|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Univerzita Hradec Králové Fakulta informatiky a managementu Katedra informatiky a kvantitativních metod** | | |
| **Realistické zobrazení vodních jevů**  Bakalářská práce | | |
| Autor: Jan Tobola Studijní obor: Aplikovaná informatika | | |
| Vedoucí práce: Mgr. Jan Vaněk, Ph.D. | | |
| Hradec Králové | květen 2014 | |
| Prohlášení:  Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci zpracoval samostatně a s použitím uvedené literatury. | | | |
| V Hradci Králové dne 23.6.2014 | | *vlastnoruční podpis*  Jan Tobola | |
| Poděkování:  Děkuji vedoucímu bakalářské/diplomové práce titul, jméno, příjmení za metodické vedení práce a…. | | | |

Anotace

Text anotace – shrnutí cíle, významu práce a výsledky v ní dosažené. Délka minimálně 100 a maximálně 200 slov.

Annotation

Title: Realistic Water Rendering

Anotace v anglickém jazyce. Délka minimálně 100 a maximálně 200 slov.

Obsah

1 Úvod 1

2 Cíl práce 2

3 Fyzikální vlastnosti vody 3

3.1 Optické vlastnosti 3

3.1.1 Odrazivost hladiny 3

3.1.2 Lom světla 3

3.1.3 Fresnelovy rovnice 3

3.1.4 Kaustika 3

3.1.5 Disperze 4

3.1.6 Hlubinový efekt // 3.1.2 4

3.2 Mechanické vlastnosti 4

3.2.1 Hydrostatický tlak 4

3.2.2 Viskozita 4

3.2.3 Povrchové napětí 4

3.2.4 Kapilarita 4

3.2.5 Objemová stlačitelnost 4

3.3 Vlny 5

3.3.1 Vznik a vlastnosti vln 5

3.3.2 Modelování vln 5

4 Voda v počítačové grafice 6

4.1 Uplatnění simulací vodních jevů 6

4.2 Současné metody 6

4.2.1 Částicové systémy 6

4.2.2 Výškové pole 6

4.2.3 Statistický vlnový model 6

4.2.4 Procedurální vlnový model 6

4.2.5 Interaktivní simulace 7

5 Grafické karty 8

5.1 DirectX 8

5.2 Programovatelné shadery 8

5.2.1 HLSL 8

5.2.2 Shader model 8

5.2.3 Vertex shader 8

5.2.4 Pixel shader 8

5.2.5 Compute shader 8

6 Navržená metoda 9

6.1 Předchozí práce 9

6.2 Popis algoritmu 9

6.2.1 Výpočet odtoků 9

6.2.2 Výpočet vícesložkové setrvačnosti 9

6.2.3 Eliminace záporných hodnot // 6.2.1 9

6.2.4 Výsledná výška hladiny 9

6.2.5 Kolize s terénem // 6.2.4 9

7 Implementace 10

7.1 Terén 10

7.1.1 Výšková mapa 10

7.1.2 Texturování 10

7.2 Skybox 10

7.3 Osvětlení 10

7.4 Vodní hladina 10

7.4.1 Odraz a lom 10

7.4.2 Styk s pobřežím 10

8 Shrnutí výsledků 11

8.1 Měření výkonu 11

8.2 Porovnání 11

8.3 Ukázka z aplikace 11

9 Závěry a doporučení 12

10 Seznam použité literatury 13

11 Přílohy 14

Seznam obrázků

[Obr. 1 Název obrázku/grafu/fotografie. 2](#_Toc348517265)

Seznam tabulek

[Tabulka 1 Název tabulky. 2](#_Toc348517268)

# Úvod

Zde vysvětlit problémovou situaci a otázky, které se budou v bakalářské/diplomové práci řešit.

# Cíl práce

Prozkoumání oblasti simulace kapalin, implementace algoritmu na GPU, interakce vody s terénem. Kladen důraz na realističnost, ale zároveň na rozumnou výpočetní náročnost simulace.

# Fyzikální vlastnosti vody

Voda se na Zemi vyskytuje v mnohem větší míře než na ostatních planetách sluneční soustavy. Pokrývá 71% Zemského povrchu a lidé i ostatní formy života na ní závisejí. Je chemickou sloučeninou vodíku a kyslíku. V přírodě je přítomna ve třech skupenstvích. Při běžném atmosférickém tlaku dochází k tuhnutí kapalné vody při teplotě bodu mrazu, tedy přibližně 0°C a přechází tak do pevného skupenství v podobě ledu. V opačném případě a za stejných podmínek přechází z kapalného stavu do plynného při překročení bodu varu, t.j. překročení teploty přibližně 100°C. Pokud dochází k přeměně látky z pevného skupenství přímo na plynné, jedná se o sublimaci, obráceně pak o desublimaci, kterou lze v přírodě pozorovat např. při vzniku jinovatky z vodní páry za teploty menší než je bod mrazu. [Reichl et al., 2006]

Díky jejím vlastnostem a dostupnosti se hojně využívá v řadě průmyslových odvětví. Vodní elektrárny fungují na principu vodního toku a přeměny její potenciální energie na elektrickou energii. Řeky, jezera, moře nebo oceány zastupují významnou roli v dopravě.

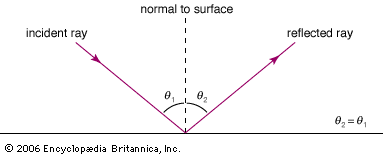
## Optické vlastnosti

Za normální teploty a tlaku je tato kapalina charakteristická svou čirostí a bezbarvostí, s narůstající výškou vodního sloupce mění svůj vzhled a jeví se namodrale. V přírodě se však nachází v různých barevných odstínech způsobených např. přítomností huminových látek, jílových minerálů, planktonu a dalších organických a anorganických látek. [citace]

Světlo v interakci s vodou vytváří efekty, které dávají lidskému oku možnost identifikace této látky. V důsledku chování světla jakožto elektromagnetického záření při přechodu mezi odlišnými prostředími, jsou definovány jevy jako odraz, lom nebo disperze.

### Odrazivost hladiny

Naprosto základním a běžně vnímaným jevem u vodní hladiny je odraz neboli reflexe. Hladina odráží dopadající paprsky světla v závislosti na úhlu dopadu, jako je vyobrazeno na následujícím obrázku.



Obr. Odraz dopadajícího paprsku

### Propustnost a lom světla

Popis refrakce, index lomu, přechod elektromagnetického záření z opticky hustšího do opticky řidšího prostředí a naopak. Matematický vztah pro Snellův zákon, obrázek. Možná lehce zmínit totální reflexi, ale asi to nebude nutné, netýká se přímo vody.

### Fresnelovy rovnice

Intenzita odrazeného a lomeného světla. Matematický vztah, obrázek, vysvětlení.

### Kaustika

V neposlední řadě velmi důležitou součástí vody je efekt kaustiky. Kaustika je jakási obálka světelných paprsků zlomených přechodem mezi různými prostředími nebo odražených jiným předmětem. V tomto případě se jedná o promítnutý obraz této obálky na dně určitého prostředí, v němž se voda nachází. Přesný výpočet kaustiky v reálném čase je zcela nemožný, proto se efekt kaustiky nahrazuje potažením dna animovanou texturou přibližně odpovídající pohybu vln.

### Disperze

Disperze je cizí výraz pro rozklad bílého světla na jednotlivé barvy spektra v závislosti na různé vlnové délce jednotlivých barevných složek. Tento efekt se při renderování vody vyskytuje velmi zřídka. Obrazek.

### Hlubinový efekt // 3.1.2

Zabarvení hladiny do temnější barvy v závislosti na hloubce. Nejsem si jistý pojmenováním podkapitoly. Možná by bylo lepší přejmenovat podkapitolu „Lom světla“ na „Propustnost a lom světla“ a toto zmínit pouze jako další odstavec.

## Mechanické vlastnosti

### Hydrostatický tlak

Vysvětlení co to je, proč vzniká, popis matematického vztahu.

### Viskozita

Vysvětlení co to je, jak vzniká, jaký má vliv na kapalinu. Viskozita vody. Dynamická a kinematická viskozita.

### Povrchové napětí

Příčina povrchového napětí, vysvětlení proč se povrch vodní hladiny chová tak jak se chová.

### Kapilarita

Smáčivost povrchu – styk kapaliny se stěnou nádoby. Kapiláry, využití...

### Objemová stlačitelnost

Stlačitelnost ideální kapaliny, skutečné kapaliny.

## Vlny

Na vodní hladinu neustále působí vnější vlivy, proto jen stěží v přírodě narazíme na zcela klidnou vodní hladinu.

### Vznik a vlastnosti vln

Chování vln, proč vznikají lámané vlny...

### Modelování vln

Metody a rovnice popisující chování vln. Navier-Stokesovy rovnice, vlnová rovnice...

# Voda v počítačové grafice

## Uplatnění simulací vodních jevů

Uplatnění v zábavním průmyslu (film, hry), vědecké simulace. Na co je kladen důraz v jednotlivých odvětvích. Hry – real-time rendering, nízká výpočetní náročnost, přesvědčivé výsledky zobrazení. Vědecké simulace – záplavové simulace, prodění, vysoká výpočetní náročnost, zato velice přesné simulace chování vody (nejen vody) – např. řešení 3D Navier-Stokesových rovnic. Film – offline rendering, kladen důraz na realističnost zobrazení, používání metod jako ray tracing pro velice přesné optické vlastnosti...

## Současné metody

Přehled a popis existujících přístupů a konkrétních algoritmů.

### Částicové systémy

Popsat dané odvětví. Využitelnost pro velice přesné simulace – např. řešením 3D Navier-Stokesovy rovnic. Vysoká výpočetní náročnost, v reálném čase omezený počet částic. Výhody – šplouchání vody, velice přesné chování (záleží na matematické korektnosti), nevýhody – náročnost, omezení na malé plochy, atd.

### Výškové pole

Popis metody 2D mřížky, vysvětlení jak se dá použít pro simulaci hladiny ve 3D scéně, Omezení (lámání vln), výhody, jednoduchost...

### Statistický vlnový model

Popis algoritmů využívající výškových polí. Hladina nereaguje na okolní podměty. Renderování rozsáhlých vodních ploch jako jsou oceány.

#### Fast Fourier Transformation

Popis algoritmu, využití oceánografických modelů pro modelování vln.

### Procedurální vlnový model

Generování pohybu vln z šumových funkcí...

#### Perlinův šum

Popis Perlin noise, popis funkce, obrázek složených více šumových funkcí.

#### Real-Time Water Rendering [Johanson, 2004]

LOD, Projected Grid, využívá Perlin noise, popis...

### Interaktivní simulace

Voda reagující na okolí. V této sekci se především zaměřit na algoritmy využívající 2D mřížky. Toto jsem dal jako poslední, protože jednotlivé metody bych probral více do hloubky, jelikož se nejvíce týkají mé práce.

#### Rovnice mělké vody

Něco málo o shallow water equations (SWE), následující algoritmy z nich vycházejí. Vychází z NSE, zanedbává některé složky. Jejich využitelnost.

#### Implementing Rapid, Stable Fluid Dynamics on the GPU [Karsten, 2004]

Popis algoritmu, Jacobiho iterace pro řešení lineárních rovnic. GPU implementace. Započítávání výšky terénu. Vychází z práce Rapid, Stable Fluid Dynamics for Computer Graphics [KASS, 1990], která popisuje SWE a jejich diskretizaci.

#### Real-Time Fluid Simulation Using Height Fields [Miklós, 2004]

Řešeno v dvou vrstvách (upper and bottom layer), pro vizualizaci lámaných vln. Spodní vrstva vychází z SWE. Probírá se zde i korekce záporných hodnot hladiny, což musí být nějakým způsobem řešeno i v této práci. Str. 13, kapitola Negative Values. Jiný způsob korekce záporných hodnot popisuje i práce [KASS, 1990].

# Grafické karty

Trocha teorie o GPU, jaký poskytují výpočetní výkon na specifické operace, vývoj karet.

## DirectX

Něco o DirectX, co to vlastně je, aktuální verze,...

## Programovatelné shadery

Dnešní možnosti programování částí renderovací pipeline. Obecně co to jsou shadery. V následujících kapitolách bych popsal pouze hlavní shadery, volitelné shadery jako geometry, tesselation shader můžu lehce zmínit zde nebo vůbec – v této práci je nevyužívám.

### HLSL

Co je to za jazyk, že se v tom píšou shadery pod Direct3D, atd.

### Shader model

Co je to shader model, jak souvisí s grafickou kartou a programovatelnými shadery. Kdo vydává specifikace pro shader model (výrobci).

### Vertex shader

Popsat jak funguje vertex shader, na co se používá.

### Pixel shader

Popsat jak funguje pixel shader, na co se hlavně používá a na co se dá ještě využít. Render to texture, post processing, atd.

### Compute shader

Zmínka o tom, že tento celkem nový typ shaderu je dostupný pouze od shader modelu 5, k čemu se využívá, jaké výhody přináší... Pouze výpočty, libovolné datové struktury (v DirectX11 nevim jak v OpenGL), programátor není omezen pouze velikostí textury, lepší správa vláken.

# Navržená metoda

Na co jsem dbal při řešení, co byl cíl,...

## Předchozí práce

Z čeho jsem vycházel, některé zmíněné práce a algoritmy.

## Popis algoritmu

Paralelní výpočty, obrázky obecného průchodu algoritmu, přepočet hladin, atd.

Může se menit v průbehu psaní. Toto je pouze nástřel.

### Výpočet odtoků

### Výpočet vícesložkové setrvačnosti

### Eliminace záporných hodnot // 6.2.1

Výpočet odtoků poměrem

### Výsledná výška hladiny

### Kolize s terénem // 6.2.4

Zahrnuje vlastně přechozí bod 6.2.4

# Implementace

## Terén

### Výšková mapa

### Texturování

Popis slope based texturing, ukázka části kódu.

## Skybox

Popis metody, co to je, depth, dds cube texture

## Osvětlení

Directional light, výpočet

## Vodní hladina

### Odraz a lom

Aproximace odrazu a lomu.

### Styk s pobřežím

Interpolace barev.

# Shrnutí výsledků

Souhrn vlastních výsledků získaných v průběhu řešení problému.

## Měření výkonu

Tabulka s FPS při různých velikostech mřížky.

## Porovnání

Porovnat pokles výkonu při modifikaci algoritmu ze 4 na 8 okolí, graf,...

## Ukázka z aplikace

Pěkné obrázky z aplikace...

# Závěry a doporučení

Kritická diskuze nad výsledky, ke kterým autor dospěl (soulad výsled-ků  literaturou či předpoklady; výsledky a okolnosti, které zvláště ovlivnily předkládanou práci atd.). Je vhodné naznačit i případné další (popř. alternativní) možnosti zkoumání dané problematiky a otevřené problémy pro další studium.

# Seznam použité literatury

1. REICHL, J. & VŠETIČKA, M. *Encyklopedie fyziky* [online]. 2006. [Cit. 23.6.2014]. Dostupné z WWW: <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/651-sublimace-a-desublimace>.
2. Ambrožová J.: Aplikovaná a technická hydrobiologie. 2. vyd. Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, Praha 2003. Str. 39. ISBN 80-7080-521-8

# Přílohy

*Oskenované zadání práce*