

DYNAMIC TERRAIN MODIFICATIONS

Radim Dvořák

Master Degree Programme (2), FIT BUT

E-mail: xdvora69@stud.fit.vutbr.cz

Supervised by: Martin Drahanický

E-mail: drahan@fit.vutbr.cz

ABSTRACT

This project deals with problems of dynamic terrain modifications from purely geometric and physical deformation perspective. Present state of terrain deformation in OpenSceneGraph environment, which is now geometric only, is outlined. Special emphasis is placed on physically based deformable models, which are described and evaluated with respect to project requirements and goals. The physically based deformable terrain model in regards to further project progress is designed and explained.

1. ÚVOD

Dynamické změny v terénu spadají v oblasti počítačové vědy do mnoha kategorií. Jmenovitě to je počítačová grafika, modelování a simulace, které využívají poznatky z fyziky. Z hlediska počítačové grafiky je to zejména způsob reprezentace a vizualizace samotného terénu a schopnost dynamické změny této reprezentace podle aktuálních potřeb. V prostředí OpenSceneGraph [1] je zástupce nefyzikální deformace terénu projekt Terrain Deformation Software (TDS) [2], který již přešel z fáze testovací do fáze konečné. Z pohledu fyzikálního modelování je terén vyjádřen jako model, který je zjednodušenou napodobeninou skutečnosti a má charakteristické fyzikální vlastnosti. Simulace potom znázorňuje chování modelu v čase.

Hlavním cílem projektu je pomocí dostupné literatury navrhnout a implementovat model pro dynamické změny (deformace) v terénu, který splňuje stanovené požadavky a který bude pracovat nad toolkitem OpenSceneGraph. Mezi tyto požadavky patří zejména práce modelu terénu v reálném čase a deformace terénu na fyzikální bázi.

2. FYZIKÁLNĚ DEFORMOVATELNÉ MODELY

Deformacemi a tokem hmoty se zabývá vědní obor reologie. V souladu s reologií mohou být všechny materiály modelovány od čistě elastických až po čistě viskózní (plastické). Těleso z materiálu vykazujícího elastické chování se deformuje pod účinkem vnější síly a vrací se do původního tvaru po jejím uvolnění. U plastických materiálů existuje limitní velikost síly, po jejímž překročení dochází k permanentní deformaci tělesa.

2.1. SPOJITÉ MODELÝ

Spojité modely předpokládají energetickou rovnováhu obecného tělesa, na které působí vnější síly. Deformace tělesa je potom funkce těchto působících sil a materiálových vlastností tělesa. Těleso docílí rovnováhy, když je jeho potenciální energie minimální.

Spojité modely obecně předpokládají malé změny v deformaci tělesa. Pokud je toto splněno během simulace, jsou výsledky dané řešením soustavy diferenciálních rovnic poměrně přesné. Z podstaty FEM či alternativních numerických metod, používaných pro řešení soustav diferenciálních rovnic, jsou tyto metody ovšem výpočetně náročnější.

2.2. ČÁSTICOVÉ SYSTÉMY

Částicové systémy jsou oproti spojitým modelům již ze své podstaty diskrétními modely. Model tělesa je aproximován pomocí pravidelné mřížky částic v prostoru s pevně definovanými vazbami. Pro každý bod v mřížce je aplikován druhý Newtonův zákon [4]:

$$m_i \ddot{x}_i = -\gamma \dot{x}_i + \sum_j g_{ij} + f_i \quad (1)$$

m_i je hmotnost částice, x_i poloha částice, γ_i tlumící koeficient, g_{ij} síla způsobená vazbou mezi částicemi i a j , a f_i je suma vnějších sil působících na částici i .

Pomocí částicových modelů je možné simulovat velké deformace jak elastických tak plastických těles. Na druhou stranu nevýhodou částicových systémů je, na rozdíl od spojitých modelů, nutnost ladění parametrů diferenciální rovnice (1), protože ty přímo neodpovídají měřitelným fyzikálním vlastnostem materiálů.

2.3. VOLNĚ VÁZANÉ ČÁSTICOVÉ SYSTÉMY

Stejně jako v klasických částicových systémech je i u volně vázaných systémů využívána klasická fyzika pro pohyb částic v prostoru, který je vyjádřen pomocí rovnice (1). Rozdíl je v tom, že nejsou pevně definované vazby mezi jednotlivými částicemi. Namísto toho se definuje potenciální energie systému, která určuje síly mezi částicemi na základě jejich polohy. V [3] byly pro popis deformovatelných těles použity tzv. povrchové částice nebo částicové systémy, kdy je těleso popsáno pouze svým povrchem a jeho vlastnosti povrchovými potenciálními energiemi.

Volně vázané částicové systémy lze použít pro velkou škálu deformací výběrem vhodné aproximace potenciální funkce a použitím tlumící síly, podobně jako je tomu u klasických částicových systémů, k modelování plasticity. Navíc při použití povrchových částicových systémů je možné použít částice přímo k vizualizaci tělesa.

3. NÁVRH FYZIKÁLNÍ DEFORMACE TERÉNU

Terén v OpenSceneGraph je definován sítí trojúhelníků, které představují jeho povrch. Protože deformace jsou způsobené takto definovanému terénu, byl vybrán povrchový částicový model pro reprezentaci terénu.

Pro soudržnost terénu byla vybrána Lennard-Jonesova potenciální funkce [3], podle které lze definovat přitažlivé síly držící částice pohromadě. Výhodou této reprezentace je nezávislost na uspořádání částic, možnost určení disociační energie, možnost určení rovnovážné vzdálenosti mezi částicemi a možnost měnit tuhost materiálu (asfalt \times půda).

Pro výpočet mezičásticových sil je možné ignorovat síly vzdálenějších částic. Toto je klíčové pro efektivitu simulace. Za tímto účelem je Lennard-Jonesova funkce upravována

váhovací funkcí, která plynule tlumí síly od vzdálenějších částic, což vede také k větší numerické stabilitě [3]. Pro nalezení blízkých částic je vhodná datová struktura kd-tree, pomocí níž lze efektivně spočítat nejbližší sousedy bodů v prostoru [5]. Přitom je nutné kd-tree sestavit a vypočítat sousedy částic opakovaně během simulace, protože se pozice částic vlivem deformací mění v čase. Tento proces není třeba dělat každý integrační krok, neboť lze předpokládat, že změna polohy částic je za krátký časový interval zanedbatelná.

Pro numerickou stabilizaci modelu slouží tlumící síla (nejlevější člen pravé strany rovnice (1)), která určuje míru pohlcení kinetické energie částice. Pro určení míry plasticity materiálu slouží aplikace síly působící proti relativnímu pohybu dvou částic [3]. Z hlediska působení vnějších sil je třeba během simulace detekovat kolize. U částicových systémů je detekce kolize těles zjednodušena na detekci kolize částice a povrchu tělesa, které s částicovým systémem koliduje. Velikost síly, kterou těleso působí během kolize na částici, je možné aproximovat z aktuální hybnosti tělesa a počtem částic, na které těleso působí.

4. ZÁVĚR

Byl zjištěn současný stav problematiky deformace terénu v toolkitu OpenSceneGraph, který v této fázi vývoje již umožňuje deformovat terén podle vkládaných objektů do grafické databáze – projekt TDS [2], který byl v rámci projektu otestován na různých scénách. Pro účely dynamických změn v terénu založených na fyzikálním základě byly prostudovány relevantní fyzikálně deformovatelné modely. Každý model byl popsán a byly shrnuty jeho výhody a nevýhody. V průběhu studie byly modely porovnávány v souvislosti možné aplikace pro deformovatelný terén, což vyústilo v základní návrh deformovatelného terénu pro OpenSceneGraph. Tímto modelem je modifikovaný povrchový částicový systém popsáný v kapitolách 2.3, Volně vázané částicové systémy, a 3, Návrh fyzikální deformace terénu.

LITERATURA

- [1] OSGWiki : introduction.Introduction, 21. března 2006.
<<http://www.openscenegraph.org/osgwiki/pmwiki.php/Introduction/Introduction>> (leden 2007).
- [2] Terrain Deformation Software : progress report for Feb 8, 2006, 8. února 2006.
<http://www.andesengineering.com/Projects/TDS/TDSReport_Feb_2006/> (leden 2007).
- [3] Tonnesen, D.: Dynamically Coupled Particle Systems for Geometric Modeling, Reconstruction, and Animation. [PhD thesis] University of Toronto.
<<http://www.dgp.toronto.edu/~davet/phd/tonnesen-thesis-ps/tonnesen-0.ps>> (leden 2007).
- [4] Gibson, S. F. F., Mirtich, B.: A Survey of Deformable Modeling in Computer Graphics. MERL Technical Report, 1997.
<<http://www.merl.com/people/frisken/deformationSurvey.pdf>> (leden 2007).
- [5] Kd-tree, 21. prosince 2006. <<http://en.wikipedia.org/wiki/Kd-tree>> (leden 2007).