

REAL-TIME FLUID SIMULATION

Stanislav KONTÁR, Master Degree Programme (4)
Dept. of Computer Graphics, FIT, BUT
E-mail: xkonta00@stud.fit.vutbr.cz

Supervised by: Dr. Pavel Zemčík

ABSTRACT

This paper presents and discusses methods used for simulating fluids and highly deformable bodies. Two main methods are compared, advantages and disadvantages of these methods are evaluated with reference to their possible use in real-time. Simulations of fluid volumes are considered as opposed to the frequently used approach that just use surface simulations.

1 ÚVOD

Modelování kapalin a jiných snadno deformovatelných těles je dlouho rozvíjené téma v počítačové grafice a simulacích. Fyzikální popis chování kapalin je dobře známý a detailně popsán. První komplexní popis chování kapalin z roku 1845 je známý jako Navier-Stokesovy rovnice.

S rostoucím výkonem procesorů začíná být možné simulovat kapaliny na stolních počítačích v reálném čase. Simulace kapalin v reálném čase mohou být použity jako doplněk virtuálních prostředí, v chirurgických simulátorech nebo pro studování fyzikálních modelů umožňujících interakci uživatele s modelem.

2 FYZIKÁLNÍ ASPEKTY SIMULACE

Z Navier-Stokesových rovnic jsou odvozeny síly, které v reálném světě ovlivňují molekuly kapaliny. V počítačové simulaci se síly aplikují na zvolené elementy objemu, které jsou mnohem větší než molekuly. Aplikací sil se vypočítají změny tlaku a pohybu kapaliny. Odvozené síly jsou:

- Tlaková síla – zajišťuje nestlačitelnost kapaliny a různé hydraulické jevy.
- Viskozita – zabraňuje skokovým změnám rychlosti v kapalině a tlumí rázy.
- Gravitační síla – většinou přitažlivá síla k zemi, ale v astrofyzice se může jednat o přitažlivou sílu těles ve vesmíru.

- Povrchové napětí – způsobuje soudržnost kapaliny a při malém množství kapaliny je příčinou snahy zaujmout kulový tvar (například kapka). Vliv této síly na simulaci klesá s množstvím kapaliny, při větším měřítku začíná být povrchové napětí zanedbatelné oproti gravitační síle.

3 POPIS SIMULAČNÍCH METOD

I když existuje mnoho metod pro simulování kapalin, je možné je rozdělit do dvou základních skupin:

- Metody založené na konečných diferencích nebo konečných prvcích
- Metody založené na částicových systémech

3.1 METODY ZALOŽENÉ NA KONEČNÝCH DIFERENCÍCH

Tyto metody vyžadují diskretizaci prostoru, ve kterém se bude kapalina nacházet. Prostor se musí rozdělit na pomyslnou trojrozměrnou mřížku, stěny nádoby a překážky musí být zarovnány do této krychlové mřížky. V každé buňce vzniklého prostoru jsou počítány síly působící na kapalinu a podle gradientu výslednice sil pak vektor rychlosti proudění kapaliny.

Množství kapaliny vyjadřují částice na počátku rovnoměrně rozmístěné do prostoru, které se přemísťují mezi buňkami podle vektoru rychlosti. Kapalina je pak vykreslována jako implicitní plocha vzniklá obalením těchto částic [1].

3.2 METODY ZALOŽENÉ NA ČÁSTICOVÝCH SYSTÉMECH

Existuje více metod tohoto typu, v současnosti nejpoužívanější je metoda vyhlazených částic (smoothed particle hydrodynamics – SPH). Tato metoda byla vyvinuta v NASA [2], původně pro simulace plynů v astrofyzice. Dovoluje libovolnou funkci převést na vyhlazenou variantu vyjádřenou ve vybraných bodech. Integrace je nahrazena sumou, což usnadňuje numerický výpočet.

Částice nesou veškeré informace o kapalině. Pohyb částic dovoluje neomezené změny topologie, protože vazby mezi částicemi se mění podle vzdálenosti. Metoda nepotřebuje v principu žádnou mřížku ani diskretizaci prostoru.

Výpočet každé síly je možno provést zvlášť, v důsledku je možné experimentovat s různou úrovní realističnosti a výpočetní náročnosti. Další výhodou je možnost počítat kolizi kapaliny přímo s polygonálními modely.

Nevýhodou je, že model obsahuje několik umělých konstant, které je nutné nastavit experimentálně:

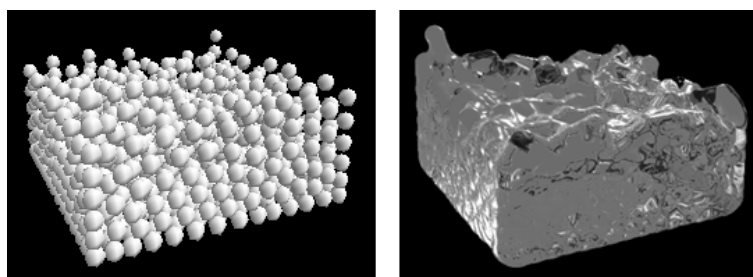
- Konstanta umělé viskozity – v modelu není použita reálná viskozita, ale její umělá varianta, která je výpočetně jednodušší a pro simulaci dostačující.
- Vyhlazovací vzdálenost – udává, na jak velkou vzdálenost se částice ovlivňují. Jejím nastavením můžeme ovlivnit rychlost výpočtu.

Jelikož objem kapaliny je tvořen částicemi, pro vykreslení lze použít libovolnou metodu zobrazování objemu definovaného částicovým systémem – billboarding, raytracing, marching cubes nebo point splatting.

4 SIMULACE V REÁLNÉM ČASE METODOU SPH

Pro simulování v reálném čase je velmi výhodná metoda SPH, protože vyžaduje méně výpočtů a umožňuje snadno nastavit požadovanou přesnost simulace.

Moje implementace SPH dovoluje simulovat na počítači s procesorem AtlonXP 2200 až 2000 částic v reálném čase (16 fps). Na obrázku 1 je vidět, jak vypadá simulace kapaliny složené z 1000 částic (32 fps).



Obrázek 1: Metoda vyhlazených částic – 1000 částic

5 ZÁVĚR

Simulování kapaliny v reálném čase metodou SPH dosahuje výborných výsledků. Chování kapaliny podle názoru několika hodnotících osob nevykazuje žádné závažné nedostatky. Při počtu 2000 částic je možné simulační výpočet provádět v reálném čase. Takováto simulace je již použitelná v chirurgickém simulátoru nebo virtuálním prostředí, není však příliš přesná.

Další práce se zaměří na lepší optimalizaci simulačního výpočtu a zlepšení realističnosti simulace přidáním povrchového napětí.

REFERENCES

- [1] Foster, N., Fedkiw, R.: Practical animation of liquids, In Proceedings of the 28th annual conference on Computer graphics and interactive techniques, ACM Press 2001, s. 23–30.
- [2] Monaghan, J. J.: Smoothed particle hydrodynamics, In Annu. Rev. Astron. Astrophys., 1992, s. 543-574
- [3] Müller, M., Schirm, S., Teschner, M.: Interactive Blood Simulation for Virtual Surgery Based on Smoothed Particle Hydrodynamics, In Technology and Health Care, 12, 2004, s. 25-31