (analýza, dekompozice problému, volba vhodných prostředků, …)

Stručně (1-2 řádky) komentujte hodnocení.

**Programování: 50%** (kvalita a čitelnost kódu, spolehlivost běhu, obecnost řešení, znovupoužitelnost, …)

Stručně (1-2 řádky) komentujte hodnocení.

**Vzhled vytvořeného řešení: 50%** (uvěřitelnost zobrazení, estetická kvalita, vhled GUI, …)

Stručně (1-2 řádky) komentujte hodnocení.

**Využití zdrojů: 50%** (využití existujícího kódu a dat, využití literatury, …)

Stručně (1-2 řádky) komentujte hodnocení.

**Hospodaření s časem: 50%** (rovnoměrné dotažení částí projektu, míra spěchu, chybějící části řešení, …)

Stručně (1-2 řádky) komentujte hodnocení.

**Spolupráce v týmu: 50%** (komunikace, dodržování dohod, vzájemné spolehnutí, rovnoměrnost, …)

Stručně (1-2 řádky) komentujte hodnocení.

**Celkový dojem: 50%** (pracnost, získané dovednosti, užitečnost, volba zadání, cokoliv, …)

Stručně (5-10 řádků) komentujte hodnocení.

# Doporučení pro budoucí zadávání projektů

Co vám vyhovovalo a co nevyhovovalo na organizaci projektů? Které prvky by měly být zachovány, zesíleny, potlačeny, eliminovány? Co já vím…

# Různé

Ještě něco by v dokumentaci mělo být? Napište to sem! Podle potřeby i založte novou kapitolu.

Asi smazat