**Streszczenie – czyli na czym będę bazował i co będę rozwijał.  
Praca docelowo będzie pisana w LaTeXie. Każdy z rozdziałów zostanie podzielony na podrozdziały.**

**NVIDIA CUDA – Zrównoleglenie metody śledzenia promieni.**

1. **Wstęp.**

Raytracing jest techniką służącą do generowania foto realistycznych obrazów scen 3D. Na przestrzeni lat technika ta ciągle się rozwijała. Doczekała się wielu modyfikacji, które usprawniają proces generowania realistycznej grafiki. Takimi technikami mogą być między innymi PathTracing, PhotonMapping, Radiostity i wiele innych. Z dnia na dzień wykorzystywanie raytracingu ciągle rośnie. W dzisiejszych czasach w grafice komputerowej oraz w kinematografii do uzyskania realistycznych efektów używana jest metoda śledzenia promieni. Dzięki takim zabiegom jesteśmy w stanie dosłownie zasymulować sceny oraz zjawiska, które nie muszą istnieć w rzeczywistym świecie. Czas generowania pojedynczej klatki/ujęcia takiej sceny niekiedy potrafi być liczony nawet w godzinach. Dlatego technika ta nie doczekała się jeszcze swojej wielkiej chwili w przemyśle rozrywkowym jakim są np. gry komputerowe oraz inne aplikacje generujące grafikę 3D w czasie rzeczywistym.

1.2 Motywacja

Głównym bodźcem motywacyjnym do napisania tej pracy była chęć poszerzenia dotychczasowej wiedzy na temat przyśpieszania obliczeń przy pomocy nowej technologii NVIDIA CUDA. Dodatkowymi czynnikami motywacyjnymi było zamiłowanie do grafiki komputerowej oraz do tworzenia aplikacji obliczeń czasu rzeczywistego. Na co dzień zajmuję się programowaniem gier/aplikacji na komputery klasy PC oraz urządzenia mobilne. Uważam, że w przyszłości przedstawiona przeze mnie w tej pracy metoda śledzenia promieni będzie miała zastosowanie w grach oraz aplikacjach wykorzystujących grafikę czasu rzeczywistego.

1.3 Terminologia wykorzystywana w pracy

- Developer – Twórca/programista aplikacji

- CUDA – Technologia stworzona przez firmę NVIDIA w 2007 roku. Umożliwia równoległe obliczenia na mikroprocesorach karty graficznej

- Raytracing – metoda generowania obrazu za pomocą śledzenia promieni.

- Benchmark – Aplikacji testowa, która profiluje wydajność i zbiera informacje.

- Warp – blok wątków przydzielony na multiprocesor

- DirectX – technologia graficzna firmy Microsoft. Umożliwia wyświetlanie wysokiej jakości grafiki.

* 1. **Dostępne technologie, pozwalające zrównoleglić obliczenia na kartach graficznych.**

Poniżej zaprezentowanych zostanie parę wybranych technologii wspomagających zrównoleglenie obliczeń. Niemniej jednak badania przeprowadzone i opisane w dalszej części pracy będą skupiały się na wykorzystaniu jednej z tych metod, a mianowicie technologii **NVIDIA CUDA**.

* + 1. **Open Computing Language (OpenCL)**

Technologia tak zainicjowana została przez firmę Apple. Do inicjatywy i rozwijania tej technologii włączyły się w późniejszym czasie inne firmy takie jak: AMD, IBM, Intel, NVIDIA. W roku 2008 sformowana została grupa Khronos skupiająca powyższe firmy oraz wiele innych należących do branży IT. Grupa ta czuwa nad rozwojem technologii OpenCL.

Technologia tak pozwala na pisanie kodu który jest przenośny między wieloma platformami: komputery, urządzenia przenośne, klastry obliczeniowe. OpenCL pozwala rozpraszać obliczenia na jednostki procesorowe CPU oraz na architektury graficzne GPU. Bardzo ważną zaletą OpenCL jest to, że pisanie z użyciem tej technologii nie jest zależne od sprzętu na jakim będzie ona uruchamiana. Model Platformy OpenCL znajduje się poniżej:

**(screen z platformy OpenCL)**

* + 1. **ATI Stream Computing.**

Technologia ta została stworzona przez firmę AMD. Za pomocą tej platformy jesteśmy w stanie przeprowadzać złożone obliczenia na sprzęcie produkowanym przez AMD.

W skłąd całego pakietu ATI Stream Computing wchodzi autorski język ATI Brook+ i kompilator tegoż języka. Dodatkowo ATI wspiera developerów własną biblioteka matematyczna (AMD Core Math Library) oraz narzędziami do profilowania wydajności kodu (Strem Kernel Analyzer).

Model Platformy OpenCL znajduje się poniżej:

**(screen z platformy ATI Stream Computing)**

* + 1. **NVIDIA CUDA**

CUDA (Compute Unified Device Architecture) jest technologia opracowaną przez firmę NVIDIA. Swoje początki CUDA miała w 2007 roku i do dziś jest wiodącą technologią strumieniowego przetwarzania danych z wykorzystaniem układów graficznych GPU.

1. **Cel pracy.**
   1. **Opracowanie techniki zrównoleglenia i przyspieszenia metody śledzenia promieni przy użyciu NVIDIA CUDA.**  
      Celem niniejszej pracy jest przeniesienie a zarazem zrównoleglenie algorytmu śledzenia promieni na procesory graficzne (GPU) firmy NVIDIA. Celem także jest przyśpieszenie obliczeń standardowego wstecznego Raytracingu w celu jak najszybszego generowania obrazów scen 3D.
   2. **Projekt uniwersalnej aplikacji - benchmark.**

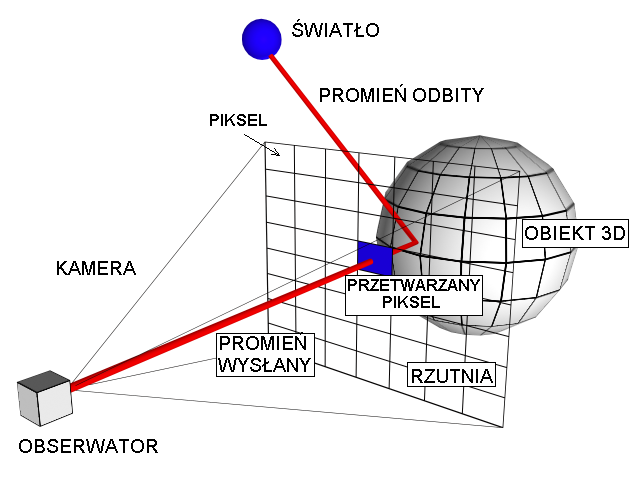
W ramach projektu napisany został uniwersalny system Raytracingu działający na wielo rdzeniowych procesorach komputerowych (CPU), a także na kartach graficznych (GPU) firmy NVIDIA które obsługują technologie NVIDIA CUDA. Aplikacja testowa jest benchmarkiem, który jest w stanie przetestować zadane sceny 3D na wielu różnych konfiguracjach sprzętowych. Aplikacja ma za zadanie po uruchomieniu na komputerze użytkownika, testować wszelkie sceny z odpowiedniego katalogu. Dodatkowo zbierać potrzebne informacje o sprzęcie użytkownika oraz czasy generowania obrazów z każdej ze scen. Po przeprowadzeniu wszelkich testów aplikacja jest w stanie wyslać na adres e-mail developera (w tym przypadku autora pracy) wszelkie zgromadzone dane.

1. **Wprowadzenie do Ray Tracingu**

**3.1 Wstępny opis**

W rzeczywistym świecie promienie świetlne rozchodzą się od źródła światła do obiektów znajdujących się w świecie. Każde źródło światła wysyła nieskończoną liczbę swoich promieni świetlnych. Następnie te promienie odbijając się od obiektów i trafiają do oczu obserwatora powodując że widzi on określony kolor danego obiektu. Gdyby zaadaptować tą metodę do generowania realistycznej grafiki komputerowej, otrzymalibyśmy nieskończenie dokładny i realistyczny obraz. Z racji jednak na to, że sprzęt komputerowy ma ograniczone możliwości, a metoda ta jest bardzo nie efektywną metodą pod względem obliczeniowym. Najszerzej stosowaną metodą śledzenia promieni jest wsteczne śledzenie promieni (backward raytracing). W odróżnieniu od postępowego algorytmu śledzenia promieni (forward raytrcing), które opiera się na generowaniu jak największej liczby promieni dla każdego źródła światła. Algorytm wstecznego śledzenia promieni zakłada, że promienie śledzone są od obserwatora, poprzez scenę do obiektów z którymi kolidują.

Poniżej przedstawiony jest poglądowy rysunek śledzenia pojedynczego promienia od obserwatora poprzez określony pixel na ekranie:

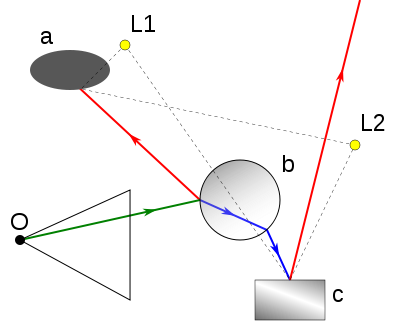
  
Sposób określania barwy piksela w ray tracigu **[RYS]**

**3.2 Rekursywna metoda śledzenia promieni.**

Przy omawianiu wstecznej metody śledzenia promieni warto wspomnieć o raytracingu rekursywnym. W zagadnieniu tym bada się rekurencyjnie promienie odbite zwierciadlane oraz załamane, które powstały z kolizji promieni pierwotnych z obiektami na scenie. Tak więc żywotność promienia pierwotnego wcale nie kończy się w momencie kolizji z obiektem sceny. To czy z danego promienia pierwotnego wygenerowane zostaną kolejne promienie w bardzo dużej mierze zależy od materiału jakim pokryty jest dany obiekt sceny. Z pomocą tego rekursywnej metody śledzenia promieni jesteśmy w stanie zasymulować obiekty lustrzane oraz obiekty półprzezroczyste.

Rekurencja w tej metodzie trwa do osiągnięcia maksymalnego stopnia zagłębienia. Kolor wynikowy danego pojedynczego Pixela powstaje z sumy kolorów, obiektu w jaki trafił promień pierwotny oraz kolorów obiektów w jakie trafiły promienie pierwotne.

Poniżej przedstawiony jest poglądowy schemat zasady działania rekursywnej metody śledzenia promieni:

   
Zasada działania rekursywnego algorytmu ray tracingu **[RYS]**

**Krótki opis do rysunku:**Promień zielony – jest to promień wtórny śledzony od obserwatora do obiektów sceny.

Promienie czerwone – Promienie wtórne odbite od obiektu sceny.

Promienie niebieskie – Promienie wtórne załamane w obiektach sceny.

Promienie przerywane – Promienie świetlne. Prowadzone od każdego źródła światła na scenie do miejsca intersekcji promieni śledzonych z obiektami.

**3.3 Przedstawienie algorytmu śledzenia promieni**Śledzenie promieni przez scenę rozpoczyna się od obserwatora określanego często jako kamery występującej na scenie. Przez każdy pixel ekranu śledzone są promienie które poruszają się po scenie. Gdy któryś ze śledzonych promieni napotka obiekt i zacznie z nim kolidować.

1. **NVIDIA CUDA jako znakomita platforma do zrównoleglenia obliczeń.**

CUDA(Compute Unified Device Architecture) jest dość nową technologią wprowadzoną na rynek przez firmę NVIDIA. Technologia ta swój początek miała w 2007 roku. Od samego początku stała się ona wiodącą technologią przetwarzania strumieniowego z wykorzystaniem GPU. CUDA jako, że jest technologią stworzoną przez firmę NVIDIA, wspierana jest przez układy graficzne właśnie tej firmy. Wsparcie dla tej technologii rozpoczęło się od układów graficznych serii GeForce 8, Quadro oraz Tesla. Seria układów graficzny Quadro oraz Tesla są wyspecjalizowanymi układami obliczeniowymi do zastosowań naukowych. Natomiast serie GeForce można spotkać na co dzień w komputerach stacjonarnych oraz laptopach. Z pomocą technologii CUDA jesteśmy wstanie uzyskać wielokrotne przyśpieszenie w obliczeniach w stosunku do obliczeń na zwykłym procesorze CPU.

OBRAZ: PROCESSING FLOW….

4.2 Wspierane karty oraz zdolność obliczeniowa.

We wstępnym opisie powiedziane było, że technologia CUDA zapoczątkowana była w układach graficznych serii GeForce, Tesla oraz Quadro. Poniżej przedstawiona została tabela ukazująca oficjalne wsparcie określonej wersji CUDA w poszczególnych układach graficznych:

TABELA: z Wiki pokazujacy karty graficzne i lvle CUDA

Kolejną ważną rzeczą wyróżniająca karty graficzne jest ich zdolność obliczeniowa (ang. *compute capability*). Identyfikuje ona możliwości obliczeniowe danej karty graficznej w odniesieniu do technologii NVIDIA CUDA. Poniżej przedstawiona została tabela ukazująca możliwości kart graficznych w zależności od profilu CUDA:

TABELA: porównanie profili do wydajności cuda…

4.3 Architektura

Karty graficzne GPU znacznie różnią się wydajnością od zwykłych procesorów CPU. Różnica w wydajności wynika głównie z faktu, iż procesory graficzne specjalizują się w równoległych, wysoce intensywnych obliczeniach. Karty graficzne składają się z większej liczby tranzystorów które są odpowiedzialne za obliczenia na danych. Nie posiadają natomiast takiej kontroli przepływu instrukcji oraz jednostek odpowiedzialnych za buforowanie danych jak procesory komputerowe CPU. Układy graficzne wspierające technologię CUDA zbudowane z multiprocesorów strumieniowych (ang. *stream multiprocessor*). Różne modele kart graficznych firmy NVIDIA posiadają różną liczne multiprocesorów, co przekłada się także na wydajność i zdolnosć obliczeniową danej architektury. Na rysunku RYYYYYS!!!!!!!

Przedstawiona jest przykładowa budowa takiego właśnie multiprocesora.

RYSUNEK bufowy multiprocesora……..

Każdy z multiprocesorów składa się z: (napisac z kad to wziete!!!!!)

I-Cache – bufor instrukcji;

MT Issue – jednostka która rozdziela zadania dla SP i SFU

C-Cache –bufor stałych (ang. constant memory) o wielkości 8KB, który przyspiesza odczyt z obszaru pamięci stałej

8 x SP – 8 jednostek obliczeniowych tzw stream processors, które wykonują większość obliczeń pojedynczej precyzji (każdy zawiera własne 32-bitowe rejestry)

2 x SFU - jednostki specjalne (ang. special function units). Zadaniem ich jest obliczanie funkcji przestępnych, np. trygonometrycznych, wykładniczych i logarytmicznych, czy interpolacja parametrów.

DP –procesor, który wykonuje obliczenia podwójnej precyzji

SM – pamięć współdzielona (ang. shared memory) o wielkości 16KB.

DODAJ OBRAZEK JAKIS JESZCZE DO ARCHITEKTURY….

4.4 Rodzaje pamięci w architekturze CUDA

Pamięć globalna (ang. *global memory*) – Ta pamięć jest dostępna dla wszystkich wątków. Nie jest pamięcią buforowaną. Dostęp do niej trwa od około 400 do 600 cykli. Pamięć ta służy przede wszystkim do zapisuj wyników działań programu obliczeniowego.

Pamięć lokalna (ang. *local memory*) – Ma taki sam czas dostępu jak pamięć globalna (400-600 cykli). Nie jest także pamięcią buforowaną. Jest ona zdefiniowana dla danego wątku. Każdy wątek CUDA posiada własną pamięć lokalną. Zajmuje się ona przechowywaniem bardzo dużych struktur danych. Pamięć ta jest najczęściej używana gdy obliczenia danego wątku nie mogą być w całości wykonane na dostępnych rejestrach procesora graficznego.

Pamięć współdzielona (ang. *shared memory*) – Jest to bardzo szybki rodzaj pamięci, dorównujący szybkości rejestrów procesora graficznego. Przy pomocy tej pamięci, wątki przydzielone do jednego bloku są wstanie się ze sobą komunikować. Należy jednak obchodzić się ostrożnie z tym rodzajem pamięci, gdyż mogą powstać Momoty w których wątki w jednym bloku będą chciały jednocześnie zapisywać i odczytywać z tej pamięci. Występowanie takich konfliktów w odczycie i zapisie powoduje duże opóźnienia.

Pamięć stała (ang. *const memory*) – Ta pamięć w odróżnieniu do powyższych rodzajów pamięci, jest buforowaną pamięcią tylko do odczytu. Gdy potrzebne dane znajdują się aktualnie w buforze dostęp do nich jest bardzo szybki. Czas dostępu rośnie gdy danych nie ma w buforze i muszą być doczytane z pamięci karty.

Pamięć Tekstur (ang. *texture memory*) – Jest pamięcią podobną do pamięci stałej gdyż udostępnia tylko odczyt danych. Jest także pamięcią buforowaną. W pamięci tej bufor danych został zoptymalizowany pod kątek odczytu danych z bliskich sobie adresów. Najkorzystniejszą sytuacją jest gdy wątki dla danego warpa (grupa 32 wątków zarządzanych przez pojedynczy multiprocesor) odczytują adresy, które znajdują się blisko siebie. CUDA w swojej implementacji udostępnia możliwość posługiwania się teksturami 1D,2D,3D.

Rejestry – Jest to najszybszy rodzaj pamięci. Dostęp do niego nie powoduje żadnych dodatkowych opóźnień, chyba że próbujemy odczytać z rejestru do którego dopiero co zostało coś zapisane. Każdy multiprocesor w urządzeniu CUDA posiada 8192 lub 16384 rejestrów 32-bitowych. Zależy to od wersji(zdolności obliczeniowej) danego urządzenia. W celu uniknięcia powyższych konfliktów ilość wątków na pojedynczy multiprocesor ustawia się jako wielokrotność liczby 64. NAPISAC Z KAD TO WIEM!!!!!!!!!!!!!1

DODAJ OBRAZEK POKAZUJACY JAK WYGLADJA PAMIECI

4.5 Przykładowy kod pod architekturę CUDA.

WKLEJONY KOD POTEGOWANIA I OPISANY CO ROBI

(… Ogólnie obszerniejszy opis technologii CUDY. Jak ją stosować, przykłady kodu, opisy zaczerpnięte z dokumentacji, jak pisać kod by szybko się wykonywał w CUDZIE…)

Dodatkowo opisane jak zaadaptowałem wsteczny raytracing przy użyciu technologii CUDA (wycinki kodów źródłowych…)

1. **Omówienie aplikacji testowej.**

**5.1 Założenia**

Na potrzeby niniejszej pracy zostało opracowane autorskie rozwiązanie uniwersalnego wstecznego raytracera działającego zarówno na procesorze CPU jak i również na ko-procesorach graficznych GPU firmy NVIDIA. Aplikacja testowa jest wstanie generować wynikowe obrazy scen 3D składających się z kul, prostopadłościanów oraz płaszczyzn. Na każdy z elementów sceny jest możliwość nałożenia dowolnej tekstury oraz doboru odpowiednich parametrów materiału. Dodatkowo na scenie możliwe jest umieszczanie świateł punktowych. Aplikacja sama w sobie jest benchmarkiem, który potrafi przetestować zadaną liczbę scen 3D na komputerze użytkownika. Zebrane wyniki z obliczeń jest wstanie przesłać na wybrany adres e-mail (w tym przypadku za zgodą użytkownika do developera). Aplikacja przy generowaniu obrazu sceny 3D bierze pod uwagi różne właściwości materiału danego obiektu. Docelowo generowane są takie efekty jak: oświetlenie, odblask, cienie, wielokrotne odbicia i załamania, tekstury. Przy użyciu materiałów o różnych parametrach jesteśmy wstanie uzyskać bardzo ciekawie wyglądające obiekty np: lustro, szkło, metale i wiele innych.

5.2 **Implementacja**

Aplikacja testowa została napisana w języku C++, wykorzystując biblioteki standardowe pochodzące z języka C. Wersja śledzenia promieni przy użyciu technologii CUDA została napisana w tzw. „C for CUDA”. Dodatkowo do wyświetlania wynikowych obrazów użyta została biblioteka Microsoft DirectX 9.0. Program przeznaczony jest do uruchamiania na systemach z rodziny Windows. Aplikację testową można nazwać swoistym benchmarkiem. Działanie jej składa się z 5 ważnych punktów:

- wczytywanie scen do testow

- testowanie zadanych scen na procesorze CPU.

- testowanie zadanych scen na karcie graficznej GPU.

- zapisywanie wynikowych obrazów scen na dysk użytkownika

- zebranie informacji o testowanych scenach i wysłanie ich na mail developera.

Przebieg działania:

Aplikacja na samym początku wczytuje plik benchamarku z rozszerzeniem \*.rtb. Plik ten zawiera w sobie spis scen (pliki \*.rtm) które mają być przetestowane przez raytracer. Następnie rozpoczyna się testowanie zadanych scen na procesorze CPU. Gdy wszystkie sceny zostaną przetestowane na procesorze, rozpoczyta się raytracing na karcie graficznej z użyciem CUDA. Na koniec gdy już wszystkie sceny zostały wygenerowane przy użyciu CPU oraz GPU, wynikowe obrazy generowane przez raytracer zapisywane są na dysku użytkownika. Zebrane informacje z profilowania każdej ze scen zostają zapisane do pliku oraz wysłane na adres e-mail developera.

5.3 **Zestaw testów**

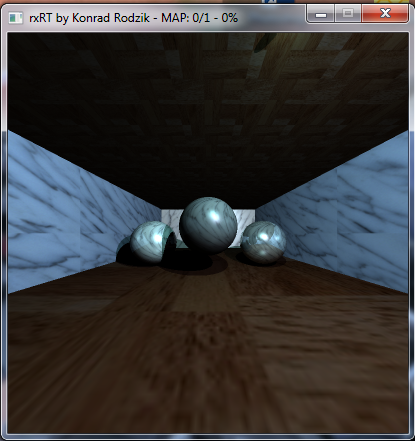
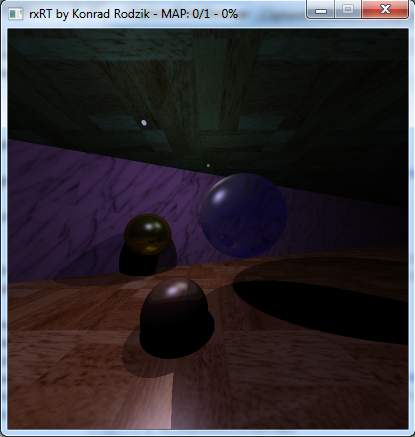
By wykazać przyśpieszenie pomiędzy śledzeniem promieni na procesorze CPU a kartą graficzną GPU przygotowany został zestaw 10 scen testowych. Testowana jest wydajność generowania scen o różnej budowie i występujących na niej prymitywach. W scenach tych testowanych jest wiele parametrów takich jak:

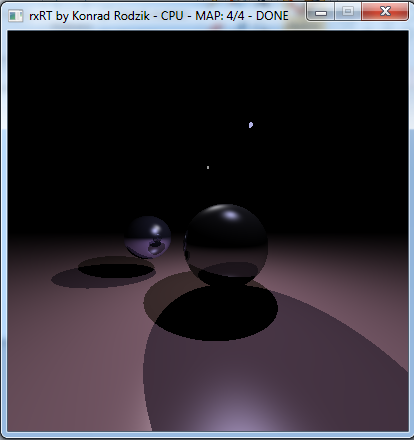
- stopień zagłębienia w wielokrotnych odbiciach.

- stopień zagłębienia w wielokrotnych załamaniach.

- jakość generowanego obraz (super sampling).

- rozdzielczość generowanego obrazu.

**5.4 Przykłady wygenerowanych obrazów:**

  
Aplikacja testowa napisana jest w języku C++ z użyciem biblioteki graficznej DirectX9 przeznaczona jest na systemy z rodziny Windows.

1. **Porównanie wydajności Raytracera działającego na CPU oraz na GPU.**

Tutaj przedstawię wszelkie wyniki generowania obrazów ze scen oraz wszelkie wartości czasowe im odpowiadające. Porównanie wyników dla raytracingu CPU vs GPU. Z każdych wynikowych danych badań przeprowadzonych na różnych konfiguracjach sprzętowych wygenerowany zostanie wykres przedstawiający różnice czasowe w generowaniu scen a tym samym przyspieszenie wstecznego raytracingu jakie udało się uzyskać.

Zakładam wstępnie testy 10 scen. Na każdej z nich różna konfiguracja obiektów oraz materiałów im nadanych. Chce pokazać jakie właściwości materiałów i jaka ilość prymitywów oraz ich rodzajów wpływa na zmniejszanie/zwiększanie wydajności raytracingu.

1. **Podsumowanie i wnioski.**

Podsumuje jasna dla wszystkich rzecz, że obliczenia na kartach graficznych przewyższają wydajnością obliczenia na zwykłych wielordzeniowych procesorach komputerowych. Dodatkowo opisze moje przemyślenia i wnioski które objawiły mi się podczas pisania uniwersalnej aplikacji wstecznego raytracingu.

Na koniec opowiem trochę o tym co udało się zrobić, osiągnąć a czego nie i w jaki sposób chciałbym dalej rozwijać prace nad raytracingiem.