

Szczecin, dnia 24.10.2013

dr inż. Radosław Mantiuk
Katedra Systemów Multimedialnych
Wydział Informatyki
Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie
tel. +48 91 4495545
e-mail: rmantiuk@wi.zut.edu.pl
www: <http://rmantiuk.zut.edu.pl/>

AUTOREFERAT

1. Imię i nazwisko:

Radosław Mantiuk

2. Posiadane stopnie naukowe:

30 czerwca 1994 - *tytuł magistra inżyniera*, uzyskany na Wydziale Techniki Morskiej Politechniki Szczecińskiej, kierunek informatyka, w zakresie systemy oprogramowania,

24 listopada 1995 - *tytuł magistra inżyniera*, uzyskany na Wydziale Techniki Morskiej Politechniki Szczecińskiej, kierunek oceanotechnika, w zakresie sterowanie i pomiary w oceanotechnice,

4 maja 1999 - *stopień naukowy doktora nauk technicznych w dyscyplinie informatyka*, nadany uchwałą Rady Instytutu Informatyki Wydziału Techniki Morskiej Politechniki Szczecińskiej w Szczecinie, tytuł rozprawy doktorskiej: „*Metoda doboru parametrów algorytmu jednorodnego podziału przestrzeni w syntezie obrazów opartej na śledzeniu promieni*”.

3. Dotychczasowe zatrudnienie w jednostkach naukowych:

od 01.10.1994 do 30.09.1995 oraz od 30.09.1995 do 31.06.1999 – *asystent* w Instytucie Informatyki (Zakład Grafiki i Architektury Komputerów, Wydział Techniki Morskiej Politechniki Szczecińskiej) przemianowanym później na Wydział Informatyki Politechniki Szczecińskiej,

od 01.07.1999 do dzisiaj – *adiunkt* w Katedrze Systemów Multimedialnych, Wydział Informatyki, Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie (wcześniej Politechnika Szczecińska). W okresie od 01.03.2002 do 31.08.2008 byłem kierownikiem Zakładu Grafiki Komputerowej.

4. Wskazanie osiągnięcia wynikającego z art. 16 ust. 2 z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. nr 65, poz. 595 ze zm.).

A) Tytuł osiągnięcia naukowego:

„Wykorzystanie kierunkowości widzenia człowieka w syntezie i przetwarzaniu obrazów”

(jednotematyczny cykl publikacji)

B) Publikacje lub inne prace wchodzące w skład osiągnięcia naukowego:

1. Radosław Mantiuk, Bartosz Bazyluk, Rafał Mantiuk, 2013, „Gaze-driven Object Tracking for Real Time Rendering”, Computer Graphics Forum (materiały konferencji Eurographics’13), Tom 32, Nr 2pt2, str. 163-173 .
2. Radosław Mantiuk, Rafał Mantiuk, Anna Tomaszewska, Wolfgang Heidrich, 2009, „Color Correction for Tone Mapping”, Computer Graphics Forum (materiały konferencji Eurographics’09), Tom 28, Nr 2, str. 193-202.
3. Radosław Mantiuk, Mateusz Markowski, 2013, „Gaze-dependent Tone Mapping”, Lecture Notes in Computer Science (materiały konferencji ICIAR’13 Conference), Tom 7950, str. 426-433.
4. Radosław Mantiuk, Michał Kowalik, Adam Nowosielski, and Bartosz Bazyluk, 2012, „Do-It-Yourself Eye Tracker: Low-Cost Pupil-Based Eye Tracker for Computer Graphics Applications”, Lecture Notes in Computer Science (materiały konferencji MMM’12 Conference), Tom 7131, str. 115-125.
5. Radosław Mantiuk, Sebastian Janus, 2012, “Gaze-dependent Ambient Occlusion”, Lecture Notes in Computer Science (materiały konferencji ISVC’12), Tom 7431, Nr I, str. 523-532.
6. Radosław Mantiuk, Bartosz Bazyluk, Anna Tomaszewska, 2011, „Gaze-Dependent Depth-of-Field Effect Rendering in Virtual Environments”, Lecture Notes in Computer Science (materiały konferencji SGDA’11), Tom 6944, str. 1-12.
7. Anna Tomaszewska, Radosław Mantiuk, 2007, „Image Registration for Multi-exposure High Dynamic Range Image Acquisition”, materiały konferencji International Conference in Central Europe on Computer Graphics, Visualization and Computer Vision (WSCG’07), str. 49-56.

C) Omówienie celów naukowych oraz osiągniętych wyników zaprezentowanych w cyklu publikacji

W ostatnich latach coraz większe znaczenie zaczynają zyskiwać urządzenia do rejestracji kierunku patrzenia człowieka zwane eye tracker’ami (lub okulografami). Wykorzystywane są one w takich aplikacjach, jak wspomaganie obsługi interfejsów użytkownika w grach komputerowych, sterowanie systemami wirtualnej rzeczywistości [Jac93], zwiększanie rozdzielczości wyświetlaczy [DER10], sterowanie wyświetlaczami autostereoskopowymi [PPK04] i wielu innych. W prezentowanym cyklu publikacji łączę swoje doświadczenia naukowe z zakresu rozwoju technik syntezy obrazów komputerowych z wykorzystaniem technologii śledzenia kierunku patrzenia. Prowadzone przeze mnie badania naukowe są elementem prac nad stworzeniem realistycznego i interaktywnego systemu do syntezy i wyświetlania obrazów, tzn. takiego, w którym jakość obrazów odpowiadałaby tym widzianym w naturze przez człowieka.

Moim zdaniem w przewidywalnej przyszłości cel ten zostanie osiągnięty, a kierunkowość widzenia jest jednym z podstawowych aspektów, który należy wziąć pod uwagę modelując metody realistycznej syntezy obrazów.

Obraz widziany przez człowieka tworzony jest w specyficzny sposób, w którym dominującą rolę odgrywa *kierunkowość widzenia*. Wykonujemy szybkie i częste ruchy oczami, zwane ruchami sakadycznymi (ang. *saccades*) oraz śledzimy wzrokiem poruszające się obiekty (ang. *smooth pursuit eye movement*) [Duch07]. Te chwilowe ujęcia składane są przez aparat widzenia człowieka (ang. *Human Visual System*, w skrócie HVS) w obraz całej sceny. Taki model syntezy obrazów praktycznie nie jest wykorzystywany we współczesnych systemach obrazowania komputerowego, pomimo że informacja o kierunku widzenia jest niezbędna do symulacji szeregu efektów percepcyjnych (tematyka artykułów [6] oraz [1] z prezentowanego cyklu publikacji). Kierunkowość widzenia można wykorzystać do przyspieszenia działania systemów graficznych poprzez wykonywanie dokładnych obliczeń tylko dla wybranych fragmentów obrazu, na które skierowany jest wzrok obserwatora (tematyka artykułu [5]). Na efektywność wspomnianych rozwiązań może mieć wpływ ograniczona dokładność eye tracker'ów, a w szczególności niedokładności algorytmów obliczania fiksacji. W cyklu publikacji proponuję nową technikę fiksacji rozwiązującą ten problem (artykuł [1]). Kierunkowość widzenia może być w naturalny sposób wykorzystana w technikach obrazowania komputerowego o rozszerzonym zakresie dynamiki (ang. *high dynamic range imaging*), np. do interaktywnego mapowania tonów podczas wyświetlania obrazów HDR (tematyka artykułu [3]). Istotnym elementem jest wykorzystanie w tym procesie percepcyjnych technik reprodukcji kolorów (tematyka artykułu [2]). Metodologia mojej pracy naukowej bazuje na wykonywaniu eksperymentów, których wyniki prowadzą do modelowania zjawisk percepcyjnych (przykłady eksperymentów opisane są w artykułach [1][2][5][6]). Ważnym aspektem są kontrybucje techniczne zapewniające prawidłowe przygotowanie eksperymentów oraz praktyczną implementację opracowanych modeli zjawisk percepcyjnych (przykłady w artykułach [4][7][1][2]).

Wykorzystanie kierunkowości widzenia do symulacji efektów percepcyjnych

W *artykule [6]* zaproponowana została interaktywna technika wizualizacji efektu głębi ostrości. Symulacja tego efektu nie mogłaby zostać zrealizowana bez uwzględnienia kierunkowości widzenia, ponieważ symulacja rozmycia obrazu związanego z akomodacją oka powinna być zgodna z tym na jakie obiekty w danej chwili patrzy człowiek. Zaproponowany został system, w którym dane z eye tracker'a wykorzystane są do identyfikacji obiektów. Uczestnicy przeprowadzonych eksperymentów percepcyjnych wskazali na przewagę takiego rozwiązania nad „statycznym” efektem głębi ostrości. Jednocześnie zwrócili jednak uwagę na niestabilność symulacji efektu przejawiającą się niezgodnymi z intencją zmianami obiektów akomodacji. Przyczyną tego problemu jest mała dokładność eye tracker'ów oraz algorytmów obliczania fiksacji. W *artykule [1]* zaproponowano autorską technikę filtracji danych z eye tracker'a pozwalającą na uzyskanie stabilnej wizualizacji efektu głębi ostrości.

Przyspieszanie syntezy obrazów

W *artykule [5]* zaproponowane zostało rozwiązanie ograniczające liczbę próbek w metodzie obliczania przesłaniania środowiska (ang. *ambient occlusion*) i w ten sposób przyspieszające aproksymację oświetlenia globalnego. Prezentowana technika redukuje obliczenia w peryferyjnych obszarach widzenia stosując autorski sposób filtracji, w którym

oświetlenie globalne obliczane jest tylko dla obszaru otaczającego punkt patrzenia. Dla większych kątów widzenia stosowany jest szybki model oświetlenia lokalnego, przy czym, co dowiedziono w przeprowadzonych eksperymentach percepcyjnych, obserwator nie zauważa mniejszej dokładności tego modelu.

Temat redukcji obliczeń bazującej na wykorzystaniu kierunkowości widzenia wrócił w ostatnich miesiącach do obszaru zainteresowań środowisk naukowych. Znaczącym przykładem jest praca [Gunter12] opublikowana w grudniu 2012 roku przez naukowców z firmy Microsoft. Wspomniany artykuł prezentuje technikę zmiany częstotliwości próbkowania obrazu zależną od kierunkowości patrzenia. Wykorzystanie techniki w algorytmie przeglądania liniami (ang. *scanline algorithm*) nawet 10-15 krotnie zmniejsza liczbę próbek, a co za tym idzie przyspiesza syntezę obrazów. Wcześniejsze rozwiązania [LW89][MDT09] nie mogły być wykorzystane w interaktywnych systemach graficznych z uwagi na ograniczenia technologiczne oraz algorytmiczne. Metoda opisana w artykule [5] wpisuje się w ten trend prezentując rozwiązanie przeznaczone dla technik oświetlenia globalnego.

Poprawa dokładności wyznaczania kierunku patrzenia

Eye tracker'y rejestrują chwilowy kierunek, w którym skierowany jest środek źrenicy oka obserwatora. Na podstawie tych danych wyznaczana jest fiksacja (ang. *fixation*), tzn. kierunek patrzenia zgodny z intencją obserwatora. Stosowane obecnie algorytmy obliczania fiksacji wprowadzają błąd wyznaczania kierunku fiksacji dochodzący do dwóch stopni kątowych [SG00]. Algorytmy te definiują położenie fiksacji we współrzędnych ekranu monitora analizując fizyczne położenie oczu. W *artykule [1]* zaproponowana została znacznie dokładniejsza technika obliczania fiksacji polegająca na wskazaniu obiektu fiksacji spośród elementów trójwymiarowej sceny. Prawidłowe działanie techniki, nazwanej GDOT (ang. *Gaze-Driven Object Tracking*), wykazane zostało na przykładzie symulacji głębi ostrości oraz jako element sterowania interfejsem gry komputerowej. Technika GDOT jest uniwersalną metodą, którą można z powodzeniem wykorzystać w aplikacjach spoza obszaru grafiki komputerowej, np. do identyfikacji obiektów na obrazie telewizyjnym.

Interaktywne wyświetlanie obrazów HDR

Obraz HDR (ang. *High Dynamic Range image*) różni się od standardowego obrazu komputerowego większą dokładnością rejestrowanych danych [RW+10]. Przechowuje informacje charakteryzujące się dużym zakresem dynamiki jasności porównywalnym z możliwościami wzroku człowieka. Takie dane nie mogą być bezpośrednio wyświetlone na standardowych monitorach, ponieważ zakres dynamiki tych urządzeń jest wielokrotnie niższy. Przed wyświetleniem kompresuje się jasność obrazu HDR poprzez zmniejszenie jego kontrastów za pomocą algorytmów nazywanych operatorami mapowania tonów (ang. *tone mapping operators*). W *artykule [3]* zaproponowana została technika mapowania tonów wykorzystująca informację o kierunku patrzenia. Odwzorowuje ona działanie wzroku człowieka, którego podstawowym mechanizmem jest adaptacja do zmiany jasności wraz ze zmianą kierunku patrzenia. W artykule prezentowane jest interaktywne rozwiązanie, w którym eye tracker umożliwia obliczenie do jakiej jasności zaadaptowany jest człowiek obserwujący wybrany obszar obrazu HDR. Algorytm mapowania tonów dostosowuje stopień kompresji kontrastów do chwilowej adaptacji wzroku i wyświetla obraz HDR w sposób zapewniający wierną reprodukcję rzeczywistości. Technika symuluje zjawisko niepełnej adaptacji (ang. *maladaptation*), w którym widoczność obiektów stale zmienia się wraz z ruchem oczu i adaptacją do różnych poziomów

jasności. Prezentowany operator tonów wykorzystuje cały dostępny zakres dynamiki wyświetlacza, wykonuje kompresję kontrastów uwidaczniającą lokalne szczegóły na obrazie przy jednoczesnym przyjęciu globalnego poziomu adaptacji dla całego obrazu.

Korekcja kolorów po zmianie kontrastu

Operatory mapowania tonów pomijały problem prawidłowej reprodukcji barw z wejściowej sceny (obrazu HDR) na wyjściowym obrazie wyświetlanym na monitorze. Zmiana kolorystyki po kompresji kontrastów jest trudnym do zamodelowania procesem percepcyjnym towarzyszącym widzeniu barw. W *artykule [2]* zaproponowane zostało rozwiązanie, w którym saturacja barw korygowana jest za pomocą modelu opartego na funkcji sigmoidalnej. Przebieg tej funkcji oraz jej parametry wyznaczono na drodze eksperymentów percepcyjnych, w których ludzie dopasowywali barwy na obrazach po kompresji do barw w oryginalnych obrazach HDR. Zaproponowana metoda zaimplementowana została w przykładowych globalnych i lokalnych operatorach tonów. Wartym podkreślenia jest fakt, że opisany w artykule problem korekcji kolorów po kompresji tonów dopiero teraz zaczyna być analizowany i uwzględniany w operatorach tonów (np. w [RP+12]). Nasza praca z 2009 roku jest w tym zakresie pionierska i zwraca uwagę na nowy problem związany z reprodukcją kolorów na współczesnych wyświetlaczach o dużym zakresie dynamiki.

Eksperymenty percepcyjne

W moich badaniach stosuję metodologię opierającą się na przeprowadzaniu eksperymentów percepcyjnych, w których ludzie proszeni są o ocenę określonych parametrów obrazów. Wyniki tych eksperymentów służą do modelowania zależności, które następnie wykorzystywane są w praktycznych aplikacjach. Takie podejście wymagało opracowania reguł przeprowadzania eksperymentów. Zasadnicze znaczenie ma zaprojektowanie bodźca reprezentującego wyłącznie analizowany problem oraz przeprowadzenie poprawnej pod względem psychometrycznym procedury eksperymentalnej. Brałem udział w badaniach nad efektywnymi metodami przeprowadzania eksperymentów percepcyjnych uwzględniających specyfikę zastosowań grafiki komputerowej (artykuł pt. „Comparison of Four Subjective Methods for Image Quality Assessment”, patrz P. II A, 1). Jestem również współautorem artykułu proponującego nową metrykę oceny jakości grafiki komputerowej, bazującą na uczeniu maszynowym (artykuł pt. “Learning to Predict Localized Distortions in Rendered Images”, patrz P. II A, 3). We wspomnianej pracy przeprowadzane są eksperymenty kompleksowo badające percepcyjny mechanizm oceny jakości obrazów przez człowieka. Innym przykładem wykorzystania badań eksperymentalnych jest opisana w *artykule [1]* metoda wyznaczania kierunku fiksacji skalibrowana za pomocą metryki oceny jakości obrazów. W wymienionej pracy przeprowadzone zostały eksperymenty poddające ocenie wizualizację głębi ostrości z różnym stopniem artefaktów. Zaproponowana w *artykule [2]* korekcja kolorów bazuje na wynikach eksperymentów, w których ludzie oceniali zbieżność kolorów pomiędzy referencyjnym obrazem HDR i obrazem po kompresji jasności. Takie podejście zapewnia uwzględnienie w korekcji kolorów szeregu zjawisk percepcyjnych towarzyszących widzeniu kolorów, nawet jeżeli nie znamy poprawnych modeli tych zjawisk.

Kontrybucje techniczne

Cykl publikacji uzupełniają dwa artykuły prezentujące rozwiązania inżynierskie, które miały jednak duży wpływ na późniejsze dokonania naukowe. Wartym podkreślenia jest również fakt, że opisane w nich aplikacje spotkały się z dużym zainteresowaniem środowiska naukowego.

W *artykule [7]* przedstawiona została technika korekcji przesunięć pomiędzy serią zdjęć wykonywanych aparatem fotograficznym trzymanym w ręku, tzn. bez użycia statywu. Wspomniane rozwiązanie zastosowano przy tworzeniu obrazów HDR metodą składania serii zdjęć wykonanych z różną ekspozycją [MP95]. Zaproponowana technika bazująca na wykorzystaniu zmodyfikowanej metody SIFT [Low04] okazała się skutecznym sposobem na eliminację przesunięć. Zwróciła uwagę na specyfikę problemu jakim jest rejestracja zdjęć podczas tworzenia obrazów HDR, doczekując się licznych cytowań.

W *artykule [4]* opisany został projekt, w którym zbudowany został niskobudżetowy eye tracker'a, nazwany DIY (ang. *Do-It-Yourself eye tracker*). Celem tego projektu było praktyczne zapoznanie się z konstrukcją eye tracker'ów oraz przeanalizowanie źródeł niedokładności ich działania. DIY eye tracker prezentowany był na międzynarodowych konferencjach naukowych (Eurographics'13 oraz MMM'12) oraz kilku wystawach (CEBIT, Szczecin Game Show, Noc Naukowca) spotykając się z pozytywnym odzewem i zapytaniami o komercjalizację projektu. W maju 2013 roku urządzenie zostało przeze mnie zademonstrowane na konferencji Eurographics'13 w ramach kursu dla naukowców na temat eye tracking'u (pt. „An Eye on Perceptual Graphics: Eye-Tracking Methodology”).

W swojej pracy naukowej zwracam uwagę na możliwość wdrażania i komercjalizacji wyników badań. Metoda GDOT opisana w artykule [1] uzyskała amerykański patent tymczasowy oraz skierowana została do opatentowania w polskim urzędzie patentowym (patrz punkt II C). Architektura biblioteki do przetwarzania obrazów HDR zaproponowana w artykule 2, punkt II E wykorzystana została w komercyjnym projekcie HDRLIB, w którym obrazy HDR zastosowano do interaktywnego projektowania oświetlenia (oprogramowanie Vivaldi firmy Zumtobel, patrz 2, punkt II B). Technika tworzenia zdjęć HDR na urządzeniu mobilnym (artykuły 1, punkt II E i 1, punkt II L) zaimplementowana została w komercyjnej aplikacji Shutter Pro (patrz 1, punkt II B).

Podsumowanie

Do głównych osiągnięć zaprezentowanych w jednotematycznym cyklu publikacji zaliczam:

- opracowanie nowej metody wyznaczania kierunku fiksacji na podstawie danych z eye tracker'a i informacji o budowie sceny,
- opracowanie nowej metody korekcji kolorów po zmianie kontrastów i zastosowanie jej w technikach kompresji tonów obrazów HDR,
- proponowanie interaktywnej techniki kompresji i wyświetlania obrazów HDR, bazującej na obliczaniu lokalnej luminancji adaptacji,
- opracowanie autorskiej techniki redukcji obliczeń w metodzie przesłaniania środowiska, polegającej na obliczaniu oświetlenia globalnego tylko w obszarze uwagi człowieka,
- zaprezentowanie interaktywnego systemu wizualizacji efektu głębi ostrości uwzględniającego zmianę kierunku patrzenia,
- zwrócenie uwagi na praktyczne znaczenie prawidłowej rejestracji zdjęć podczas tworzenia obrazów HDR oraz opracowanie techniki rejestracji bazującej na metodzie SIFT.

W zrealizowanych projektach zapoczątkowałem tematy, które do tej pory były w niewielkim stopniu eksploatowane przez środowisko naukowe związane z grafiką i obrazowaniem komputerowym. Prace nad takimi zagadnieniami jak korekcja kolorów po zmianie kontrastu czy wykorzystanie eye tracking'u w syntezie obrazów są aktualnymi problemami

badawczymi [RP+12][Yeo12],[Guenther12]. Mam nadzieję na zainteresowanie środowiska naukowego moimi najnowszymi projektami rozwijającymi tą tematykę (w sumie osiem artykułów opublikowanych w 2012 i 2013 roku oraz dwa wysłane do recenzji).

Specyfiką projektów z grafiki komputerowej jest ich duża złożoność techniczna, dlatego wszystkie publikacje w cyklu są pracami zbiorowymi przygotowanymi przez zespoły naukowców i studentów. Chciałbym jednak zaznaczyć, że publikacje [1][3][5][6] opracowane zostały we współpracy z doktorantami i/lub studentami, nad którymi sprawowałem opiekę naukową. W szczególności publikację [3] przygotowałem wyłącznie z doktorantem, natomiast publikację [5] ze studentem studiów inżynierskich. W swoim całym dorobku naukowym mam 9 publikacji przygotowanych wyłącznie ze studentami. Główną rolę studentów w takich projektach było wykonywanie implementacji.

Jestem pierwszym autorem w sześciu z siedmiu publikacji w prezentowanym cyklu. W mojej specjalności naukowej, umieszczenie na pierwszym miejscu listy autorów jest jednoznaczne ze wskazaniem osoby odpowiedzialnej za projekt, definiującej problem badawczy i wykonującej najwięcej prac w tym projekcie. W całym moim dorobku naukowym mam 18 artykułów (z 32), w których jestem pierwszym autorem. Do wniosku habilitacyjnego załączone są oświadczenia współautorów o procentowym udziale w powstaniu poszczególnych artykułów z cyklu publikacji. Mój udział procentowy wynosi: artykuł [1] – 70%, [2] – 70%, [3] – 80%, [4] – 35%, [5] – 80%, [6] – 35%, [70] – 50%. Szczegółowy opis mojej roli w poszczególnych projektach zamieszczony został w wykazie prac naukowych (p. I B).

W dalszej części opracowania streszczony zostanie wkład naukowy i techniczny przedstawiony w poszczególnych artykułach z cyklu publikacji.

Artykuł [1]: Gaze-driven Object Tracking for Real Time Rendering

Dokładność eye tracker'a definiowana jest jako różnicą pomiędzy kierunkiem patrzenia zarejestrowanym przez urządzenie, a rzeczywistym kierunkiem, w którym patrzy obserwator. W praktyce dokładność typowych eye tracker'ów zbliżona jest do 1-2 stopnia kąтового, co odpowiada przesunięciu o 40 pikseli na stopień kątowy w przypadku obserwacji 22 calowego wyświetlacza o rozdzielczości 1680x1050 pikseli z odległości 65 cm [1, rozdz. 2.2]. W prezentowanym artykule omawiany jest problem zwiększenia dokładności eye tracker'ów poprzez autorski sposób analizy rejestrowanych przez nie danych. Opracowana metoda filtracji danych, nazwana GDOT (ang. *Gaze-Driven Object Tracking*), poprawia dokładność do tego stopnia, że możliwa jest identyfikacja obiektów o rozmiarach mniejszych od błędu pomiaru eye tracker'a. Wynikiem działania metody jest wskazanie obiektu, na który w danej chwili patrzy obserwator. Proponowane są przykładowe sposoby wykorzystania tej informacji do interaktywnej symulacji efektu głębi ostrości [1, rozdz. 8.1][6], identyfikacji obiektów za pomocą wzroku w grze komputerowej [1, rozdz. 8.2] oraz do wskazywania obszarów na obrazie, na których koncentruje się uwaga obserwatora [1, rozdz. 8.3].

Najważniejszym wskaźnikiem mówiącym o tym, że obserwator patrzy na dany obiekt, jest odległość pomiędzy tym obiektem i punktami patrzenia rejestrowanymi przez eye tracker. Technika GDOT modeluje ten wskaźnik jako prawdopodobieństwo spójności położenia o wartości proporcjonalnej do euklidesowej odległości pomiędzy obiektami i punktem patrzenia. Miara odległości musi być jednak znormalizowana poprzez podzielenie przez obwód okręgu, na którym leży punkt patrzenia (patrz Równanie (3) i Rys. 7 w [1]) oraz ważona zgodnie z

rozkładem normalnym. Jeżeli pomiar spójności pozycji nie jest wystarczający, identyfikacja może być wspomagana przez pomiar spójności prędkości pomiędzy ruchem obiektu oraz ruchem śledzącym oka (ang. *smooth pursuit*). Niestety rejestracja ruchów śledzących obarczona jest dużym błędem z uwagi na wpływ takich czynników jak szum eye tracker'a, dominująca rola ruchów sakadycznych czy mikroruchy oka. Ruch śledzący trwa jednak dostatecznie długo, aby mógł być efektywnie wygładzony za pomocą filtra dolnoprzepustowego. W technice GDOT spójność prędkości zamodelowana została jako różnica kątowa pomiędzy wektorami prędkości obiektu i przefiltrowanymi wektorami zmiany punktu patrzenia. Nie zależy natomiast od różnicy w wartościach prędkości. Prawdopodobieństwo spójności prędkości jest proporcjonalne do rozkładu wykładniczego wspomnianej zmiany prędkości (patrz Równanie (5) w [1]). Ostateczny wskaźnik identyfikowania obiektów jest sumą prawdopodobieństwa spójności położenia i prędkości. W ten sposób zapobiega się sytuacji, w której nieprawidłowa wartość jednego z prawdopodobieństw powodowałaby błędną identyfikację. Pomiar spójności położenia może być niedokładny z uwagi na błąd kalibracji eye tracker'a. Natomiast spójność prędkości będzie bardzo mała dla wolno poruszających się obiektów. Wskazanie stanie się wiarygodne po zwiększeniu prędkości obiektu i rejestracji przez eye tracker ruchu śledzącego oczu.

Podstawowy algorytm identyfikacji mógłby obliczać sumaryczne prawdopodobieństwo wykrycia wszystkich obiektów w danej chwili czasu i wybierać obiekt o największym prawdopodobieństwie. Takie podejście powodowałoby jednak krótkie ale częste nieprawidłowe zmiany obiektów fiksacji. Aby zapobiec tym zmianom w technice GDOT stosowane są Ukryte Modele Markov'a, które ograniczają częstotliwość zmian nie powodując znaczących opóźnień w identyfikacji. Każdemu obiektowi na scenie przyporządkowywany jest stan. Zmiana stanu oznacza zmianę obiektu fiksacji, jednak pozostaniu w danym stanie przyporządkowywane jest znacznie większe prawdopodobieństwo (95%) niż przejściu do innego stanu (5%). W ten sposób zapobiega się częstym zmianom obiektów fiksacji.

W ramach projektu przeprowadzone zostały eksperymenty, w których poproszono obserwatorów o śledzenie wzrokiem obiektu poruszającego się na trójwymiarowej scenie. Kierunek patrzenia został zarejestrowany za pomocą eye tracker'a i następnie wykorzystany do modelowania, kalibracji i testowania techniki GDOT. Do kalibracji parametrów techniki GDOT zastosowano walidację krzyżową 50%/50% oraz sympleksową metodę spadku (metodę Neldera/Meada). Technika GDOT porównana została z typowymi algorytmami obliczania fiksacji (I-VT oraz I-DT). Wykazano jest znacząco większą dokładnością umożliwiającą praktyczne wykorzystanie w aplikacjach grafiki komputerowej.

Artykuł [2]: Color Correction for Tone Mapping

Wyświetlanie bądź drukowanie obrazów w kolorze związane jest z problemem prawidłowej reprodukcji barw (ang. *colour appearance*). Dążymy do tego, aby kolory widziane na monitorze wyglądały tak samo, jak te widziane w naturze przez człowieka. Analityczny model takiego procesu transformuje barwy z percepcyjnej i nieliniowej przestrzeni aparatu widzenia człowieka do liniowej przestrzeni systemów wizualizacyjnych, które ponadto mają ograniczone możliwości techniczne. Stosowane modele nie są jednak dokładne dla obrazów HDR.

W pracy [2] przeprowadzona została seria eksperymentów badających reprodukcję kolorów po kompresji lub rozszerzeniu kontrastów. Uczestnicy eksperymentów zostali poproszeni o dopasowanie nasycenia kolorów (ang. *colourfulness*) na obrazie testowym ze zmienionymi kontrastami do kolorów na obrazie wzorcowym [Fa06]. Rezultaty eksperymentów wskazują na

nieliniową zależność pomiędzy stopniem zmiany kontrastu i korekcją kolorów, wyraźnie mniejszą dla niewielkich zmian kontrastu. Wspomniana formuła zamodelowana została za pomocą funkcji sigmoidalnej aproksymującej zależność pomiędzy współczynnikiem zmiany kontrastu i współczynnikiem korekcji kolorów. Współczynnik korekcji kolorów wykorzystany został do korekcji kolorów za pomocą formuły opisanej w [TT99] (patrz Równanie (2) w [2]). Zaproponowana została również nowa formuła zachowująca po korekcji wartość luminancji i zakładająca liniową interpolację pomiędzy kolorami chromatycznymi i achromatycznymi (patrz Równanie (3) w [2]).

Algorytmy mapowania tonów wykorzystywane są do mapowania rzeczywistej luminancji sceny do zakresu luminancji wyświetlacza. W następstwie zmiany kontrastów powodują jednak niezamierzone zmiany w reprodukcji kolorów. W artykule przygotowane zostały rozszerzenia wybranych operatorów tonów, w których pokazano, że zaproponowane formuły korekcji kolorów prawidłowo korygują kolory po mapowaniu tonów. Potwierdzono prawidłowe działanie korekcji zarówno dla prostych operatorów tonu opartych na funkcji wykładniczej, jak również dla złożonych algorytmów filtrowania dwuliniowego (ang. *bilinear interpolation*, [DD02]) oraz kompresji adaptacyjnej (ang. *display adaptive tone mapping*, [MDK08]).

W projekcie przetestowano czy percepcyjne przestrzenie barw CIELAB, CIELUV [Col86], CIECAM02 [MFH*02] i iCAM [FJ04] prawidłowo przewidują korekcję barwy po zmianie kontrastu. Zadaniem wymienionych przestrzeni jest modelowanie nieliniowości w systemie widzenia człowieka i wyrażenie ich poprzez koordynaty koloru takie, jak nasycenie (ang. *saturation*), barwistość (ang. *colorfulness*) czy chroma. Zmiany kolorów przewidywane przez percepcyjne przestrzenie barw skonfrontowano z wynikami eksperymentu percepcyjnego. Uzyskane rezultaty sugerują słabą zbieżność dla CIELAB, CIELUV i iCAM i dobrą zbieżność wyników dla przestrzeni CIECAM02, jednak nawet w tym ostatnim przypadku zachowanie barwy nie jest prawidłowe dla dużej redukcji kontrastu.

Zbadana została również skuteczność wykonania korekcji kolorów w przestrzeniach CIELAB i CIELUV, a nie jak wcześniej w przestrzeni sRGB. Przeprowadzono eksperyment percepcyjny, w którym uczestnicy, podobnie jak poprzednio dobierali współczynnik korekcji kolorów, tym razem jednak wykorzystano go do zmiany koordynat chrominancji a^* i b^* w przestrzeni CIELAB/CIELUV. Jednocześnie zachowywano względną wartość jasności (ang. *lightness*) odpowiadającą skompresowanej wartości jasności. Wyniki eksperymentu wskazując na lepsze rezultaty korekcji kolorów w stosunku do przestrzeni sRGB, ograniczają się jednak tylko do kompresji obrazów o małej dynamice z uwagi na trudności z obliczeniem punktu bieli dla obrazów HDR [KMS05].

Artykuł [3]: *Gaze-dependent Tone Mapping*

Aparat widzenia człowieka (ang. *human visual system*, HVS) jest czuły na zmiany luminancji w zakresie od 10^{-6} cd/m² (obiekty widziane w świetle gwiazd) do 10^8 cd/m² (obiekty oświetlone bezpośrednim światłem słonecznym) [RW+10]. Jednak w danej chwili, człowiek widzi tylko cztery rzędy zakresu jasności, a rozszerzenie zakresu uzyskiwane jest dzięki mechanizmowi adaptacji do zmiany jasności (ang. *luminance adaptation*). W procesie adaptacji HVS przesuwają okno widzianego zakresu luminancji po osi jasności. Przy czym, wyznacznikiem adaptacji jest jasność niewielkiego obszaru obejmującego jeden stopień kątowy wokół kierunku patrzenia [Ho98]. Człowiek często zmienia kierunek patrzenia adaptując się do obszarów o różnej luminancji. W ten sposób HVS jest stale w stanie częściowej adaptacji, nazywanym

maladaptacją, w którym luminancja adaptacji dąży do określonej wartości, ale nigdy jej nie osiąga.

W prezentowanym artykule zaproponowana została nowa metoda interaktywnej symulacji procesu maladaptacji zachodzącego podczas obserwacji obrazów o rozszerzonym zakresie luminancji (ang. *high dynamic range images*, HDR). Kluczowym elementem było wykorzystanie eye tracker'a do rejestracji kierunku patrzenia obserwatora. Na podstawie jego odczytu obliczana jest chwilowa luminancja adaptacji i następnie wykonywana kompresja tonów obrazu HDR. Kompresja tonów oparta została na globalnej krzywej mapowania tonów [NR66], która przesuwana jest wzdłuż osi luminancji wraz ze zmianą luminancji adaptacji. Taki proces modeluje naturalny proces adaptacji oczu człowieka do zmiany jasności. Brane są również pod uwagę zależności czasowe adaptacji, tzn. jej stopniowa progresja w czasie [DD00].

Praktyczną kontrybucją projektu jest nowa technika filtracji danych z eye tracker'a. Błąd pomiaru kierunku patrzenia prowadzi do nieprawidłowego obliczania luminancji adaptacji i powoduje miganie obrazu wyświetlanego na monitorze. Zaproponowana technika filtracji danych zwiększa prawdopodobieństwo wyznaczenia prawidłowej luminancji adaptacji poprzez analizę obszaru otaczającego punkt patrzenia. W obszarze o wielkości odpowiadającej potencjalnemu błędowi eye tracker'a analizowana jest liczebność występowania określonych poziomów luminancji i poziom najliczniejszy uznawany za luminancję adaptacji.

Artykuł [4]: *Do-It-Yourself Eye Tracker: Low-Cost Pupil-Based Eye Tracker for Computer Graphics Applications*

Pole widzenia człowieka obejmuje ponad 180 stopni w poziomie i 130 stopni w pionie, jednak jesteśmy w stanie dostrzec szczegóły tylko dla obrazów rzutowanych na niewielki obszar na siatkówce odpowiadający dwóm stopniom kątowym [Duc07]. Mięśnie oczu umożliwiają takie przemieszczenie oka – zmianę kierunku patrzenia, aby interesujące nas obiekty były rzutowane na ten właśnie obszar. Kierunek patrzenia może być rejestrowany przez urządzenie zwane eye tracker'em [Duc07]. Najpopularniejsze eye tracker'y wykorzystują technologię śledzenia źrenicy oraz odbicia rogówkowego (ang. *pupil-corneal reflection*, P-CR). Zbudowane są z kamery oraz źródła światła oświetlającego oko w podczerwieni. Kamera rejestruje obraz oka, na którym czarny obszar odpowiada położeniu źrenicy, natomiast jasny jest rozbłyskiem będącym odbiciem źródła światła na powierzchni rogówki [MM05]. Źrenica oka porusza się wraz ze zmianą kierunku patrzenia, natomiast odbicie rogówkowe pozostaje w tej samej pozycji. Względna zmiana położenia pomiędzy środkiem źrenicy i odbiciem rogówkowym wskazuje na zmianę kierunku patrzenia.

Pomimo wielu potencjalnych aplikacji, eye tracker'y rzadko stosuje się w rozwiązaniach komercyjnych. Głównym powodem jest zawężenie ich oferty do bardzo drogich profesjonalnych urządzeń oraz brak na rynku tanich urządzeń o zadawalającej dokładności. W prezentowanym artykule omawiany jest sposób budowy eye tracker'a z komponentów o wartości 30 euro. Głównym celem projektu było jednak praktyczne zapoznanie się z budową eye tracker'a i zbadanie, które jego komponenty mają największy wpływ na dokładność pomiaru kierunku patrzenia.

W ramach prac zaprojektowany i zbudowany został prototypowy eye tracker, nazwany DIY eye tracker (ang. *do-it-yourself eye tracker*). Głównymi komponentami urządzenia są okulary ochronne służące jako rama eye tracker'a oraz zamocowany na nich moduł rejestracji obrazu. Budowa wspomnianego modułu oparta jest ze wykorzystaniu standardowej kamery internetowej

Microsoft Lifecam VX-1000, w której filtr blokujący podczerwień zastąpiony został filtrem blokującym pasmo widzialne światła. W DIY zastosowano aktywne oświetlenie oka za pomocą trzech LED emitujących podczerwień. Kamera podłączona jest do komputera za pomocą kabla USB. Cały proces analizy obrazu z kamery, wykrywania położenia źrenicy oraz obliczania kierunku patrzenia realizowany jest przez otwarte oprogramowanie ITU Gaze Tracker [ITU][AMB10].

W ramach projektu przeprowadzone zostały testy dokładności rejestracji kierunku patrzenia człowieka przez DIY eye tracker. Podczas eksperymentu uczestnik proszony był o obserwację punktów kontrolnych wyświetlanych na ekranie wyświetlacza. Podczas badania użyto podpórki pod brodę (ang. *chin rest*), a więc znane było fizyczne położenie punktów kontrolnych względem oczu obserwatora. Dokładność eye tracker'a, wyrażona jako przesunięcie zarejestrowanego kierunku patrzenia względem kierunku wzorcowego, wyniosła 1.06 stopnia kąтового. Porównywalne wartości uzyskano dla profesjonalnego eye tracker'a SMI RED 250, który jednak nie wymaga stosowania podpórki stabilizującej głowę co w kluczowy sposób polepsza jego użyteczność.

Artykuł [5]: *Gaze-dependent Ambient Occlusion*

Człowiek rozpoznaje wzory o wysokiej częstotliwości, dochodzącej do 60 cykli na stopień kątowy, tylko w obszarze do jednego stopnia wokół kierunku patrzenia [Duc07]. Ta własność modelowana jest przez kierunkową funkcję czułości na kontrast (ang. *gaze-dependent contrast sensitivity function*, CSF [Peli93]), która określa czułość na kontrast w zależności od oddalenia obserwowanego obiektu od kierunku patrzenia.

Technika obliczania przesłaniania środowiska (ang. *ambient occlusion*, AO) wykorzystywana jest do zwiększenia realizmu syntezy obrazów poprzez dodanie do nich cieni generowanych przez światło otoczenia (ang. *ambient light*) [ZIK98]. W porównaniu z metodami oświetlenia globalnego [DBB06], technika AO wymaga mniej obliczeń generując obrazu o podobnej jakości. Jednak nawet w tej technice nakłady obliczeniowe są na tyle duże, że niemożliwe jest generowanie obrazów w czasie rzeczywistym, nawet z wykorzystaniem najwydajniejszych obecnie procesorów GPU [AHH08].

W prezentowanym artykule proponowane jest rozszerzenie metody przesłaniania środowiska polegające na wykorzystaniu informacji o kierunku patrzenia do zróżnicowania dokładności obliczania cieniowania AO. Idea rozszerzenia polega na renderowaniu z maksymalną precyzją części obrazu znajdującego się w okolicy punktu patrzenia obserwatora. Natomiast dla peryferyjnych obszarów widzenia precyzja obliczeń jest zmniejszana, zakładając że z uwagi na ograniczenia HVS (ang. *human visual system*) obserwator nie zauważy pogorszenia jakości. W przyjętym rozwiązaniu eye tracker rejestruje chwilowy punkt patrzenia obserwatora. Obliczane jest cieniowanie AO, przy czym liczba promieni testujących jest zmniejszana wraz oddalaniem się od punktu patrzenia. Sposób redukcji liczby promieni bazuje na wykorzystaniu kierunkowej funkcji CSF. Jednocześnie rozwiązywane jest równanie oświetlenia lokalnego Phong'a [Pho73] i obliczane współczynniki oświetlenia (ang. *ambient*, *diffuse*, *specular*). Współczynnik światła otoczenia (ang. *ambient*) mieszany jest z cieniowaniem AO co prowadzi do stopniowego zmniejszania się wpływu cieniowania AO w peryferyjnych obszarach widzenia. Do implementacji opisywanej techniki wykorzystana została biblioteka NVIDIA OptiX bazująca na bibliotece CUDA i wykorzystująca procesory GPU. System renderuje obrazy

z interaktywną szybkością kilku klatek na sekundę. W przeprowadzonych testach wydajnościowych porównano szybkość renderingu do standardowego algorytmu AO. Uzyskano średnie przyspieszenie na poziomie 140%, przy maksymalnym wzroście prędkości generowania obrazów wynoszącym 276%.

W ramach projektu przeprowadzony został eksperyment percepcyjny badający jakość obrazów syntezowanych za pomocą zaproponowanego algorytmu. Uczestnicy eksperymentu proszeni byli o ocenę spadku jakości obrazów spowodowaną zmniejszeniem próbkowania cieniowania AO. Podczas eksperymentu obserwatorzy oglądali referencyjną animację wygenerowaną za pomocą standardowego algorytmu AO, a następnie animację syntezowaną z użyciem eye tracker'a. Proszono ich o ocenę zauważalnego pogorszenia jakości obrazów w 5-cio stopniowej skali Likert'a. Uśredniony współczynnik DMOS (ang. *difference mean opinion score*) dla wszystkich testowanych scen wyniósł 1.31 co wskazuje na małe lub średnie pogorszenie jakości. Lepszy rezultat, zbliżony do DMOS = 1, uzyskany został dla sceny, w której cieniowanie AO widoczne było w przeciwnych rogach obrazu. Wynik wskazuje na skuteczność przyjętego rozwiązania dla większych kątów patrzenia.

Artykuł [6]: *Gaze-Dependent Depth-of-Field Effect Rendering in Virtual Environments*

Głębina ostrości (ang. *depth of field*, w skrócie DOF) jest to zakres głębokości, w której obiekty interpretowane są jako ostre przez aparat widzenia człowieka [Gol98]. Z uwagi na skończone wymiary przesłony w oku, punkty z trójwymiarowej sceny mapowane są na siatkówce na okrągły obszar nazywany krążkiem rozmycia (ang. *circle of confusion*, CoC). Nakładające się na siebie krążki powodują, że obiekty widziane są jako rozmyte. Efekt głębi ostrości powszechnie stosowany jest w obrazowaniu komputerowym, ponieważ poprawia jakość obrazów oraz pomaga w percepcji głębokości (ang. *depth cue*) [Mat97].

W grafice komputerowej wykorzystuje się szereg technik symulacji tego efektu opartych na zwiększaniu liczby próbek w rozmywanych obszarach [Dem04]. Opracowano metody symulacji DOF w czasie rzeczywistym wykorzystujące szybkie przetwarzanie w procesorach graficznych [LES10][AMHF08]. Jednak prawidłowa pod względem percepcyjnym symulacja tego zjawiska wymaga znajomości odległości pomiędzy oczami obserwatora i obiektem, na który w danej chwili patrzy obserwator. W prezentowanym artykule proponowane jest rozwiązanie, w którym położenie obiektu skupiającego uwagę obserwatora wyznaczane jest za pomocą eye tracker'a. Dzięki temu, że znana jest mapa głębokości dla obiektów, można określić odległość do obserwowanego obiektu i zasymulować jego rozmycie.

W ramach projektu wykonana została implementacja oprogramowania symulującego głębię ostrości. Rozwiązanie oparto na technice odwrotnego mapowania (ang. *reverse mapping*) z wykorzystaniem bufora Z oraz algorytmu rozmycia z próbkowaniem Poisson'a [RTI02][PC83]. Do standardowego algorytmu wprowadzono modyfikacje zapobiegające pojawianiu się artefaktów nazywanych wyciekami intensywności (ang. *intensity leakage*). Algorytm DOF realizowany jest w dwóch przejściach. W pierwszym obliczane jest cieniowanie, mapa głębokości oraz współczynniki rozmycia (CoC). W drugim wygenerowany obraz rozmywany jest za pomocą filtra o zmiennym jądrze, wyznaczanym na podstawie wartości CoC.

W projekcie przeprowadzony został eksperyment percepcyjny, w którym ludzie ocenili jakość symulacji zjawiska głębi ostrości podczas wizualizacji środowiska wirtualnego. Obserwatorzy proszeni byli o obejrzenie dwóch animacji, w których do sterowania efektem DOF

wykorzystany był bądź nie eye tracker. Następnie na subiektywnej skali Likert'a oceniali realizm i wierność z rzeczywistością obejrzanych animacji. Wyniki eksperymentów wskazują na preferowanie przez ludzi wykorzystania eye tracker'a do symulacji głębi ostrości.

Artykuł [7]: *Image Registration for Multi-exposure High Dynamic Range Image Acquisition*

Fotografia o rozszerzonym zakresie jasności (HDR) zdobyła w ostatnich latach dużą popularność, dzięki rozpowszechnieniu się techniki składania zdjęć HDR z wielu ekspozycji. Technika ta polega na wykonywaniu serii zdjęć z różną ekspozycją i na ich podstawie obliczeniu charakterystyki odpowiedzi aparatu, tzn. zależności pomiędzy luminancją sceny i wartością pikseli rejestrowaną przez sensor aparatu cyfrowego. Wykorzystując charakterystykę aparatu można obliczyć fizyczne wartości luminancji sceny, tzn. utworzyć obraz HDR. Wspomniana technika wymaga wykonania kilku zdjęć tej samej sceny, co często prowadzi do widocznych przesunięć pomiędzy pikselami kolejnych zdjęć powodowanych przez ruch aparatu. Kluczowym elementem techniki jest usunięcie tych przesunięć przed wykonaniem właściwej fuzji obrazu HDR.

Opisana w artykule technika polega na obliczeniu deskryptorów SIFT (ang. *Scale Invariant Feature Transform*, [Low04]) dla kolejnych obrazów w serii. Zmiana położenia deskryptorów opisujących te same obszary na poszczególnych zdjęciach wykorzystywana jest do obliczenia przekształcenia homograficznego i następnie do rejestracji zdjęć w jednym układzie odniesienia. Z uwagi na to, że mamy do czynienia z obrazami wejściowymi o różnej ekspozycji, często prześwieتلonymi bądź niedoświeتلonymi, metoda SIFT została zmodyfikowana tak, aby większe wagi przypisywane były deskryptorom występującym w niezaszumionych obszarach.

Prezentowana technika rejestracji zdjęć została przetestowana w zaimplementowanym oprogramowaniu, opartym na algorytmie opisanym w [MN99]. Technika jest w pełni automatyczna i w znaczącym stopniu ułatwia tworzenie obrazów HDR eliminując konieczność wykorzystywania statywu podczas wykonywania zdjęć.

Literatura

- [AHH08] Akenine-Moller, T., Haines, E., Hoffman, N.: *Real-Time Rendering 3rd Edition*. A. K. Peters, Ltd., Natick, MA, USA (2008)
- [AMB10] Agustin, J.S., Mollenbach, E., Barret, M.: Evaluation of a Low-Cost Open-Source Gaze Tracker. In: *Proc. of ETRA 2010*, Austin, TX, March 22-24, pp. 77–80 (2010)
- [AMHF08] Akenine-Moller, T., Haines, E., Hoffman, N.: *Real Time Rendering*, 3rd edn. A K Peters, Stanford (2008)
- [Col86] COLORIMETRY C.: CIE Publication No. 15.2. *Commission Internationale de l'éclairage, Vienna* (1986), 19–20.
- [DBB06] Dutre, P., Bekaert, P., Bala, K.: *Advanced Global Illumination*, A K Peters/CRC Press; 2 edition (August 30, 2006)
- [DD00] Durand, F., and Dorsey, J.: Interactive tone mapping. In *Rendering Techniques 2000: 11th Eurographics Workshop on Rendering*, 219230 (2000).
- [DD02] Durand F., Dorsey J.: Fast bilateral filtering for the display of high-dynamic-range images. *ACM Trans. on Graph.* 21, 3 (2002), 257–266.
- [Dem04] Demers, J.: *Depth of Field: A Survey of Techniques GPU GEMS*. Addison-Wesley, Reading (2004)
- [DER10] Didyk, P., Eisemann, E., Ritschel, T., Myszkowski, K., Seidel, H. P.: Apparent display resolution enhancement for moving images. *ACM Trans. Graph. (Proc. of SIGGRAPH'10)*, Vol. 9, No. 4, 2010, pp. 113:1--113:8.
- [Duc07] Duchowski A. T.: *Eye Tracking Methodology: Theory and Practice* (2nd edition). Springer, 2007.
- [Fa06] Fairchild, M. D.: *Color Appearance Models*. John Wiley & Sons. 2006
- [FJ04] Fairchild M., Johnson G.: *The iCAM framework for image appearance, image differences, and image*

- quality. *Journal of Electronic Imaging* 13, 1 (2004), 126–138.
- [Gol98] Goldstein, E.B.: *Sensation and Perception*, 5th ed. Brooks/Cole Publishing Company (1998)
- [Guenter12] Guenter, B., Finch, M., Drucker, S., Tan, D., Snyder, J.: Foveated 3D graphics. *ACM Trans. Graph.*, Vol. 31, No. 6, 2012, 164:1–164:10.
- [Ho98] Hood, D. C.: Lower-level visual processing and models of light adaptation. *Annu. Rev. Psychology*, 49, pp. 503–535 (1998)
- [ITU] ITU Gaze Tracker software, IT University of Copenhagen, ITU GazeGroup, <http://www.gazegroup.org/home>
- [Jac93] Jacob, R. J. K.: Eye movement-based human-computer interaction techniques: Toward non-command interfaces. *Advances in Human-Computer Interaction* (1993).
- [KMS05] Krawczyk G., Myszkowski K., Seidel H.-P.: Lightness perception in tone reproduction for high dynamic range images. *Comp. Graph. Forum* 24, 3 (2005), 635–645.
- [LES10] Lee, S., Eisemann, E., Seidel, H.P.: Real-Time Lens Blur Effects and Focus Control. *ACM Transactions on Graphics, SIGGRAPH 2010* (2010)
- [Low04] Lowe, D. G.: Distinctive image features from scale-invariant keypoints. *Int. J. Comput. Vi-sion*, 60(2):91–110, 2004.
- [LW89] Levoy, M., Whitaker, R.: Gaze-directed volume rendering. Tech. rep., University of North Carolina, 1989.
- [Mat97] Mather, G.: The use of image blur as a depth cue. *Perception* 26, 1147–1158 (1997)
- [MDK08] Mantiuk R., Daly S., Kerofsky L.: Display adaptive tone mapping. *ACM Trans. Graph.* 27, 3 (2008).
- [MDT09] Murphy, H. A., Dychowski, A. T., Tyrrell, R. A.: Hybrid image/model-based gaze-contingent rendering. *ACM Trans. Appl. Percept.* 5 (February 2009), 22:1–22:21.
- [MFH*02] Moroney N., Fairchild M., Hunt R., Li C., Luo M., Newman T.: The CIECAM02 color appearance model. In *Proc. IS&T/SID 10th Color Imaging Conference* (2002), pp. 23–27.
- [MM05] Morimoto, C.H., Mimica, M.: Eye gaze tracking techniques for interactive applica- tions. *Computer Vision and Image Understanding* 98(1), 4–24 (2005)
- [MN99] Mitsunaga, T., Nayar, S. K.: Radiometric self calibration. *IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, Vol.1, pp.374–380, Jun, 1999.
- [MP95] Mann, S., Picard, R.: Being ‘Undigital’ with Digital Cameras: Extending Dynamic Range by Combining Differently Exposed Pictures. *Proc. of IST’s 48th Annual Conference*, pages 442– 448, May 1995.
- [NR66] Naka, K.-I., Rushton, W. A. H.: S-potentials from luminosity units in the retina of fish (Cyprinidae). *J. Physiol.* 185, pp. 587–599 (1966)
- [PC83] Potmesil, M., Chakravarty, I.: Modeling motion blur in computer-generated images. *ACM SIGGRAPH Comput. Graph.* 17(3), 389–399 (1983)
- [Pho73] Phong, B. T.: *Illumination for computer-generated images*, Doctoral Dissertation, 1973.
- [PPK04] Perlin, K., Paxia, S., Kollin, J. S.: An autostereoscopic display. *Proc. of SIGGRAPH’00*, 2000, pp. 319–326.
- [RP+12] Reinhard, E., Pouli, T., Kunkel, T., Long, B., Ballestad, A., Damberg, G.: Calibrated Image Appearance Reproduction. *ACM Transactions on Graphics (Proceedings of SIGGRAPH Asia)*, 31(6), article 201, 2012.
- [RTI02] Riguer, G., Tatarchuk, N., Isidoro, J.: Real-time depth of field simulation. *haderX2: Shader Programming Tips and Tricks with DirectX 9.0*, 529–579 (2002)
- [RW+10] Reinhard, E., Ward, G., Debevec, P., Pattanaik, S., Heidrich, W., Myszkowski, K.: *High Dynamic Range Imaging*, 2nd edition, Morgan Kaufmann Publishers, San Francisco, 2010.
- [SG00] Salvucci D. D., Goldberg J. H.: Identifying fixations and saccades in eye-tracking protocols. In *Proceedings of the 2000 symposium on Eye tracking research & applications (ETRA)* (New York, 2000), pp. 71–78.
- [TT99] Tumblin J., Turk G.: LCIS: A boundary hierarchy for detail-preserving contrast reduction. In *Siggraph 1999, Computer Graphics Proceedings* (1999), pp. 83–90.
- [ZIK98] Zhukov, S., Iones, A., Kronin, G.: An ambient light illumination model. In: *Proceedings of the 9th Eurographics Workshop on Rendering.* (1998) 45–56.

Rasta Ralu