

PERFORMANSE I ARHITEKTURA GRAFIČKIH I CENTRALNIH PROCESORA U RAČUNALNOJ GRAFICI

PERFORMANCE AND ARCHITECTURE OF GRAPHIC AND CENTRAL PROCESSORS IN COMPUTER GRAPHICS

Andrija Bernik

Sveučilište Sjever, Varaždin, Hrvatska

Sažetak

Tema rada je osmišljena kao podloga za buduća istraživanja gdje je potrebno uočiti glavne razlike po pitanju performansi grafičkih i centralnih procesora. Elementi koji su važni i uzimaju se u obzir prilikom istraživanja su propusnost memorije i shaderi. Postoje tri tipa shadera od kojih je poseban naglasak na pixel i vertex shader-ima. Kroz rad je prikazana njihova uloga u računalnoj grafici te se prikazuje najnovija tehnologija pod nazivom CUDA koja predstavlja temelj renderiranja grafičkim procesorima. Problematika je prikazana pomoću dva usporedna testa, prvi je vezan za iscertavanje računalno generirane scene, a drugi za algoritam sortiranja. Uz navedeno prikazuje se i usporedni test iscertavanja poligona i piksela pomoću CPU i GPU sklopovlja. Rezultat ukazuje na superiornost grafičkih procesora koji bi u budućnosti mogli imati još veću primjenu u specijaliziranim namjenama.

Ključne riječi: GPU, CPU, CUDA, procesori, računalna grafika, iscertavanje

Abstract

The theme of this paper is designed as a basis for future research where it is necessary to notice the main differences in the performance of graphic and central processors. Elements that are important and taken into account during the research are the bandwidth of memory and shaders. There are three types of shaders of which there is a special emphasis on pixel and vertex shaders. The paper presents their role in computer graphics and shows the latest technology called CUDA, which is the foundation for rendering graphics processors.

The problem is illustrated by two parallel tests, the first being linked to plotting a computer-generated scene, and the other to a sorting algorithm. In addition to the above, a comparative polarity and pixel plotting test is performed using CPU and GPU. The result points to the superiority of graphics processors that could in the future have even greater application in specialized applications.

Keywords: GPU, CPU, CUDA, processors, computer graphics, rendering

1. Uvod

1. Introduction

Od izuma 3D iscertavanja (eng. 3D rendering), centralni procesor u računalu (CPU) bio je zadužen za iscertavanje slika i animacija iz 3D aplikacija. Koristeći sučelje za iscertavanje grafike (eng. graphic API) centralni procesor je finalne rezultate izračuna slao grafičkom procesoru (GPU) čija zadaća je bila „samo“ prikazivanje finalnog rezultata na monitoru. Dakle, grafički procesor nije radio nikakve proračune vezane uz 3D grafiku, već je od centralnog procesora dobio gotovu projekciju 3D prostora na 2D plohu (monitor). Fotorealistično 3D iscertavanje koristi vrlo zahtjevne algoritme za koje je potrebna ogromna računalna snaga i brzina. Mehanizam iscertavanja (eng. render engine) se u pravilu svodi na tzv. „bucket rendernig“ što bi značilo da se površina finalne projekcije 3D prostora na 2D plohu dijeli na male dijelove (eng. bucket), te se svaki posebno iscertava sve dok cijela površina nije iscertana. Problem se javlja u tome što broj tih dijelova ovisi o broju jezgara centralnog procesora.

Ukoliko procesor ima 4 jezgre, mehanizam iscertavanja će istovremeno moći iscertavati 4 različita djela ukupne površine finalne slike. U skladu sa spomenutim ograničenjem, počele su se javljati ideje o rasterećenju centralnog procesora, te preusmjeravanju izračuna 3D prostora na grafički procesor. Kako je već prije spomenuto, broj dijelova finalne slike koji se simultano mogu iscertavati ovisi o broju jezgara procesora. Ako se u obzir uzme napredak grafičkih procesora u posljednjih nekoliko godina, isto kao i podatak da čak i jeftinije grafičke kartice posjeduju grafičke procesore sa 64 ili više jezgara. Može se zaključiti da grafički procesori mnogo brže obrađuju posao iscertavanja od centralnog procesora u računalu.

S razvojem računalnih programa za 3D grafiku u posljednjem desetljeću raste i razina fotorealističnosti 3D iscertavanja animacija na računalu, ali i hardverski (eng. hardware) zahtjevi programa prema računalnom sklopovlju koje obavlja posao. Kako bi program mogao što realnije, a istovremeno što brže (radi tržišnih zahtjeva) iscertati zadanu animaciju potrebni su što je moguće veći računalni resursi.

Iako možda zvuči logično da programi za 3D grafiku prilikom procesa iscertavanja koriste resurse grafičkog procesora, ta ideja je relativno mlada. Dosadašnji razvoj grafičkih procesora se uglavnom temeljio na tzv. 3D iscertavanju u realnom vremenu (eng. real-time rendering) koja se koristi u 3D igrama, te je mnogo jednostavnija od fotorealističnog 3D iscertavanja. Proizvođači grafičkih procesora su uvidjeli da njihovi proizvodi imaju ogromne performanse koje su primjenjive u veoma uskom području operacija. Uz sve više modifikacija i dodataka, grafički procesori su do danas postali sposobni za mnogo šire područje djelovanja.

U posljednjih nekoliko godina na tržištu se javljaju mnogi dodaci za postojeće programe (Autodesk Maya, Autodesk 3ds Max, Cinema, Blender) koji omogućavaju da se posao fotorealističnog 3D iscertavanja izvrši pomoću grafičkog procesora, a postoje i neka samostalna (eng. stand alone) programska rješenja koja iscertavanje vrše istovremeno kombinirajući performanse grafičkog i centralnog procesora.

Autodesk je sredinom 2010. godine svojim korisnicima prvi ponudio Quicksilver - programsko rješenje integrirano u testnu inačicu 3D programa „3ds Max“ koje iscertavanje može vršiti istovremeno koristeći i grafički i centralni procesor.

2. Cjevovodna arhitektura

2. Pipeline architecture

Centralni procesori isto kao i grafički koriste cjevovodnu arhitekturu. To je arhitektura koja omogućuje da se računalni zadatak podijeli na manje zasebne stupnjeve (eng. thread) koji se obrađuju u nizu. Ukoliko procesor ima više od jednog cjevovoda riječ je o superskalarnom procesoru, a prvi takav na tržištu bio je Intel Pentium 1. Takav procesor istovremeno može vršiti više različitih izračuna koja ne ovise jedan o drugome. Primjerice, procesor treba izvršiti dva izračuna, prvi neka bude „ $C=A+B$ “ a drugi „ $X=Y+Z$ “. Pošto rezultat jednog izračuna ne utječe na ishod drugog, procesor ove izračune može izvršiti istovremeno, svaki u zasebnom cjevovodu. [1]

Kako bi mogao funkcionirati, svaki cjevovod mora imati svoju jedinstvenu logičku jedinicu sastavljenu od aritmetičko logičke jedinice (ALU) i jedinice za izračunavanje pomičnog zareza (FPU). Osim broja cjevovoda, za protok podataka bitna je i njegova dubina (pipeline depth) koja se mjeri u razinama (eng. pipeline stage). Procesor sa dubljim cjevovodom će imati veći vršni protok podataka od procesora sa plićeim cjevovodom jer će se za vrijeme trajanja jednog takta na svim razinama izvršiti zadana operacija (dubina cjevovoda[u razinama] x radni takt = vršni protok podataka). Dakle, upotrebom cjevovodne arhitekture se ne skraćuje vrijeme vršenja pojedinog zadatka, već se obradom u nizu povećava vršni protok podataka kroz procesor (slično kao pokretna traka u industrijskoj proizvodnji).

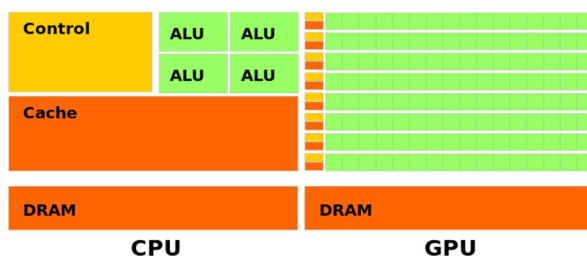
3. Razlike u arhitekturi

3. Differences in architecture

3D iscrtavanje je proces koji je pogodan za paralelno procesuiranje, a brzina njegova izvršavanja najviše ovisi o vršnom protoku podataka sklopovlja koje ga izvršava. Sukladno tome, većina sklopovlja (eng. hardware) proizvedeno za namjenu 3D iscrtavanja ima superskalarnu arhitekturu koja omogućuje visoki paralelizam izračuna.

Radni takt jezgre, radni takt memorije, broj i vrsta tranzistora, broj cjevovoda, dubina cjevovoda, sve su to razlike koje u konačnici imaju veliki utjecaj na protok podataka bilo grafičkog bilo centralnog procesora. Arhitektura grafičkog procesora se uvelike razlikuje od arhitekture centralnog.

U suprotnosti sa modernim više jezgrenim centralnim procesorima koji istovremeno mogu izvršavati nekoliko instrukcija (ovisno o broju jezgri), moderni grafički procesori istovremeno mogu izvršavati tisuće instrukcija optimalno koristeći visoku razinu paralelnosti samog sklopovlja (eng. SIMD-single instruction multiple data).[2] Osim spomenutog, grafički procesori imaju cjevovode duboke i po nekoliko stotina razina. Centralni procesor pak s druge strane ima arhitekturu koja mu omogućuje izvršavanje mnogo više različitih vrsta operacija nad ulaznim podacima, a cjevovodi uglavnom imaju između 10 i 20 razina s određenim iznimkama. Većina tranzistora na centralnom procesoru vrši funkciju Cache memorije, a na grafičkom procesoru funkciju logičkih jedinica. [1][2]



Slika 1: Razlike u arhitekturi centralnog i grafičkog procesora.[1]

Figure 1: Differences in Central and Graphic Processor Architecture [1]

4. Propusnost memorije

4. Memory Bandwith

Svaki procesor prilikom vršenja procesa zahtjeva memoriju iz koje može čitati ulazne podatke određenog procesa te u koju može spremati rezultate obrade odnosno izlazne podatke. Propusnost memorije je veličina koja opisuje maksimalnu brzinu kojom procesor može pristupiti određenom podatku pohranjenom u memoriji (ulazni tok) ili u nju zapisati novi podatak (izlazni tok). Jedinica za propusnost je b/s (bytes/second), a teoretski primjer izračuna propusnosti za 2 modula DDR radne memorije koji rade u dvokanalnom načinu rada (eng. Dual channel) izgleda ovako:

$$400 \text{ milijuna Hz} * 2 \text{ (broj bitova po taktu)} * 64 \text{ bit (širina sabirnice)} * 2 \text{ (dual channel)} = 12.8 \text{ GB/s}$$

Ovdje se govori o teoretskoj propusnosti koja je u praksi obično nešto manja. Proces 3D iscrtavanja će se uvijek izvršiti brže uz veću količinu memorije na višem radnom taktu. Dok je propusnost memorije ključna za brzinu izvođenja određenog procesa, veće količine memorije omogućuju složenije procese (iscrtavanje kompleksnijih scena sa mnogo detaljnih elemenata).

Centralni procesor prilikom izračuna koristi radnu memoriju računala na matičnoj ploči (eng. RAM memory) u koju sprema podatke potrebne za sve procese koje u zadanom trenutku izvodi. Procesi operativnog sustava, lokalni servisi, mrežni servisi i ostale aplikacije pokrenute od strane korisnika zahtijevaju određenu količinu radne memorije računala kako bi mogli raditi, bilo kao aktivni procesi ili procesi u pozadini (eng. background process). U praksi ovo znači da je broj trenutno pokrenutih procesa obrnuto proporcionalan količini radne memorije koja preostaje ne dodijeljena, odnosno količini radne memorije dostupne specifičnom procesu (u našem slučaju 3D iscrtavanju).

Grafički procesor u pravilu dolazi na zasebnoj grafičkoj kartici koja je preko određenog sučelja spojena na matičnu ploču. Na kartici je smještena i „posvećena“ memorija koju koristi samo grafički procesor za procese koje izvodi (dedicated memory). [3]

Ovo pak u praksi znači da je sva memorija na grafičkoj kartici raspoloživa za jedan jedini proces kako bi se on (s obzirom na relaciju „veća propusnost memorije = veći vršni protok podataka“) što brže izvršio.

Tablica 1: Primjer općenite razlike centralnog i grafičkog procesora.

Table 1: An example of a general difference between a central and a graphical processor.

	Intel Core Quad Q8200 (CPU)	nVidia 9600 GT (GPU)
<i>Tehnologija izrade procesora</i>	45nm	65nm
<i>Broj tranzistora</i>	456 milijuna	505 milijuna
<i>Broj jezgri</i>	4	64
<i>Frekvencija jezgre</i>	2333 MHz	650 MHz (geometrija), 1625 MHz (Shader)
<i>Broj cjevovoda</i>	4	16
<i>Frekvencija memorije</i>	800 MHz DDR 2	1800 MHz GDDR 3
<i>Širina memorijske sabirnice</i>	64 bit	256 bit
<i>Propusnost memorije</i>	12.8 GB/s	56.3 GB/s
<i>Potrošnja električne energije</i>	≈ 100 W	≈ 200 W

5. Grafički cjevovod

5. Graphics Pipeline

Grafički cjevovod se može definirati kao cjevovod koji za ulazne podatke uzima neku reprezentaciju 3D prostora, a kao rezultat daje 2D rastersku (raster) sliku. U ovu namjenu se u današnje vrijeme koriste stotine milijuna tranzistora na grafičkim procesorima. Možda ne djeluje komplicirano, ali pretvaranje trodimenzionalne scene u dvodimenzionalnu projekciju na monitoru zahtjeva poprilične računalne resurse, te se odvija u nekoliko (sve više) faza.

Svi podaci vezani uz 3D scenu su na početku grafičkog cjevovoda spremljeni u obliku teksela (najmanja jedinica tekture kao što je piksel najmanja jedinica rasterske grafike) i bridova (eng. vertices) te se moraju pretvoriti u pikselni zapis (rasterizirati) koji računalni zaslon može prikazati.

6. Vertex, geometrijski i piksel shaderi

6. Vertex, Geometric and Pixel shaders

Predstavljanje prvog grafičkog procesora sa programabilnim shaderima 2002. godine (kodnog naziva NV20) bio je veliki korak u evoluciji grafičkih procesora. Shader je generalno gledano mali program nalik programima u C jeziku koji se prvenstveno koristi za izračunavanje efekata iscrtavanja unutar grafičkog sklopovlja. U današnje vrijeme, shaderi su mnogo fleksibilniji nego prije nekoliko godina kada su dozvoljavali samo mali broj prostornih i geometrijskih transformacija odnosno mali broj efekata vezanih uz manipulaciju pikselima. Napisani su tako da istovremeno mogu utjecati na veliki broj elemenata koji se iscrtavaju npr. svaki piksel finalne slike ili svako tjeme (eng. vertex) zadanog modela što ih čini idealnima za visoko paraleliziranu strukturu.[8] Razlikujemo:

Vertex shader obavlja matematičke operacije nad bridovima (eng. vertices) modela. Izvršava se jednom za svako tjeme (eng. vertex) u sceni. Može manipulirati svojstvima kao što su pozicija, boja, koordinate i orijentacija tekture, ali nema mogućnost dodavanja novih bridova u scenu.

Nakon vertex shadera u procesu iscrtavanja slijedi geometrijski shader. Njegova zadaća je dodavanje novih grafički primitivnih oblika kao što su točka, linija, bridovi ili brisanje postojećih unutar scene. [4]. Piksel shader računa efekte na pikselima nakon rasterizacije. Ovisno o izlaznoj razlučivosti animacije koja se iscrtava, za svaku sličicu potrebno je obraditi i do nekoliko milijuna piksela. [4]

Sve do predstavljanja objedinjenih shadera (eng. unified shader) ove tri vrste shadera su fizički bili odvojene u grafičkom procesoru, te je svaka od njih bila namijenjena ispunjavanju samo svoje (gore navedene) zadaće. Na taj način je većina piksel shaderskih jedinica mirovala prilikom iscrtavanja 3D scene sa kompleksnom geometrijom.[8]

Do obrnutog slučaja dolazi prilikom iscrtavanja scene sa kompleksnim izračunima piksela, kada miruju vertex i geometrijske shaderske jedinice.

Rješenje je objedinjena shaderska struktura koja omogućuje mnogo fleksibilnije iskorištavanje resursa sklopovlja za iscrtavanje (rendering hardware). Grafički procesor može odrediti koje će shaderske jedinice koristiti za koje izračune (vertex, geometrija ili piksel) osiguravajući tako visok stupanj fleksibilnosti uporabe shaderskih jedinica na temelju ulaznog toka podataka i zahtjeva iscrtavanja scene.

7. NVIDIA CUDA

7. NVIDIA CUDA

CUDA (eng. Compute Unified Device Architecture) je arhitektura za paralelno procesuiranje razvijana od strane proizvođača grafičkih procesora NVIDIA-e.[1][8] To je ustvari računalni pogonitelj (eng. computing engine) kojim se programerima omogućava pristup ogromnoj računalnoj snazi grafičkih procesora kroz varijante standardnih programskih jezika.

Programeri se za upravljanje CUDA-om koriste C jezikom koji koristi NVIDIA ekstenziju i određena ograničenja u odnosu na industrijski standard C jezika. Koristeći CUDA tehnologiju, moderni grafički procesori postaju sve prikladniji za izračune dosad rezervirane isključivo za centralni procesor. Rješavanje općenitih računskih problema pomoću grafičkog procesora naziva se GPGPU (eng. General Purpose computing on Graphics Processing Unit). Trenutna generacija CUDA tehnologije (kodnog naziva FERMI) je podržana na aktualnim serijama grafičkih procesora.[5][6]

Spomenuti grafički procesor koristi dosad neviđenu arhitekturu izrade koja mu omogućuje da u potpunosti podržava C++ i slične programske jezike. Fermi arhitektura, kao i sve ranije verzije grafičkih procesora, donosi nekoliko ključnih prednosti u odnosu na svog prethodnika.[8] Broj CUDA jezgri je povećan na 512, dok je broj tranzistora povećan na čak 3 milijarde što su svakako respektabilne brojke. Tablica stanja centralnog i grafičkog procesora prikazana je u sljedećoj tablici.

Prikazana tablica ukazuje na nekoliko ključnih elemenata. Iscrtavanje centralnim procesorom je podložno manjim ograničenjima.

Tablica 2: Kvalitete i funkcionalnosti iscrtavanja

Table 2: Quality and Schematics Functionality

Ključne komponente računalne grafike	CPU	GPU
DirectX podrška	Svi	DX 11+
Iscrtavanje specijalnih efekata	5/5	5/5
Mogućnosti manipulacije teksturom	5/5	1/5
Mogućnosti iscrtavanja u slojevima	5/5	1/5
Iscrtavanja materijala i shadera	8/8	8/8
Vrijeme iscrtavanja (sekunde)	1323	2

Rezultat i kvaliteta finalnog proizvoda su na vrlo visokoj razini koja se očekuju u svim aspektima područja primjene. Funkcionalnost grafičkih programa bez problema dolazi do punog izražaja i kapaciteti su maksimalno iskorišteni. Vrijeme iscrtavanja scene sa naprednim sustavom za rezoluciju 1024x768 piksela iznosi 1323 sekunde ili 22,3 minute. Kod iscrtavanja s grafičkim procesorom ne postoji izbor kvalitete sustava.

Ograničenja su postavljena na DirectX 11+ podršku, što direktno utječe na odabir operacijskog sustava i određenih grafičkih kartica. Manipulacija elementima računalne grafike su ograničena isto kao i nepostojanje podrške za određene načine rada unutar scene. Rješenje ovih problema je najavljeno u sljedećim ciklusima nadogradnje sustava koji bi još efikasnije koristio kapacitete grafičkog procesora. Vrijeme iscrtavanja sa osnovnim postavkama iznosi 2 sekunde, što bi značilo ubrzanje od 1.150% u odnosu na istu scenu iscrtanu sa centralnim procesorom!

Problem kod usporednog testiranja centralnog i grafičkog procesora kod iscrtavanja je taj što se proces iscrtavanja svodi na korištene mnogo naprednih funkcija uz same kalkulacije. Novitet koji je predstavljen nema potpunu podršku kao centralni procesor te je iz tog razloga usporedni test nepotpun. Simuliranje naprednog osvjetljenja (poput refleksije, refrakcije i sl. elemenata) nije moguće. Iz navedenog razloga navodi se još jedna usporedba ali po pitanju algoritma sortiranja.

Tablica 3: Usporednog prikaza pretraživanja u programskim algoritmima [7]**Table 3:** Comparison of Search View in Programming Algorithms [7]

Algorithm	Type	Optimization	Search runtime (milliseconds)	GPU Effective bandwidth (GBps)	Speedup factor
brute-force	SEQ	-O2	24	N/A	-
brute-force	CUDA	None	0.24	11.9	100
		Shared memory	0.24	11.9	
		Page-locked memory	0.41	7.1	59
QuickSearch	SEQ	-O2	16	N/A	-
QuickSearch	CUDA	None	0.18	15.87	88
		Shared memory	0.15	19.77	106
Horspool	SEQ	-O2	16	N/A	-
	CUDA	None	0.19	15.62	84
		Shared memory	0.16	18.55	100

Iz tablice se očituje ogromna razlika u brzini pogotovo kada se radi o dodijeljenoj memoriji koju koristi CUDA tehnologija bazirana na grafičkim procesorima. Rezultati potvrđuju pretpostavke i svoju praktičnu primjenu u računalnoj grafici isto kao i u klasičnim matematičkim algoritmima.

8. Usporedno testiranje brzine iscertavanja poligona i točke

8. Comprehensive Testing Of The Speed Of Polygon And Space Inscription

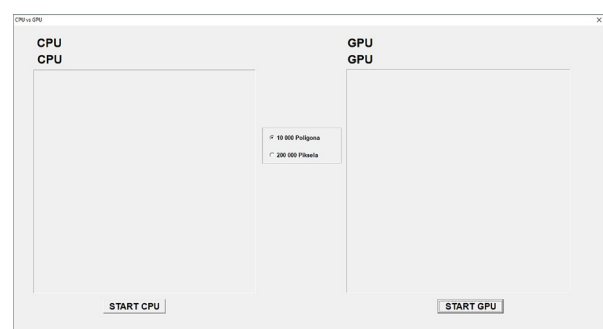
Za potrebe ovog dijela istraživanja kreiran je program koji generira nasumičan oblik i boju zadanog elementa. Kroz opcije korisnik bira o kojem se elementu radi, a u ponudi je opcija za generiranje 10.000 poligona ili 200.000 piksela. Na proces generiranja stavljena su dva ograničenja. Rezultat se može promatrati kroz vrijeme u mili sekundama (mili sec.) koje je potrebno za iscertavanje ciljanog broja poligona ili piksela ili pak, koliko se prosječno poligona ili piksela iscrta u jednoj sekundi. Simulacija je provedena ukupno deset puta i rezultat je prikazan u tablici 8.1.

Iz tablice je vidljivo kako je odnos brzina u oba slučaja naklonjen u korist iscertavanju pomoću grafičkog procesora.

Tablica 4: Usporedni prikaz rezultata simulacija nad poligonima i pikselima**Table 4:** Comparative simulation of polygon and pixel simulation results

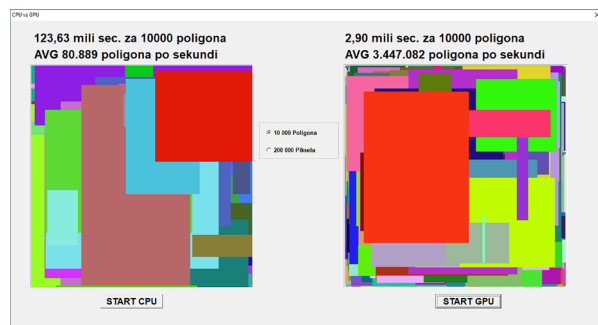
Ciklus	Vrijeme za iscertavanje u mili sec.			
	10.000 Poligona		200.000 piksela	
	CPU	GPU	CPU	GPU
1	123,63	2,90	1560,02	16,64
2	121,01	5,65	1569,24	11,77
3	119,55	4,36	1563,63	11,55
4	120,99	2,95	1567,26	10,61
5	124,04	2,96	1574,49	10,72
6	123,05	3,63	1567,59	12,21
7	121,04	3,24	1573,04	12,40
8	123,15	2,87	1573,97	10,14
9	122,24	2,92	1571,99	10,36
10	120,16	2,97	1571,00	10,86
Prosijek	121,89	3,45	1569,20	11,73
Odnos	35,38		133,82	
Ciklus	Prosječna količina odabranih oblika u jednoj sec.			
	10.000 Poligona		200.000 piksela	
	CPU	GPU	CPU	GPU
1	80.889	3.447.082	128.204	12.021.505
2	82.636	1.769.387	127.451	16.990.542
3	83.644	2.294.394	127.908	17.309.259
4	82.654	3.392.714	127.611	18.849.698
5	80.619	3.383.013	127.025	18.661.743
6	81.265	2.756.863	127.584	16.382.207
7	82.617	3.087.850	127.143	16.129.350
8	81.204	3.488.465	127.067	19.725.176
9	81.805	3.422.155	127.243	19.296.592
10	83.220	3.369.935	127.307	18.409.725
Prosijek	82.055,30	3.041.185,80	127.454,30	17.377.579,70
Odnos	37,06		136,34	

To je i bio očekivani rezultat obzirom na ranije izložene činjenice. Ono što je zanimljivo je odnos brzine koje je potrebno centralnom i grafičkom procesoru po pitanju poligona i piksela. Gotovo da i nema razlike u brzini prilikom iscertavanja poligona u odnosu na iscertavanje piksela. GPU je otprilike 36 puta brži u slučaju iscertavanja 10.000 poligona, odnosno u jednoj sekundi iscrta otprilike 134 puta više elemenata u odnosu na CPU. Inicijalan izgled programa nalazi se na slici 8.1. koja se navodi u nastavku rada.



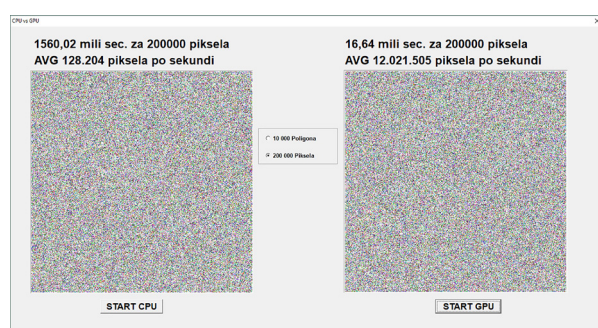
Slika 2: Inicijalan izgled programa za simulaciju
Figure 2: Initial look of a simulation program

Na slikama 8.2. i 8.3. prikazan je izgled jednog generiranog ciklusa.



Slika 3: Prvi ciklus u fazi generiranja poligona

Figure 3: First Cycle in Polygon generating phase



Slika 4: Prvi ciklus u fazi generiranja poligona

Figure 4: First Cycle in Polygon generating phase

9. Zaključak

9. Conclusion

Uz sve razlike između centralnog i grafičkog procesora navedene u ovom radu, nemoguće je zanemariti superiornost grafičkih procesora u odnosu na centralne kada je riječ o vršnom protoku podataka. Kroz posljednje desetljeće intenzitet razvoja grafičkih procesora čak nadilazi eksponencijalan rast broja tranzistora predviđen Mooreovim zakonom. Isto tako, nemoguće je zanemariti specijaliziranu, vrlo usku namjenu grafičkih procesora iz koje proizlazi superiornost u brzini u odnosu na široku namjenu centralnog procesora.

Imajući na umu fantastičan napredak grafičkog sklopovlja, može se zaključiti da su proizvođači 3D aplikacija ti koji zasad koče iskorištavanje računalne snage grafičkih procesora na mnogo višem nivou. Za nekoliko godina ćemo vjerojatno posjedovati računala u kojima će većinu izračuna

i proračuna vršiti baš grafički procesor, dok će se centralni koristiti samo za optimalnu raspodjelu posla proračuna. 3D iscrtavanje pomoću grafičkog procesora je u svakom slučaju sadašnjost, ali i budućnost iscrtavanja 3D animacija. Problemi kod iscrtavanja grafičkim procesorima vezani su za kompatibilnost hardvera i kvalitetu finalnog proizvoda. Činjenica o stanju tržišta i rastućem trendu ove tehnologije implicira na novi standard po pitanju računalne grafike.

6. REFERENCE

6. REFERENCES

- [1] Trstenjak B., Knok Ž., Trstenjak J.: CUDA procesori, Međimursko veleučilište Čakovec, 2010.
- [2] Nickolls J., Buck I., Garland M.: Scalable Parallel Programming, ACM Queue, Sveučilište Virginia, 2008.
- [3] Lange H., Koch A.: Memory Access Schemes for Configurable Processors, Tech. Univ. Braunschweig, Germany, 2000.
- [4] Nickolls J., William J.D.: The gpu computing era, IEEE Computer Society, 2010.
- [5] Saba A.,A., Mangharam R.: Anytime Algorithms for GPU Architectures, IEEE, Vienna, Austria, 2011.
- [6] Torres Y., Gonzalez-Escribano A., Llanos D.R.: Understanding the Impact of CUDA Tuning Techniques for Fermi, IEEE, Spain, 2011.
- [7] Tay Raymond: Demonstration of Exact String Matching Algorithms using CUDA, dostupno na [scribd.com/user/50913810/Raymond-Tay](https://www.scribd.com/user/50913810/Raymond-Tay), pristupano 2017.
- [8] Knowles P., Leach G.: GPGPU Based Particle System Simulation, School of Computer Science and Information Technology RMIT, University Melbourne, 2009.

AUTOR · AUTHOR

Andrija Bernik – Tijekom studiranja na Fakultetu organizacije i informatike u Varaždinu, u razdoblju od 2006. do 2009. izabran je za demonstratora na kolegiju Formalne metode za informatičare. Sudjeluje na pet natjecanja u 3D modeliranju i računalnoj animaciji. Osvaja pet uzastopnih prvih mjesta, te dobiva dvije Dekanove nagrade za izvrsnost i trud. Diplomira na temu "Autodesk Maya - Izrada digitalne animacije" uz potvrdu o 10% najbolje rangiranih studenata 2009. godine. Završava doktorski studij informacijskih znanosti na Fakultetu organizacije i informatike. Predmet istraživanja u okviru doktorske disertacije je "Uvođenje elemenata računalne igre u online poučavanje sadržaja informatičkih nastavnih predmeta." Predavač je na 8 međunarodnih konferencija iz područja dizajna i suvremenih grafičkih tehnologija. Upisan je u 30 znanstvenih i stručnih radova koji su evidentirani u Hrvatskoj znanstvenoj bibliografiji. Autor i grafički urednik recenziranog sveučilišnog udžbenika: 3D modeliranje u primjerima 1, koji broji 295 strana i tiska se u 200 primjeraka, kao i 3D modeliranje u primjerima 2. koji broji 280 strana.

Korespodencija

abernik@unin.hr