Na tomto místě bude oficiální zadání práce

České vysoké učení technické v Praze
Fakulta elektrotechnická
Katedra počítačů

Diplomová práce

Realistické zobrazování modelů vegetace v reálném čase

Bc. Adam Kučera

Vedoucí práce: Ing. Jiří Bittner, PhD.

Studijní program: Otevřená informatika, strukturovaný, Navazující magisterský

Obor: Počítačová grafika a interakce

28. prosince 2011

Poděkování

Velice rád bych touto cestou poděkoval vedoucímu práce Ing. Jiřímu Bittnerovi, PhD. za podnětné vedení práce.
I would also like to express my thanks to Ralf Habel for inspiring consultations and providing advanced leaf texture data.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem práci vypracoval samostatně a použil jsem pouze podklady uvedené v přiloženém seznamu.
Nemám závažný důvod proti užití tohoto školního díla ve smyslu §60 Zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon).

V Liberci dne 28. prosince 2011 .....

Abstract

Translation of Czech abstract into English.

Abstrakt

Abstrakt v češtině
Očekávají se cca 1 – 2 odstavce, maximálně půl stránky.

Obsah

1 Testování **1**

2 Závěr **9**

2.1 Možnosti vylepšení a dalšího rozvoje 9

A Seznam použitých zkratek **19**

B Instalační a uživatelská příručka **21**

C Obsah přiloženého DVD **23**

Kapitola 1

Testování

Testování výsledné aplikace probíhalo na sestavě Intel®Core™i7 CPU 950, frekvence 3.07GHz, 8 logických jader, 12288 MB RAM, GeForce GTX 470/PCI/SSE2. Rozlišení obrazu bylo pro všechny testy fixováno na 1280×720px. Veškeré naměřené hodnoty fps (resp. zobrazovacích časů), jsou brány jako minimum dané veličiny za určitou dobu (typicky 10-20 vteřin). Měření těchto hodnot bylo prováděno pomocí tzv. TIMER_QUERY. Jde o mechanismus, který měří čas potřebný pro vykreslení přímo na GPU pomocí Query Object asynchroního dotazu. Hodnota je určována s přesností na nanosekundy, ale uváděné hodnoty (v ms) jsou pro přehlednost zaokrouhleny na menší počet desetinných míst.

(a) (b) (c)

Obrázek 1.1: Náhledy z testování, scéna SMALL FOREST s 50 instancemi, (a) LOD0, (b) LOD1, (c) LOD2, 0

Nejprve byla testována kvalita a rychlost zobrazování různých úrovní LOD. Pro tyto účely byly fixovány dvě scény s různým počtem instancí stromů. Scéna **SMALL FOREST** představuje pohled na menší les (max. 50 instancí). Všechny instance by se měly nacházet v pohledovém prostoru kamery. Podobu scény při zobrazení všech stromů pouze v určitém LOD zachycují obrázky 1.1

Pro testování rozsáhlejších porostů (až 1000 instancí) byla používána scéna **FOREST** (viz obr. 1.2).

(a) (b) (c)

Obrázek 1.2: Náhledy z testování, scéna FOREST s 1000 instancemi , (a) LOD0, (b) LOD1, (c) LOD2, 0

Následující tabuka uvádí hodnoty zobrazovacích časů naměřené pro různý počet instancí při zobrazování bez multisamplingu:

#instancí	LOD0 (ms)	LOD1 (ms)	
10	2,98	3,71	scéna SMALL FOREST
25	7,37	8,96	
50	13,71	16,89	
100	20,25	6,54	scéna FOREST
250	48,15	15,59	
500	94,73	30,36	
1000	188,96	57,16	

Tabulka 1.1: Porovnání LOD0 a LOD1, bez multisamplingu

A stejný test při vykreslování s multisamplingem (4 vzorky na pixel)

#instancí	LOD0 (ms)	LOD1 (ms)	
10	3,72	4,26	scéna SMALL FOREST
25	8,32	9,48	
50	15,94	16,5	
100	19,34	6,04	scéna FOREST
250	47,5	14,36	
500	94,2	28,58	
1000	188,3	55,87	

Tabulka 1.2: Porovnání LOD0 a LOD1, 4x multisampling

Jak se ukázalo, zpomalení způsobené zpracováváním více vzorků je takřka neznatelné. Potvrdil se i předpoklad, že rychlost zobrazování LOD0 závisí především na počtu zpracovávaných vrcholů (a tedy na počtu stromů), zatímco doba potřebná k vykreslení LOD1 závisí především na počtu fragmentů, do kterých je kresleno. Zatímco zobrazovací čas LOD0 s přibývajícími instancemi roste a je víceméně jedno, jak je scéna uspořádána, hraje pro

LOD1 uspořádání scény důležitou roli, neboť **zobrazení 50 instancí ve scéně SMALL FOREST trvá déle než zobrazení pětinásobného počtu (250) instancí ve scéně FOREST**. Záleží na výsledném pokrytí obrazu pixely instancí LOD1. Podstatné je ovšem zjištění, že pro malé scény je efektivnější využít LOD0, zatímco pro pohledy na rozsáhlé scény se již projevují přednosti a efektivita LOD1, které je pro 1000 instancí v testovaných scénách zhruba **3×efektivnější**. Jak se navíc ukázalo, je velice zásadní rozdíl při pohledu na instance LOD0 a LOD1 z větší vzdálenosti. Instance zobrazované v LOD0 ztratí listy a stanou se tak těžko použitelnými (viz porovnání na obr. 1.3). Tento jev souvisí s použitím částečně průhledných textur pro zobrazení jednotlivých listů. Při pohledu z dálky je taková textura vzorkována tak nešťastně, že se stává kompletně průhlednou. Naproti tomu, instance LOD1 si zachovávají svůj vzhled a co se týče kvality tak převyšují pro pohledy z dálky instance LOD0.

LOD0:

LOD1:

Obrázek 1.3: Náhledy z testování, scéna FOREST s 1000 instancemi, porovnání výsledné kvality

Silnou závislostí zobrazovacího času na počtu fragmentů se zabývá následující test. Je vytvořena scéna s jedinou instancí v počátku. Následně je měřen zobrazovací čas pro pohledy z různých vzdáleností. Využívá se vlastností perspektivní projekce, kdy vzdálenější objekty se jeví menší - a tedy jsou vykreslovány do menšího počtu fragmentů. Měření probíhalo bez multisamplingu a počet vykreslovaných fragmentů byl zaznamenáván pomocí Query Object čítače zpracovávaných fragmentů `GL_SAMPLES_PASSED`. Jednotlivé pohledy na strom zachycuje sada obrázků 1.8.

(a) (b) (c) (d) (e)

Obrázek 1.4: Náhledy z testování, scéna FRAGMENTS, (a) vzdálenost 50, (b) vzdálenost 40, (c) vzdálenost 30, (d) vzdálenost 20, (e) vzdálenost 10

Následující tabulka a grafy zprostředkovávají naměřené hodnoty pro vzdálenosti 10, 20, 30, 40 a 50 jednotek (velikost stromu je 10 jednotek).

	LOD0			LOD1		
vzdálenost	# fragmentů	fps	čas (ms)	# fragmentů	fps	čas (ms)
50	4226	1391,3	0,71875	6734	1693,29	0,59
40	7662	1268,64	0,78825	10537	1538,84	0,65
30	15379	1183,22	0,84515	18886	1263,75	0,79
20	39297	1018,22	0,98211	43139	928,04	1,08
10	185531	665,14	1,50345	180614	389,14	2,57

Tabulka 1.3: Závislost zobrazovacího času na počtu fragmentů

(a) (b)

Obrázek 1.5: Grafy závislosti zobrazovacího času na počtu fragmentů

Vzájemná souvislost je pak dobře patrná z grafu na obr. 1.6

Obrázek 1.6: Graf závislosti zobrazovacího času na počtu fragmentů pro LOD0 a LOD1.

	fps	čas (ms)	rozdíl časů	%
bez stromů	2384,76	0,42	0,42	1,46
LOD0	112,64	8,88	8,46	29,43
+LOD1	36,7	27,25	18,37	63,92
+LOD2	34,79	28,74	1,49	5,19

Tabulka 1.4: Podíly jednotlivých LOD na výsledném čase zobrazení

Obrázek 1.7: Graf podílů jednotlivých LOD na zobrazovacím čase

(a) (b) (c)

Obrázek 1.8: Náhledy testovací scény. Zobrazení pouze LOD0 (a), LOD0 a LOD1 (b), všechny LOD (c)

	LOD1				LOD2			
	# instancí				# instancí			
	10	25	50	100	10	25	50	100
bez animace	1,55	3,39	6,35	11,31	0,68	1	1,73	2,68
kmen	2,64	4,51	8,14	13,96	1,35	1,74	3,07	4,47
hlavní větve	3,84	7,73	14,22	23,53	1,39	3,06	3,83	4,75
listy	4	8,45	16,91	30,93	1,79	3,66	4,14	6,44

Tabulka 1.5: Vliv podrobnosti animace na zobrazovací čas

Obrázek 1.9: Graf závislosti zobrazovacího času na podrobnosti animace LOD1.

	zobrazovací čas (ms)		
rozlišení stínové mapy	LOD0	LOD1 (přepis hloubky)	LOD1 (bez přepisu)
512 × 512	2,26	3,21	3,28
1024 × 1024	2,44	3,08	3,02
2048 × 2048	2,75	5,98	5,74

Tabulka 1.6: Vliv rozlišení stínové mapy na zobrazovací čas

Obrázek 1.10: Graf závislosti zobrazovacího času na podrobnosti animace LOD2.

- Způsob, průběh a výsledky testování.
- Srovnání s existujícími řešeními, pokud jsou známy.

Kapitola 2

Závěr

Diskutovat splneni zadani: Prostudujte existující metody pro realistické zobrazování modelů vegetace v reálném čase a simulaci vybraných jevů jako je pohyb vegetace vlivem větru a změny vegetace v rámci různých ročních období. Na základě nastudovaných metod navrhněte a implementujte software umožňující realistické zobrazování vegetace v reálném čase s podporou zobrazování rozsáhlejších vegetačních celků. Výslednou implementaci otestujte z hlediska efektivity pro různé úrovně realističnosti simulace a zobrazování.

2.1 Možnosti vylepšení a dalšího rozvoje

- uložení předzpracovaných dat...
- Preciznější frustum culling - současná aplikace pouze zahazuje instance LOD1 a LOD2 za rovinou pohledu a provádí implicitní frustum culling v rámci fixních částí pipeline GPU. Toto by šlo vylepšit! + occlusion queries... - části lesa, co jsou schované za za stromy, či terénem, není třeba zobrazovat.
- Efektivnější řízení LOD - neurčovat LOD pro každou instanci, ale pro skupiny - využít kD-tree či BVH... Současná verze prochází každou jednotlivou instanci v každém snímku. Místo toho by šlo využít akceleračních struktur a LOD určovat pro mnoho instancí najednou... otázkou je efektivní řazení - či implementace algoritmu průhlednosti nezávislého na řazení...
- Optimalizace počtu vykreslovaných fragmentů LOD - nyní se díky back-to-front neuplatňuje žádná optimalizace díky z-testům. Všechny fragmenty jsou vykreslovány, ačkoliv velká část není stejně vidět!
- Jiná forma LOD - billboard clouds. Přechod od plné 3D reprezentace k primitivním billboardům je příliš hrubý. Lepší by bylo využít verze low-poly<>billboard cloud a na těch provádět animaci v rámci textur... (zpětné transformace)
- Přechod ve stínové mapě. Nyní se řeší primitivním ditheringem. Možné by bylo využít stochastický přístup (náročnost na počet fragmentů -> nevhodné pro LOD1)

- Plné a detailní modely (ne ty zjednodušené). V současnosti jsou modely popsané jen co se týče topologie, ale v zásadě nic nebrání tomu upravit aplikaci tak, aby pracovala s obecnými modely se známou topologií.
- Order-independent průhlednost Průhlednost nyní způsobuje mnoho komplikací s řazením instancí i primitiv, zejména by bylo výhodné zpracování průhlednosti optimalizovat vzhledem k z-testům. ideální by byl front-to-back s early termination.
- Předpočítané ambient occlusion koeficienty pro listy... (listy více uvnitř koruny by měly být tmavší) Vizuální kvalitu zobrazovaného stromu by podstatně zvýšilo ztmavení listů uvnitř koruny. Každému listu by tak mohl příslušet koeficient (případně souřadnice do textur) ze kterého by bylo možné ztmavení vypočíst.
- Barevné stínové mapy - stíny přebírají barvu listů, jimiž světlo prošlo... Jelikož se berou již v současné aplikaci v úvahu průsvitné listy, ale vržené stíny jsou jednobarevné, bylo by možné na základě článku Stochastic Colored Shadow Maps implementovat techniku, která by brala v potaz právě průsvitnost listů a ovlivňovala by tak barvu stínů.

- Zhodnocení splnění cílů DP/BP a vlastního přínosu práce (při formulaci je třeba vzít v potaz zadání práce).
- Diskuse dalšího možného pokračování práce.

Literatura

[1] OpenGL SDK, Documentation, December 2011. Dostupné z: <http://www.opengl.org/sdk/docs/>.

[2] BARTA, P. – KOVáCS, B. Order Independent Transparency with Per-Pixel Linked Lists. CESCG. Dostupné z: <http://www.cg.tuwien.ac.at/hostings/cescg/CESCG-2011/>.

[3] BOUSQUET, L. et al. Leaf BRDF measurements and model for specular and diffuse components differentiation. *Remote Sensing of Environment.* 2005, 98, 2-3, s. 201 – 211. ISSN 0034-4257. doi: 10.1016/j.rse.2005.07.005. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0034425705002324>.

[4] COOK, R. L. – TORRANCE, K. E. A reflectance model for computer graphics. *SIGGRAPH Comput. Graph.* August 1981, 15, s. 307–316. ISSN 0097-8930. doi: http://doi.acm.org/10.1145/965161.806819. Dostupné z: <http://doi.acm.org/10.1145/965161.806819>.

[5] DECAUDIN, P. AntTweakBar, December 2011. Dostupné z: <http://www.antisphere.com/Wiki/tools:anttweakbar>.

[6] DECAUDIN, P. – NEYRET, F. Rendering Forest Scenes in Real-Time. In KELLER, A. – JENSEN, H. W. (Ed.) *15th Eurographics Workshop on Rendering, Rendering Techniques'04, June, 2004*, s. 93–102, Norköping, Suède, 2004. Eurographics Association.

[7] FUHRMANN, A. L. – UMLAUF, E. – MANTLER, S. Extreme Model Simplification for Forest Rendering . s. 57–66, 2005. doi: 10.2312/NPH/NPH05/057-066. Dostupné z: <http://www.eg.org/EG/DL/WS/NPH/NPH05/057-066.pdf>.

[8] GARCíA, I. et al. Multi-layered indirect texturing for tree rendering. In D. EBERT, S. M. (Ed.) *Eurographics Workshop on Natural Phenomena*, 2007. Dostupné z: <http://iiia.udg.es/GGG/publicacions>.

[9] GEELNARD, M. – BERGLUND, C. GLFW - An OpenGL library, December 2011. Dostupné z: <http://www.glfw.org>.

[10] GIEGL, M. – WIMMER, M. Unpopping: Solving the Image-Space Blend Problem for Smooth Discrete LOD Transitions, March 2007. ISSN 0167-7055. Dostupné z: <http://www.cg.tuwien.ac.at/research/publications/2007/GIEGL-2007-UNP/>.

[11] GILET, G. – MEYER, A. – NEYRET, F. Point-based rendering of trees. In GALIN, E. – POULIN, P. (Ed.) *Eurographics Workshop on Natural Phenomena 2000, August, 2005*, s. 67–72, Dublin, Irlande, 2005. ACM/SIGGRAPH, A.K. Peters.

[12] HABEL, R. – KUSTERNIG, A. – WIMMER, M. Physically Based Real-Time Translucency for Leaves, June 2007. Dostupné z: <http://www.cg.tuwien.ac.at/research/publications/2007/Habel_2007_RTT/>.

[13] HABEL, R. – KUSTERNIG, A. – WIMMER, M. Physically Guided Animation of Trees, March 2009. ISSN 0167-7055. Dostupné z: <http://www.cg.tuwien.ac.at/research/publications/2009/Habel_09_PGT/>.

[14] IKITS, M. – MAGALLON, M. GLEW: The OpenGL Extension Wrangler Library, December 2011. Dostupné z: <http://glew.sourceforge.net>.

[15] JAKULIN, A. Interactive Vegetation Rendering with Slicing and Blending. In SOUSA, J. T. (Ed.) *Eurographics 2000: Short presentations*, 2000. Dostupné z: <http://www.stat.columbia.edu/~jakulin/slicing-and-blending/trees-electronic.pdf>.

[16] Lode Vandevenne. LodePNG, December 2011. Dostupné z: <http://lodev.org/lodepng>.

[17] MANTLER, S. – TOBLER, R. F. – FUHRMANN, A. L. The State of the Art in Realtime Rendering of Vegetation, 2003.

[18] Přispěvatelé desktopwallpaper-s.com. http://desktopwallpaper-s.com/19-Computers/~/Green_leaves_HD_wallpaper/, stav z 14. 12. 2011.

[19] REBOLLO, C. et al. Fast rendering of leaves. In *Proceedings of the Ninth IASTED International Conference on Computer Graphics and Imaging*, CGIM '07, s. 46–53, Anaheim, CA, USA, 2007. ACTA Press. Dostupné z: <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=1710707.1710717>. ISBN 978-0-88986-645-4.

[20] RENé TRUELSEN, M. B. Visualizing procedurally generated trees in real time using multiple levels of detail, 2008. Dostupné z: <http://image.diku.dk/projects/media/truelsen.bonding.08.pdf>.

[21] The Khronos Group Inc. GLUT- The OpenGL Utility Toolkit, December 2011. Dostupné z: <http://www.opengl.org/resources/libraries/glut/>.

[22] UMLAUF, E. J. Image-Based Rendering of Forests. Master's thesis, Vienna University of Technology, 2004.

Seznam obrázků

1.1 Náhledy testovací scény 1
1.2 Náhledy testovací scény 2
1.3 Náhledy testovací scény FOREST 3
1.4 Náhledy testovací scény 4
1.5 Grafy závislosti zobrazovacího času na počtu fragmentů 4
1.6 Graf závislosti zobrazovacího času na počtu fragmentů pro LOD0 a LOD1 . . 5
1.7 Graf podílů jednotlivých LOD na zobrazovacím čase 5
1.8 Náhledy testovací scény 6
1.9 Graf závislosti zobrazovacího času na podrobnosti animace LOD1 6
1.10 Graf závislosti zobrazovacího času na podrobnosti animace LOD2 7

Seznam tabulek

1.1 Porovnání LOD0 a LOD1, bez multisamplingu 2
1.2 Porovnání LOD0 a LOD1, 4x multisampling 2
1.3 Závislost zobrazovacího času na počtu fragmentů 4
1.4 Podíly jednotlivých LOD na výsledném čase zobrazení 5
1.5 Vliv podrobnosti animace na zobrazovací čas 6
1.6 Vliv rozlišení stínové mapy na zobrazovací čas 6

Příloha A

Seznam použitých zkratek

2D Two-Dimensional

3D Three-Dimensional

BRDF Bidirectional Reflectance Distribution Function

BSSRDF Bidirectional Surface Scattering Reflectance Distribution Function

CPU Central Processing Unit

FBO Frame Buffer Object

fps Frames Per Second

GPU Graphics Processing Unit

LOD Level Of Detail

OpenGL Open Graphic Library

Příloha B

Instalační a uživatelská příručka

Tato příloha velmi žádoucí zejména u softwarových implementačních prací.

Příloha C

Obsah přiloženého DVD

```
DVD
├── BIN ............ binární soubor pro platformu Windows, příslušná data a knihovny
├── IMAGES ......................................... screenshoty z aplikace
├── SRC ........................... zdrojové kódy aplikace, příslušná data a knihovny
├── TEXT ........................................... co vlastne ten adresar obsahuje
│   ├── PDF .... text diplomové práce ve formátu PDF, optimalizovaný pro různé rozlišení
│   └── TEX ................ zdrojové soubory a data pro sazbu textu systémem LaTeX
├── TOOLS ......................................... nástroje spojené s aplikací
└── VIDEO ............................................................ videa
    ├── CAPTURED ........................... zaznamenaný generovaný obraz aplikace
    └── REFERENCE ............................... referenční videa reálných stromů
```