

Zadání bakalářské práce

Název: Simulování vodního povrchu
Student: Hong Son Ngo
Vedoucí: Ing. Petr Pauš, Ph.D.
Studijní program: Informatika
Obor / specializace: Webové a softwarové inženýrství, zaměření Počítačová grafika
Katedra: Katedra softwarového inženýrství
Platnost zadání: do konce letního semestru 2022/2023

Pokyny pro vypracování

Voda a vodní hladina se vyskytuje ve spoustě grafických aplikací a hrách a jejich realistická real-time simulace je žádoucí. Cílem této práce je vytvořit simulátor vodního povrchu a jeho případných světelných efektů na tělese pod vodou.

1. Analyzujte možnosti real-time simulace vodní hladiny.
2. Analyzujte vhodné nástroje pro její simulaci (např. OpenGL, Unity, atd.).
3. Na základě analýzy vyberte vhodný nástroj pro simulaci a navrhněte prototyp simulace.
4. Ve zvoleném nástroji implementujte.
5. Vytvořte testovací scénu, která simulaci demonstruje.



**FAKULTA
INFORMAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ
ČVUT V PRAZE**

Bakalářská práce

Simulování vodního porvrchu

Hong Son Ngo

Katedra softwarového inženýrství
Vedoucí práce: Ing. Petr Pauš, Ph.D.

9. března 2022

Poděkování

Doplňte, máte-li komu a za co děkovat. V opačném případě úplně odstraňte tento příkaz.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

Beru na vědomí, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., autorského zákona, ve znění pozdějších předpisu. V souladu s ust. § 2373 odst. 2 zákona č. 89/2012 Sb., občanský zákoník, ve znění pozdějších předpisu, tímto uděluji nevýhradní oprávnění (licenci) k užití této mojí práce, a to včetně všech počítačových programů, jež jsou její součástí či přílohou a veškeré jejich dokumentace (dále souhrnně jen „Dílo“), a to všem osobám, které si přejí Dílo užít. Tyto osoby jsou oprávněny Dílo užít jakýmkoli zpusobem, který nesnižuje hodnotu Díla a za jakýmkoli účelem (včetně užití k výdělečným účelům). Toto oprávnění je časově, teritoriálně i množstevně neomezené. Každá osoba, která využije výše uvedenou licenci, se však zavazuje udělit ke každému dílu, které vznikne (byť jen zčásti) na základě Díla, úpravou Díla, spojením Díla s jiným dílem, zařazením Díla do díla souborného či zpracováním Díla (včetně překladu) licenci alespoň ve výše uvedeném rozsahu a zároveň zpřístupnit zdrojový kód takového díla alespoň srovnatelným zpusobem a ve srovnatelném rozsahu, jako je zpřístupněn zdrojový kód Díla.

V Praze dne 9. března 2022

.....

České vysoké učení technické v Praze
Fakulta informačních technologií

© 2022 Hong Son Ngo. Všechna práva vyhrazena.

Tato práce vznikla jako školní dílo na Českém vysokém učení technickém v Praze, Fakultě informačních technologií. Práce je chráněna právními předpisy a mezinárodními úmluvami o právu autorském a právech souvisejících s právem autorským. K jejímu užití, s výjimkou bezúplatných zákonných licencí a nad rámec oprávnění uvedených v Prohlášení na předchozí straně, je nezbytný souhlas autora.

Odkaz na tuto práci

Ngo, Hong Son. *Simulování vodního povrchu*. Bakalářská práce. Praha: České vysoké učení technické v Praze, Fakulta informačních technologií, 2022.

Abstrakt

V několika větách shrňte obsah a přínos této práce v češtině. Po přečtení abstraktu by se čtenář měl mít čtenář dost informací pro rozhodnutí, zda chce Vaši práci číst.

Klíčová slova Nahradte seznamem klíčových slov v češtině oddělených čárkou.

Abstract

Sem doplňte ekvivalent abstraktu Vaší práce v angličtině.

Keywords Nahradte seznamem klíčových slov v angličtině oddělených čárkou.

Obsah

Úvod	1
1 Cíl práce	3
2 Základ teorie mechaniky tekutin	5
2.1 Navierovy–Stokesovy rovnice	5
3 Vlastnosti vodního povrchu	7
3.1 Dynamické vlastnosti	7
3.1.1 Pohyb vodního povrchu	7
3.2 Světelné vlastnosti	7
4 Realizace	9
Závěr	11
A Seznam použitých zkratek	13
B Obsah přiloženého CD	15

Seznam obrázků

Úvod

Kvalita herních titulů za poslední let ohromně vzrostla. Jejich úspěch lze připsat nejen zajímavému příběhovému obsahu, ale také i jejich vizuálnímu zpracování. Právě v grafickém provedení můžeme vidět největší pokrok. Díky hardwarovým zlepšením ve výpočetních technologiích zejména v grafických kartách se obraz grafických aplikací čím dál více blíží fotorealistickým výsledkům a s příchodem zařízení pro virtuální a rozšířenou realitu je o realistickém obrazu ještě větší zájem.

Co rozlišuje scény napříč historií her jsou speciální efekty. Na základě kvality jejich provedení je hráč hlouběji vnořen do virtuálního světa a následně i do jeho příběhu. Jedním z takových efektů jsou např. přírodní fenoména pohyb plamene, vlnění hladiny vody, proudění větru...

Fyzikálně korektní chování přírodních jevů však zůstává do dnešního dne mezi komplexnějšími problémy. Mezi těmi výpočtně nejobtížnějšími je považováno proudění tekutin, do kterých patří jak plynné, tak i kapalné skupenství. Pro vizualizaci se většina metod zabývá zejména kapalinami kvůli její povaze (jsou lidským okem vidět), ale v některých případech lze postupy pro simulování proudění kapalin využít i pro zobrazení plynů jako např. kouře nebo plamene.

Kvůli vysoce dynamickému chování tekutin se však v současnosti nejrealističtějších výsledků dosáhne hlavně off-line metodami. Real-time aplikace využívají stejných principů, ale s podstatnými kompromisy jak paměťovými, tak i výpočetními. Vzhledem k tomu, že některé aplikace nevyužijí přesné a hlavně výpočetně drahé simulace, tak napodobují jen výsledné efekty, které se nijak neopírají o fyzikální pravidla. Ačkoli off-line metody zobrazují věruhodně chování kapalin, resp. plynů, nejsou nijak zastoupeny v hrách, neboť interakce s uživatelem a dynamické prostředí scén je nedovolí využít.

Obsah této bakalářské práce se zabývá real-time simulací vodního povrchu a jeho případnými světelnými efekty jak na hladině, tak i na tělesa pod ní, jejíž aplikace by bylo možné využít k fotorealistickému zobrazení virtuálních

ÚVOD

scén v hrách.

KAPITOLA **1**

Cíl práce

Cílem teoretické části této bakalářské práce je prozkoumat možnosti real-time simulace vodního povrchu a připadných vlastností, které interakují se světelnými paprskami osvětlující vodní plochu. Na základě analýzy současných metod prozkoumat vhodné nástroje pro její zobrazení v grafických aplikacích jako jsou počítačové hry.

Následně v praktické části je cílem vybrat vhodné metody pro real-time grafické aplikace, navrhnout prototyp simulátoru a ve zvoleném nástroji ho implementovat a nakonec vytvořit testovací scénu, která simulaci demostruje.

KAPITOLA 2

Základ teorie mechaniky tekutin

V této kapitole je shrnutí teorie mechaniky tekutin, která je nezbytnou součástí pro simulování fyzikálně korektního chování vody. Teorie je zde vyložena takovým způsobem, aby byl čtenář s ní seznámen a co nejrychleji pochopil principy chování tekutin, neobsahuje žádné rigorózní vysvětlení problematiky.

2.1 Navierovy–Stokesovy rovnice

Proud tekutin se v reálném světě řídí podle Navierovými–Stokesový rovnicemi (NSE), soustavou nelinearních diferenciálních rovnic. [fluid sim lecturer notes]

$$\nabla \cdot \vec{u} = 0 \quad (2.1)$$

$$\frac{\partial \vec{u}}{\partial t} + \vec{u} \cdot \nabla \vec{u} + \frac{1}{\rho} \nabla p = \vec{g} + \nu \nabla \cdot \nabla \vec{u} \quad (2.2)$$

Kde vektor $\vec{u} = (u, v, w)$ označuje rychlosť tekutiny, ρ označuje hustotu tekutiny, p tlak, kterým působí tekutina na své okolí, $\vec{g} = (x, y, z)$ je gravitační zrychlení, ν je značení kynematické viskozity tekutiny. Symboly ∇ , $\nabla \cdot$, $\nabla \cdot \nabla$ označují diferenciální operátory nabla, divergence a Laplacův operátor.

2.1.1 Vysvětlení

Před vysvětlení jednotlivých rovnic je dobré zmínit, že většina teorie mechaniky tekutin je založena na odvětví matematiky vektrové analýzy a pracují s vektorovými poli, resp. skalárními poli. Navierovy–Stokesovy rovnice např. pracují s vektorovým poli, resp. se skalárními poli, kde jednotlivým bodům prostoru přiřazují vektor určující rychlosť proudu tekutiny, resp. hodnotu tlaku, v daném místě.

Na první pohled vypadají rovnice těžce uchopitelné, ale myšlenka za nimi je velmi jednoduchá. První rovnice ?? popisuje zákon o zachování hmotnosti,

2. ZÁKLAD TEORIE MECHANIKY TEKUTIN

tím je myšleno, že není možné, aby hmota tekutiny na některém místě vznikla nebo zanikla.

Druhá rovnice ?? popisuje zákon o zachování hybnosti a je ve své podstatě Newtonův druhý zákon.

$$\vec{F} = m\vec{a} \quad (2.3)$$

Zrychlení \vec{a} lze přepsat je derivací rychlosti podle času.

$$\vec{F} = m \frac{D\vec{u}}{Dt} \quad (2.4)$$

Pro odvození celé rovnice je třeba rozvést sílu \vec{F} , které na tekutinu působí. Jedna z nich je samozřejmě gravitace, jejíž hodnota je vyčíslena jako $m\vec{g}$.

Další síly vytváří tekutina sama na sobě. První z nich je síla způsobena rozdílem tlaků v tekutině. Tekutina se v oblastech s vyšším tlakem přesouvá do oblastí s nižším tlakem. Její hodnotu můžeme zapsat jako $-V\nabla p$ ¹.

Další síla působící na tekutinu je ovliněna její viskozitou. Viskozita působí při každém pohybu částic tekutiny [lecture notes] a snaží se vyrovnat rychlosť částic rychlostí svých sousedních částic. Její hodnotu můžeme vyjádřit jako $V\mu\nabla \cdot \nabla\vec{u}$ ², kde μ označuje koeficient dynamické viskozity.

$$m\vec{g} - V\nabla p + V\mu\nabla \cdot \nabla\vec{u} = m \frac{D\vec{u}}{Dt} \quad (2.5)$$

Rovnice ??, ?? a ?? předpokládají, že tekutinu lze rozložit na konečně mnoho malých částí, tímto způsobem je do výpočtu představena výpočetní chybu. Řešením toho problému je celou rovnici ?? je vydělit V , aby zachytila pohyb nekonečně mnoha malých částic tekutin.

$$\rho\vec{g} - \nabla p + \mu\nabla \cdot \nabla\vec{u} = \rho \frac{D\vec{u}}{Dt} \quad (2.6)$$

Následně po vydělení hustoty ρ a prohození sčítanců získáme druhou Navierovu–Stokesovu rovnici.

$$\frac{D\vec{u}}{Dt} + \frac{1}{\rho}\nabla p = \vec{g} + \nu\nabla \cdot \nabla\vec{u}^3 \quad (2.7)$$

¹Operace ∇p vyjadřuje vektorové pole, ve kterém vektory směřují, z jednotlivých bodů na své blízké okolí, aby jeho hodnota ve skalárním poli nejrychleji vzrostla.

²Operace $\nabla \cdot \nabla\vec{u}$ vyjadřuje míru deviace rychlosti částice okolo svého okolí.

³kinematická viskozita lze vyjádřit jako $\mu\rho$

KAPITOLA **3**

Vlastnosti vodního povrchu

3.1 Dynamické vlastnosti

3.1.1 Pohyb vodního povrchu

3.2 Světelné vlastnosti

KAPITOLA **4**

Realizace

Závěr

Jedním z cílů práce bylo provést analýzu současných možností pro simulaci vodního povrchu. Rozbor obsahuje několik metod založených na různých přístupech k simulaci kapalin. Na základě typu scén her a míry interakce vodní plochy s prostředím jsou jednotlivé metody různě vhodné.

Dalším cílem bylo vytvořit testovací scénu s vybraným algoritmem pro simulace vodní plochy z analýzy. Testovací scéna je naimplementována pomocí frameworku OpenGL, ale principy simulace jsou lehce přenositelné na různé nástroje. Vodní plocha reaguje jak na prostředí testovací scény, tak i na manipulace hladiny uživatelem.

PŘÍLOHA **A**

Seznam použitých zkratek

GUI Graphical user interface

XML Extensible markup language

Obsah přiloženého CD

```
readme.txt ..... stručný popis obsahu CD
├── exe..... adresář se spustitelnou formou implementace
└── src
    ├── impl..... zdrojové kódy implementace
    └── thesis..... zdrojová forma práce ve formátu LATEX
└── text .... text práce
    ├── thesis.pdf..... text práce ve formátu PDF
    └── thesis.ps..... text práce ve formátu PS
```