

SIMULATION AND VISUALIZATION OF A WATER FLOW

Petr Drastil

Master Degree Programme (2), FIT BUT

E-mail: xdrast00@stud.fit.vutbr.cz

Supervised by: Jan Navrátil

E-mail: inavrati@fit.vutbr.cz

Abstract: This work deals with design and implementation of algorithm for a simulation of a water on an irregular terrain. The work examines essential building blocks of the simulation. It also suggests approaches that can be used to optimize the used method. Resulting simulation could run in real time.

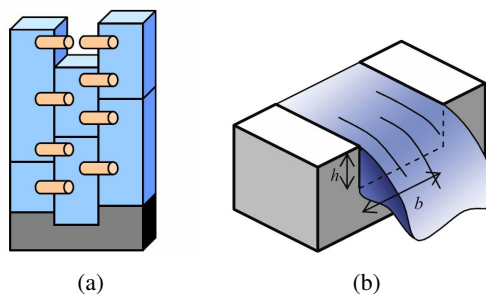
Keywords: Natural Phenomena, Physically-Based animation, Water simulation, Height-Field

1 ÚVOD

Simulace vody byla vždy intenzivně zkoumána v oblasti počítačové grafiky vzhledem ke složitosti jejího chování a vizualizace. Mezi jeden z nejobtížnějších problémů v této kategorii patří simulace vody nad nepravidelným terénem jakým je například koryto řeky. To může být různě široké, hluboké, strmé a mohou se v něm vyskytovat menší či větší vodopády. Tento článek se zabývá implementací algoritmu pro simulaci vodního toku nad generickým terénem, který pracuje v reálném čase. Pro simulaci je využit fyzikální model, jež využívá vlastností hydrostatického tlaku.

2 SIMULACE VODY

Simulačním model byl převzat z práce Maese [1] a vychází z následujících podmínek. Celý generický terén je převeden na výškovou mapu a nad touto výškovou mapou je inicializován počáteční stav vodní hladiny, kterou může ovlivnit uživatel. Každý texel, jež obsahuje část vodní hladiny, reprezentuje jeden diskretní vodní sloupec. Vodní sloupce, které slouží pro přítok a odtok vody do a ze systému, se modelují tak, že mají zachovánu svojí inicializační výšku během celé doby simulace. Vodní sloupec je rozdělen na více buněk, aby simulace probíhala rychleji. V místě překryvu buněk vodních sloupců je vytvořeno virtuální potrubí (viz. obrázek 1). Průtok vody potrubím je po startu simulace nulový. Výška vodního sloupce se mění v závislosti na průtoku vody skrz jednotlivá potrubí. Pro šíření vody do oblastí, kde se ještě žádná voda nenachází, se používá simulační model pro přepad vody skrz vodní jez (viz. obrázek 1b). Tento model je též použit pro přepad nestabilních vln na vodní hladině.



Obrázek 1: (a) Propojení sousedních vodních sloupců potrubím. (b) Model průtoku vody vodním jezem. Obrázky převzaty z [1].

2.1 FYZIKÁLNÍ POPIS MODELU

Průtok vody ve virtuálním potrubí je určen pomocí fyzikální rovnice o hydrostatice. Tlak na jedné straně potrubí je definován jako

$$p = h\rho g + p_0 + p_e, \quad (1)$$

kde h je výška vodního sloupce nad daným bodem; ρ je hustota kapaliny; g je gravitační zrychlení; p_0 je atmosferický tlak a p_e je tlak zapříčiněný vnějšími silami. Rychlost průtoku vody potrubím vychází z rozdílu tlaku mezi dvěma sousedními body, což lze popsat rovnicí

$$\eta = f\eta_0 + \Delta t \frac{(p_{head} - p_{tail})}{\rho l}, \quad (2)$$

kde f je nefyzikální koeficient tření k získání postupné ztráty energie; η_0 je rychlost proudění vody v předcházejícím kroku simulace; Δt je simulační časový krok; a l označuje délku potrubí. Při znalosti rychlosti průtoku potrubím je možné spočítat objem vody, který potrubím projde za jednotku času, a ten následně transformovat na novou výšku ve výškové mapě. Upravená hladina ve výškové mapě se následně promítne zpět do 3D prostoru. Pro šíření vody do prázdných buněk je využit model průtoku vody vodním jezem. Velikost průtoku je dána vztahem

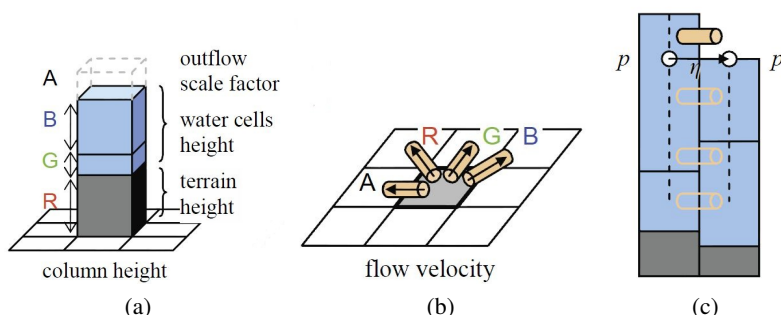
$$\zeta = \frac{2}{3}bh^{\frac{3}{2}}\sqrt{2g}, \quad (3)$$

kde b určuje šířku vodního sloupce a h je výška volně přepadávající vody. Přenesený objem vody je pak závislý pouze na jednotce času.

2.2 NÁVRH ALGORITMU PRO GPU

Celý algoritmus je upraven, aby mohl být počítán pomocí shaderů na GPU, jež exceluje v rychlých paralelních výpočtech. Rychlost algoritmu je získána přístupem jen ke dvěma texturám se simulačními daty; první nese rychlost průtoku vody potrubím a druhá obsahuje výšky vodních sloupců (viz. obrázky 2a a 2b).

Pro použití pouze dvou textur bylo nutné zavést následující optimalizace. Rozdíl tlaku mezi jakýmkoliv dvěma ponořenými body je stejný, pokud se tyto dva body nachází ve stejné výšce. Tím pádem lze snížit paměťové nároky výpočtem a uložením jen jedné hodnoty η ; například pár s tlakovým rozdílem $(p - p')$, který je zobrazen na obrázku 2c.



Obrázek 2: (a) Optimalizace rychlosti proudění mezi buňkami. (b) Uložení dat do výškové mapy. (c) Uložení dat rychlostí průtoku potrubím. Obrázky převzaty z [1].

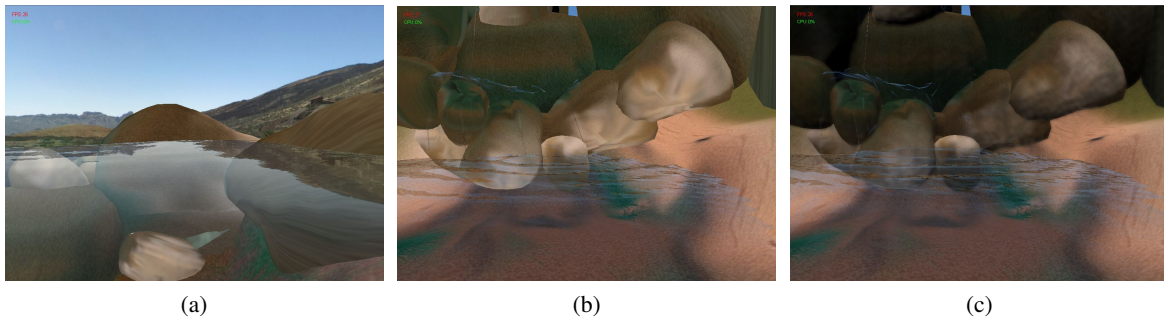
Další optimalizace spočívá v uložení rychlosti proudění vody potrubím, jež spojuje sousední vodní sloupce. Každý vodní sloupec má 8 sousedů, avšak pro výpočet stačí pouze čtyři hodnoty, jelikož zbylé hodnoty jsou duplicitní a dá se k nim přistoupit z okolních vodních sloupců.

Pomocí těchto dvou optimalizací lze redukovat počet nutných přístupů do paměti na 25% oproti originálnímu algoritmu, což značně urychlí celou simulaci, obzvláště při použití výškových map s vysokým rozlišením. Toto číslo je platné, za předpokladu, kdy počet buněk s vodou ve vodním sloupci je roven dvěma, tak aby se veškerá data vešla do jedné textury.

2.3 VIZUALIZACE

Terén je vykreslen technikou "deferred rendering", kdy jsou jednotlivé složky osvětlení uloženy do separátních textur. Při vykreslení je navíc uložena informace o normálách modelu a hloubce scény, která je následně použita metodou "Screen space ambient occlusion" (SSAO) [2] pro vypočítání stínů, které vzniknou blízkou vzdáleností dvou těles. Stíny jsou následně sloučeny se složkami osvětlení a výsledek je vykreslen na obrazovku.

Na závěr je zrekonstruována vodní hladina pomocí simulační výškové mapy. Odraz na vodní hladině je získán metodou "environmental mapping". Refrakce světla pod hladinu je vypočítána pomocí Snellova zákona, hloubkové informace o scéně a finální textury se SSAO efektem. Výsledek je smíchan pomocí Fresnelovi rovnice, jež určuje poměr odraženého a pohlceného světla podle polohy pozorovatele.



Obrázek 3: (a) Reflektce a refrakce viditelná na vodní hladině. (b) Scéna bez zapnutého SSAO. (c) Scéna se zapnutým SSAO.

3 ZÁVĚR

V článku byl popsán algoritmus pro interaktivní simulaci vody nad generickým terénem. Z provedených experimentů vyplynulo, že tuto simulaci lze provádět na grafické kartě Nvidia GTX285M při rozlišení 1024×768 (velikost simulačního gridu je shodná) při 25-ti až 30-ti snímcích za sekundu, přičemž byly zapnuty i některé pokročilé efekty jako je SSAO. Do budoucna lze tento algoritmus rozšířit o částicové efekty jako jsou bublinky ve vodě nebo pění vody při střetu s překážkou. Vlastní přínos spočíval v odstranění chyby v špatně definovaných hraničních podmínkách v originální práci a odlišné metodě vizualizace refrakce vodní hladiny, jež využívá dat ze SSAO.

REFERENCE

- [1] Maes, M. M.; Fujimoto, T.; Chiba, N.: Low-Memory and Interactive-Rate Animation of Water-Column Based Flows. The Journal of the Society for Art and Science, ročník 7, č. 1, July 2008: s. 1–13, ISSN 1347-2267.
- [2] Chi, Ch.: Screen Space Ambient Occlusion in StarCraft II [online]. <http://www.cise.ufl.edu/~cchi/SSAO.pdf>, Oct 2010 [cit. 2012-2-28].