

Anna TOMASZEWSKA, Mateusz MARKOWSKI

ZACHODNIOPOMORSKI UNIWERSYTET TECHNOLOGICZNY W SZCZECINIE, KATEDRA SYSTEMÓW MULTIMEDIALNYCH

Metoda usuwania duchów na przykładzie akwizycji obrazów HDR z wykorzystaniem wspomaganie sprzętowego GPU

Dr inż. Anna TOMASZEWSKA

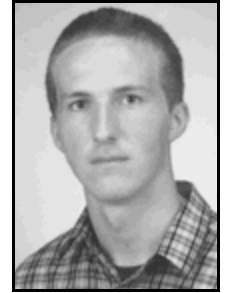
Ukończyła studia na Wydziale Informatyki Politechniki Szczecińskiej w 2000 r. W 2003 r. obroniła pracę doktorską na tym samym wydziale. Obecnie pracuje jako adiunkt w Zakładzie Grafiki Komputerowej Instytutu Grafiki Komputerowej i Systemów Multimedialnych. Jej zainteresowania naukowe to przetwarzanie obrazów HDR, analiza percepcyjna oraz systemy graficzne czasu rzeczywistego.



e-mail: atomaszewska@wi.ps.pl

Mgr inż. Mateusz MARKOWSKI

Ukończył studia I stopnia na Wydziale Informatyki Politechniki Szczecińskiej w 2006 r. W 2008 r. ukończył studia II stopnia na tym samym wydziale. Jego zainteresowania naukowe to grafika komputerowa, w szczególności związana z obrazami HDR oraz GPGPU.



e-mail: mmarkowski@wi.ps.pl

Streszczenie

W artykule zaprezentowano szybką i w pełni automatyczną technikę wykrywania i usuwania duchów, powstających w wyniku składania sekwencji zdjęć danej sceny. Prezentowane podejście umożliwia rejestrację sceny bez konieczności wykorzystania specjalistycznego sprzętu. Działanie algorytmu zaprojektowanego pod kątem implementacji sprzętowej z wykorzystaniem procesora GPU oraz zaprezentowano na przykładzie algorytmu akwizycji obrazów o szerokim zakresie dynamiki, weryfikując jego poprawność za pomocą algorytmu HDR VDP.

Słowa kluczowe: usuwanie duchów, programowalny procesor graficzny, akwizycja obrazów HDR.

Ghosts removal approach for high dynamic range images acquisition based on GPU

Abstract

In the paper we present the method for fast and full automatic approach for ghosts removal on programmable graphics hardware. The technique is based on probability maps that are calculated with comparison function from sequences of hand-held photographs. In practice, several basic problems occur when taking an image sequence. First, the camera is moving which causes images to misalign. This results in a blurry image. Secondly, objects are in movement causing ghost artifacts. In the paper we present a technique for acquisition of non-static scenes. The algorithm we implement as a part of system for acquisition of hand-held high dynamic range (HDR) images. Our application of this technique allows to create correct HDR image based on a simple sequence of the LDR (*Low Dynamic Range*) photographs with overlapped ghost regions. Additionally, the application aligns photographs and provides image de-noising. Most of computations are efficiently performed on GPU with the use of vertex and pixel shaders. We compare the performance of GPU-based implementation with standard approach and validated our results via HDR VDP (*ang. High Dynamic Range Visual Difference Predictor*) algorithm. The paper is organized as follows. In section 2 previous works are discussed. In section 3, the application of our HDR acquisition technique and its hardware implementation are presented. Section 4 shows achieved results. Finally we have concluded the paper.

Keywords: ghosts removal, graphics processing unit, HDR images acquisition.

1. Wstęp

Generowanie pojedynczych obrazów z sekwencji zdjęć wejściowych jest dość powszechnym zagadnieniem. Przykładem może być tworzenie panoram poprzez łączenie wielu obrazów w jeden, czy generowanie, coraz częściej stosowanych w różnych dziedzinach nauki, obrazów o szerokim zakresie dynamiki (*ang. High Dynamic Range - HDR*). Popularność tych ostatnich wynika z możliwości rejestrowania całkowitej radiancji sceny bez konieczności stosowania specjalistycznego sprzętu. Najbardziej powszechna metoda akwizycji obrazu HDR polega na składaniu obrazu wynikowego z sekwencji standardowych zdjęć LDR (*ang. Low Dynamic Range*) o różnej ekspozycji.

Niestety generowanie w ten sposób obrazu związane jest z pewnymi ograniczeniami. Jednym z nich jest brak możliwości jakiegokolwiek zmiany położenia aparatu podczas rejestracji zdjęć, ponieważ nawet niewielkie przesunięcie lub rotacja pomiędzy kolejnymi obrazami spowoduje pogorszenie jakości nakładających się fragmentów obrazu. Drugim ograniczeniem jest brak gwarancji spójności obrazu wynikowego nawet przy najbardziej starannym wykonaniu zdjęć wejściowych, wynikający z możliwości niepożądanego przemieszczenia nie tylko aparatu lecz również poszczególnych obiektów fotografowanej sceny. W konsekwencji, na obrazie końcowym, pojawiają się artefakty określane w literaturze mianem „duchów“ (*ang. ghosts*).

Rozwiązaniem problemu, dotyczącego ruchu kamery, jest wykorzystanie statywu lub kalibracja położenia zdjęć [1]. W przypadku problemu, związanego z pojawianiem się duchów, w literaturze istnieje sporo rozwiązań, które w większym lub mniejszym stopniu radzą sobie ze wspomnianymi ograniczeniami [2, 3]. Niestety proponowane algorytmy albo nie posiadają automatycznego modułu usuwania duchów, albo zwracają słabej jakości rezultaty.

W artykule przedstawiono metodę automatycznego usuwania duchów w procesie składania obrazu z sekwencji zdjęć LDR, uwzględniając możliwość ich rejestracji bez konieczności wykorzystania dodatkowego sprzętu. W celu przyspieszenia obliczeń wykorzystano procesor graficzny GPU, który dzięki wielopotokowej budowie wykorzystującej technologię SIMD, umożliwia równoległą realizację operacji wektorowych. Efektywne przetwarzanie danych jest możliwe dzięki bardzo szybkiemu transferowi danych pomiędzy procesorem GPU a pamięcią karty.

Rozdział 2 artykułu prezentuje przegląd istniejących algorytmów usuwania duchów. Prezentowane podejście, oraz jego implementację sprzętową przedstawiono w rozdziale 3. Rezultaty działania metody zaprezentowano w rozdziale 4.

2. Algorytmy usuwania duchów

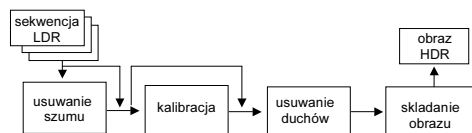
Problem rejestrowania scen dynamicznych, z większej niż jeden liczby obrazów, jest dość złożony ze względu na pojawiające się artefakty w postaci duchów. Obecnie istnieją trzy podstawowe podejścia do tego problemu. Pierwsze z nich bazujące na manualnym maskowaniu duchów jest niewygodne i czasochłonne [2, 9]. Drugie szacuje ruch obiektów na podstawie algorytmów segmentacji [7], co jest dość problematyczne ze względu na mało skuteczne działanie metod segmentacji. Dodatkowo zbiór danych jest ograniczony do zaledwie kilku zdjęć rejestrowanych z nieokreśloną częstotliwością. Trzecie, najbardziej popularne podejście działa na poziomie pikseli wykorzystując predykcję koloru na zdjęciach oraz integrację poszczególnych pikseli z otoczeniem. Algorytmy należące do tej grupy mogą się różnić sposobami zastępowania obszarów duchów. Przykładowo w [3] całe obszary rozpoznane jako duchy zastąpiono wartościami z pojedynczego zdjęcia. Niestety takie podejście zadziała popraw-

nie jedynie w przypadkach, gdy przedział dynamiczny całego obszaru został poprawnie zarejestrowany na pojedynczym zdjęciu. Inne, iteracyjne rozwiązania bazują na propagacji prawdopodobieństwa zawierania ducha na poszczególnych zdjęciach [8]. Wymagają one jednak sporej liczby obrazów wejściowych oraz dużej ilości kosztownych obliczeniowo iteracji. W artykule zaprezentowano szybki algorytm usuwania duchów dla minimalnej sekwencji wejściowej składającej się z trzech zdjęć.

3. Akwizycja obrazów HDR dla scen dynamicznych

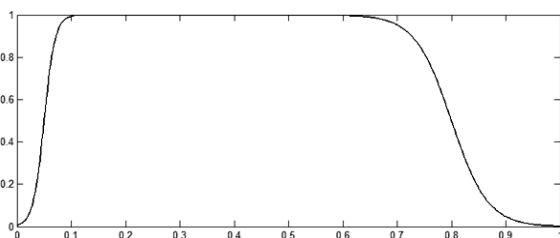
Cechą obrazów HDR jest możliwość rejestracji pełnego zakresu jasności (luminancji) oraz kolorów widzianych przez człowieka [4]. Najbardziej popularnym podejściem akwizycji obrazów HDR jest wykorzystanie sekwencji zdjęć LDR wykonanych dla tej samej sceny ale z różną ekspozycją. Wygenerowanie obrazu HDR dla sceny z poruszającymi się obiektami wymaga uwzględnienia algorytmu usuwania duchów. Opracowane podejście, umożliwiające akwizycję obrazów HDR dla dynamicznej sceny, można podzielić na trzy główne etapy, spośród których dwa pierwsze mogą być używane opcjonalnie (rys. 1):

- usuwanie szumu (opcjonalny),
- kalibracja (opcjonalny),
- wykrywanie i usuwanie duchów.



Rys. 1. Schemat algorytmu akwizycji obrazu HDR dla dynamicznej sceny
Fig. 1. Schema of the HDR images acquisition algorithm for non-static scene

W celu poprawienia jakości generowanych wyników, na pierwszym etapie algorytmu uwzględniono moduł usuwania szumu zrealizowany na podstawie progowania współczynników w dziedzinie falek [5]. Generowanie wyjściowego obrazu HDR z sekwencji zdjęć LDR sceny dynamicznej, po uwzględnieniu etapu kalibracji oraz usuwania duchów, jest zbliżone do standardowego podejścia tworzenia obrazu HDR z sekwencji zdjęć LDR sceny statycznej [4]. Różnicę stanowi uwzględnienie map duchów w wagowej aproksymacji przydatności. Funkcję wagową opracowano w taki sposób, aby źle dobrane wagi nie tłumili eliminowania duchów przez mapy duchów. Dlatego w centralnej części dopuszczalnego zakresu, dla pojedynczego kanału, funkcja wagowa przyjmuje wartość bliską 1 (rys. 2).



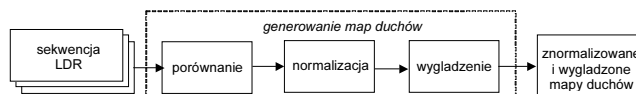
Rys. 2. Przebieg funkcji wagowej dla pojedynczego kanału obrazu (R, G lub B)
Fig. 2. Weight function graph for single color component

3.1. Mapy duchów

W celu usunięcia duchów, dla każdego obrazu wejściowego LDR generowana jest mapa duchów, informująca w jakim stopniu kolor danego piksela obrazu wpłynie na kolor piksela obrazu wyjściowego (prawdopodobieństwo przynależności danego piksela obrazu albo do tła sceny, albo do poruszającego się obiektu). Moduł generowania map duchów, przyjmujący na wejściu zbiór

obrazów LDR oraz ich znormalizowanej postaci, składa się z trzech podstawowych etapów (rys. 3):

- porównania – porównanie odpowiadających sobie pikseli (dla każdego kanału) ze znormalizowanej sekwencji LDR,
- normalizacji – wyznaczenie w sekwencji wejściowej największej i najmniejszej wartości dla wszystkich odpowiadających sobie pikseli i znormalizowanie na ich podstawie obrazów wejściowych,
- wygładzania – etap składający się z trzech podetapów: dylatacji, erozji oraz splotu. Pierwszy usuwa jedno- i dwupikselowe obszary z map duchów rozpoznane jako duchy, drugi wypełnia powstałe „dziury”, trzeci wygładza ostatecznie mapę duchów [6].



Rys. 3. Schemat blokowy modułu usuwania duchów
Fig. 3. Schema of ghosts removal module

3.2. Sprzętowa implementacja algorytmu

W implementacji algorytmu (sporządzonej w API OpenGL z wykorzystaniem języka GLSL) wykorzystano programowalne jednostki cieniowania wierzchołków i fragmentów. Do synchronizacji shaderów (programów uruchamianych na karcie) oraz transferu danych pomiędzy CPU a GPU wykorzystywany jest procesor CPU, a wszystkie dane przechowywane są w postaci tekstur. W implementacji, wszystkie moduły algorytmu wykonujące operacje macierzowe korzystają z obiektu bufora ramki (*ang. Frame Buffer Object - FBO*), umożliwiając generowanie wyniku do tekstury zamiast do standardowego bufora okna. Dzięki temu wszystkie operacje arytmetyczne wykonywane są na procesorze GPU. Standardowo, rozszerzenie FBO pozwala na użycie tylko jednej tekstury wyjściowej. W związku z tym, że moduł składowania obrazu HDR nie mógł być ograniczony tylko do jednej tekstury wyjściowej, wykorzystano rozszerzenie *Multiple Render Targets (MRT)* pozwalające na wygenerowanie na wyjściu shadera kilku tekstur równocześnie.

Dane wejściowe algorytmu stanowią sekwencja obrazów LDR oraz wektor czasów otwarcia migawki podczas ich rejestracji. Istotnymi elementami są liniowa zależność luminancji obrazu od radiancji sceny, oraz różnica czasu ekspozycji pomiędzy kolejnymi zdjęciami. Rozmiar wektora czasów otwarcia migawki, podawanego na wejściu algorytmu, zależy od ilości zdjęć w sekwencji, a jego zawartość składa się z liczb rzeczywistych wyrażonych w sekundach. Wyjściem algorytmu jest obraz HDR bez widocznych artefaktów w postaci duchów.

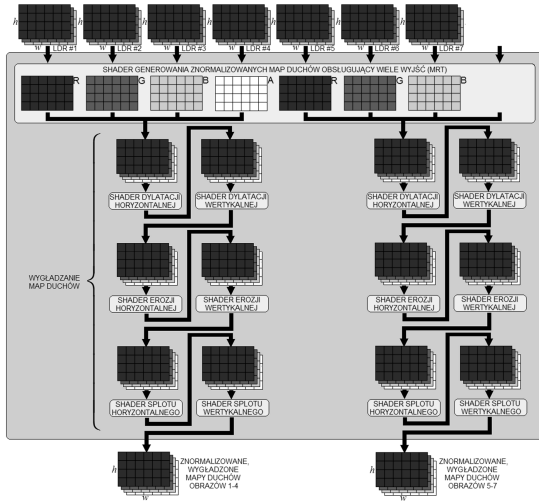
Moduł kalibracji zawiera uproszczone podejście, bazujące na minimalizacji sumy dopasowania po współrzędnych o malejącym kroku. Przyjęto założenie, że przesunięcia pomiędzy kolejnymi obrazami z sekwencji wejściowej są na tyle niewielkie, że prezentowana technika powinna być całkowicie wystarczająca. W tym celu zaimplementowano sprawdzenie dopasowania oraz przemieszczenie obrazu. Blok dopasowania może kalibrować od jednego do czterech obrazów jednocześnie. Takie rozwiązanie zaproponowano ze względu na optymalne wykorzystanie dostępnych podczas operacji downsamplingu czterech kanałów RGBA. Drugi z bloków procesu kalibracji, przemieszczania obrazu, bazuje na resamplingu tekstury wejściowej do tekstury wyjściowej.

W module tworzenia map duchów (rys. 4), etap pierwszy zrealizowano za pomocą jednego przebiegu shadera, generującego znormalizowane mapy duchów. Ilość tekstur wejściowych shadera równa jest ilości obrazów sekwencji. Każde wyjście shadera to tekstura czterokanałowa RGBA, a każdy kanał tekstury wyjściowej odpowiada pojedynczej mapie duchów. Etap wygładzania map duchów, zrealizowano w sześciu krokach przez shadera:

- dylatacji horyzontalnej (okno próbkowania 3x1),
- dylatacji wertykalnej (okno próbkowania 1x3),
- erozji horyzontalnej (okno próbkowania 15x15),

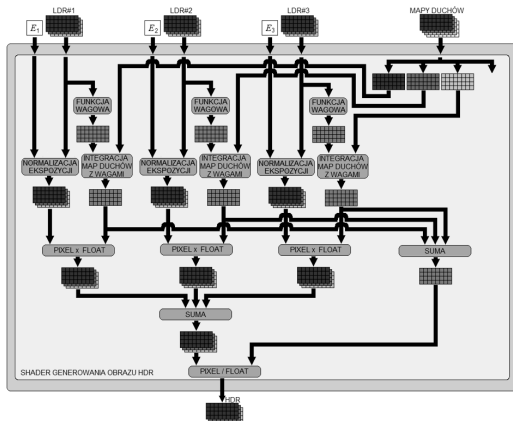
- erozji wertykalnej (okno próbkowania 1x15),
- splotu horyzontalnego (okno próbkowania 5x1),
- splotu wertykalnego (okno próbkowania 1x5).

Operacje dylatacji, erozji oraz splotu poddano dekompozycji, aby zwiększyć ich wydajność. Dzięki rozbięciu na operacje horyzontalne i wertykalne zmniejszono ilość czasochłonnych próbkowań tekstury. Liczba próbkowań po dekompozycji jest równa sumie wymiarów okna.



Rys. 4. Shader tworzenia map duchów
Fig. 4. Ghost map generation shader

Integracja wejściowej sekwencji LDR oraz wygenerowanych map duchów zrealizowano w jednoprzebiegowym shaderze generowania obrazu HDR wymnażając spróbkowane wartości mapy duchów przez odpowiadające jej wagi. Na wejściu shader otrzymuje k obrazów LDR, jeden k -elementowy wektor czasów ekspozycji poszczególnych zdjęć sekwencji oraz mapy duchów. Szczegółową budowę shadera generowania obrazu HDR dla trzech obrazów sekwencji LDR przedstawiono na rysunku 5. W przypadku generowania obrazu HDR z większej liczby zdjęć składowych LDR budowa shadera jest analogiczna.



Rys. 5. Szczegółowa budowa shadera akwizycji obrazu HDR dla trzech zdjęć LDR
Fig. 5. Detail shader for HDR acquisition for the three LDR images

4. Rezultaty

Aplikację przetestowano na komputerze PC wyposażonym w kartę z procesorem graficznym NVIDIA® GeForce® 9800 GT, procesor Core™ 2 Duo E8500 @ 3,16GHz, 4096MB pamięci RAM, system operacyjny Ubuntu 8.04 LTS Desktop Edition 64bit ze sterownikami karty w wersji NVIDIA-Linux-x86_64-180.51.

Sekwencje sceny dynamicznej oraz wynikowe obrazy HDR uzyskane metodą konwencjonalną oraz prezentowaną w artykule

przedstawiono na rysunku 6. Porównując obrazy można subiektywnie stwierdzić, że artefakty powstałe na skutek przemieszczania się obiektów zostały usunięte. W celu weryfikacji poprawności uzyskanych wyników wykonano test porównawczy (HDR-VDP [9] Rys. 7). Wykazane w teście różnice były bardzo małe i tylko ich niewielka część dotyczyła obszarów zawierających ruchome obiekty. Sekwencje rejestrowane były w pewnym odstępie czasowym, stąd część obszarów została zaznaczona z powodu zmiany kąta padania promieni słonecznych.



Rys. 6. Sekwencja LDR sceny dynamicznej oraz obrazy wynikowe dla metody konwencjonalnej (lewy) oraz prezentowanego podejścia (prawy)
Fig. 6. LDR sequence for non-static scene, and corresponding HDR images: standard (left) and our approach (right)



Rys. 7. Wynik testu HDR-VDP
Fig. 7. Results for HDR-VDP test

5. Podsumowanie

W artykule zaprezentowano implementację metody usuwania duchów z wykorzystaniem programowalnego procesora karty graficznej. Działanie techniki przedstawiono na przykładzie algorytmu akwizycji obrazów HDR. Wyniki pracy algorytmu zweryfikowano na podstawie algorytmu HDR-VDP.

6. Literatura

- [1] Tomaszewska A., Mantiuk R.: Image registration for Multi-exposure high dynamic range image acquisition, Visualization and Computer Vision'2007: WSCG, str. 49-56, 2007.
- [2] Mediachance, Dynamic Photo HDR, 2008. <http://www.mediachance.com>.
- [3] Photomatix Pro, HDRsoft, 2003, <http://www.hdrsoft.com>.
- [4] Reinhard E., Ward G., Pattanaik S., Debevec P.: High Dynamic Range Imaging. Morgan Kaufman, Elsevier, 2005.
- [5] Selesnick I., Wagner C.: Double-Density Wavelet Software, Polytechnic University's Brooklyn, 2004.
- [6] Kang S. B., Uyttendaele M., Winder S., Szeliski R.: High dynamic range video, ACM Transactions on Graphics, nr 22, 2003.
- [7] Khan E. A., Oguz Akyuz A., and Reinhard E.: Ghost removal in high dynamic range images, IEEE International Conference on Image Processing, 2006.
- [8] Rota G.: Qtpfsgui - HDR Imaging Workflow Application. <http://qtpfsgui.sourceforge.net>, 2007.
- [9] Mantiuk R., Myszkowski K., Seidel H.P.: Visible Difference Predictor for High Dynamic Range Images, Proc. of IEEE Int. Conference on Systems, Man and Cybernetics, str. 2763-2769, 2004.