

Warszawa, 22 lipca 2022 r.

Prof. dr hab. inż. Przemysław Rokita
Kierownik Zakładu Grafiki Komputerowej
Instytut Informatyki
Wydział Elektroniki i Technik Informacyjnych
Politechnika Warszawska
Nowowiejska 15/19
00-665 Warszawa

**RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ
DLA ZACHODNIOPOMORSKIEGO UNIwersYTETU TECHNOLOGICZNEGO
W SZCZECINIE**

Tytuł rozprawy:

**Generation of images for stereoscopic displays using selected
perceptual features of human visual system**

**Generowanie obrazów dla wyświetlaczy stereoskopowych
z uwzględnieniem wybranych cech percepcyjnych układu
wzrokowego człowieka**

Autor rozprawy:

mgr inż. Marek Wernikowski

1. Jakie zagadnienie naukowe jest rozpatrzone w pracy (teza rozprawy) i czy zostało ono dostatecznie jasno sformułowane przez autora? Jaki charakter ma rozprawa (teoretyczny, doświadczalny, inny)?

Praca pt. „*Generation of images for stereoscopic displays using selected perceptual features of human visual system*” liczy 105 stron tekstu i zawiera 92 pozycje bibliografii. Autor przedstawia w niej opracowane przez siebie, zaimplementowane i przetestowane algorytmy generowania obrazów dla wyświetlaczy stereoskopowych uwzględniające wybrane ograniczenia percepcji wzrokowej człowieka. Praca składa się ze wstępu, czterech rozdziałów, podsumowania oraz bibliografii. We wstępie przedstawiono cel, tezę pracy oraz przegląd treści rozprawy. Rozdział 1 zawiera ogólne wprowadzenie do wybranych zagadnień percepcji wzrokowej, istotnych z punktu widzenia podjętych prac badawczych i projektowych. Rozdział 2 opisuje podjęte w ramach przygotowania rozprawy doktorskiej prace nad techniką renderingu kierunkowego (*ang. foveated rendering*), a w szczególności nad metodami poprawy wydajności tej techniki. W rozdziale 3 Autor

przedstawia propozycję systemu generowania metamerów - obrazów o różnej zawartości, ale wyglądających identycznie dla ludzkiego wzroku, za pomocą sztucznej sieci neuronowej typu GAN. Rozdział 4 zawiera opis podjętych przez Doktoranta prac przy opracowaniu systemu hybrydowego renderingu obrazów dla wyświetlacza wieloogniskowego. W rozdziale 5 zawarto podsumowanie przeprowadzonych prac, a w szczególności przedstawiono wnioski z rozprawy oraz możliwości dalszego rozwoju opracowanych systemów wizualizacji.

Cel pracy został jasno sformułowany. Było nim opracowanie algorytmów generowania obrazów dla wyświetlaczy stereoskopowych, uwzględniających wybrane ograniczenia percepcji wzrokowej człowieka. W szczególności Doktorant skoncentrował się na zagadnieniach: 1) percepcyjnej filtracji obrazu w dziedzinie czasu na potrzeby zmniejszania aliasingu na wyświetlaczach stereoskopowych; 2) wykorzystania kierunkowości widzenia oraz charakterystyki czułości na kontrast układu wzrokowego człowieka do przyspieszenia syntezy obrazów stereoskopowych; 3) przyspieszenia generowania obrazów dla wyświetlaczy stereoskopowych z akomodacją z zachowaniem ich percepcyjnej poprawności.

Jako tezę rozprawy przyjęto stwierdzenie: *„Uwzględnienie cech percepcyjnych układu wzrokowego człowieka polepsza wydajność syntezy obrazów stereoskopowych zachowując porównywalną pod względem percepcyjnym jakość tych obrazów”*. Teza pracy została poprawnie sformułowana, aczkolwiek biorąc pod uwagę obszerność literatury dotyczącej zagadnienia wykorzystania modeli percepcji wzrokowej do poprawy wydajności generowania obrazów, jej prawdziwość była w zasadzie oczywista przed rozpoczęciem prac badawczych Doktoranta.

Praca ma charakter teoretyczno - doświadczalny. Rozważania teoretyczne i propozycje algorytmów zaprezentowane w pracy, zostały też zweryfikowane praktycznie w oprogramowaniu zaimplementowanym przez Autora.

2. Czy w rozprawie przeprowadzono w sposób właściwy analizę źródeł (w tym literatury światowej, stanu wiedzy i zastosowań w przemyśle) świadczącej o dostatecznej wiedzy autora. Czy wnioski z przeglądu źródeł sformułowano w sposób jasny i przekonujący?

Praca zawiera 92 pozycje bibliografii. Stan dotychczasowych badań w zakresie tematycznym rozprawy skrótkowo przedstawiono w rozdziale stanowiącym wprowadzenie do pracy (rozd. 1), a w zakresach dotyczących wybranych problemów także we fragmentach rozdziałów im poświęconych (rozd. 2-4). Doktorant wykazał się bardzo dobrą znajomością stanu wiedzy w dziedzinie będącej przedmiotem pracy oraz umiejętnością analizy literatury i poprawnego formułowania wniosków na jej podstawie. Praca stanowi bardzo dobre wprowadzenie do dziedziny projektowania algorytmów generowania obrazów z wykorzystaniem ograniczeń percepcji wzrokowej człowieka.

3. Czy autor rozwiązał postawione zagadnienia, czy użył właściwej do tego metody i czy przyjęte założenia są uzasadnione?

Cel pracy sformułowany w jej wstępie został osiągnięty - Autor opracował szereg nowych rozwiązań dla potrzeb algorytmów wizualizacji, bazujących na ograniczeniach percepcji wzrokowej człowieka. Rozwiązania te mają istotne zalety w stosunku do wcześniejszych znanych z literatury i jako takie stanowią istotny wkład w rozwój algorytmów grafiki komputerowej. Przyjęta metodologia, założenia i uproszczenia są zgodne z obecnie stosowanymi w grafice komputerowej.

4. Na czym polega oryginalność rozprawy, co stanowi samodzielny i oryginalny dorobek autora, jaka jest pozycja rozprawy w stosunku do stanu wiedzy czy poziomu techniki reprezentowanych przez literaturę światową?

Autor na podstawie aktualnego stanu wiedzy zawartego w literaturze oraz własnych doświadczeń i przemyśleń w swojej rozprawie doktorskiej dokonał kompleksowej analizy wybranych problemów algorytmów wizualizacji dla wyświetlaczy stereoskopowych. Zaproponowane w rozprawie wykorzystanie wybranych ograniczeń percepcji wzrokowej człowieka pozwoliło na uzyskanie nowych rozwiązań istotnie lepszych od dotychczas znanych. Do oryginalnego dorobku Doktoranta należy w szczególności m.in.:

- opracowanie systemu renderingu uwzględniającego kierunek patrzenia oraz zmianę czułości na kontrast, a w szczególności zaproponowanie modelu, który pozwala na ograniczenie częstotliwości próbkowania w peryferyjnych obszarach widzenia i dostosowuje ją do zawartości sceny (rozdz. 2.2),
- opracowanie systemu renderingu uwzględniającego model adaptacji układu wzrokowego do zmiany jasności otoczenia, pozwalający na zwiększenie realizmu wyświetlanych obrazów (rozdz. 2.3),
- opracowanie systemu generowania metamerów - obrazów o różnej zawartości, ale wyglądających identycznie dla ludzkiego obserwatora, za pomocą sztucznej sieci neuronowej typu GAN z wykorzystaniem modelu czułości na zniekształcenia strukturalne (rozdz. 3),
- opracowanie modelu hybrydowej dekompozycji obrazów na potrzeby generowania i wyświetlania obrazów na wyświetlaczu wieloogniskowym, w którym dla obszarów obrazu o dużej widoczności stosowana jest dokładniejsza dekompozycja w stosunku do pozostałych fragmentów obrazu generowanych szybkim algorytmem interpolacyjnym (rozdz. 4).

W trakcie przygotowania rozprawy Doktorant brał udział jako członek zespołu w dwóch międzynarodowych projektach realizowanych przez Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny. W ramach tych projektów brał udział w pracach na Università della Svizzera italiana w Lugano w Szwajcarii oraz w Instytucie Maxa Plancka w Saarbrücken w Niemczech.

Rezultaty prac uzyskane w ramach przygotowania rozprawy zostały opublikowane w materiałach dwóch międzynarodowych konferencji naukowych: *International Conference on Multimedia Modeling* oraz *Central European Seminar on Computer Graphics* (jedna publikacja autorska oraz jedna jako pierwszy autor w zespole trzyosobowym).

Doktorant brał też udział jako współautor w przygotowaniu artykułów, które zostały opublikowane w czasopismach naukowych z listy filadelfijskiej: *ACM Transactions on Graphics* oraz *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*. Publikacje te zawierają m.in. oryginalne elementy dorobku Doktoranta, które powstały w ramach przygotowania rozprawy.

5. Czy autor wykazał umiejętność poprawnego i przekonującego przedstawienia uzyskanych przez siebie wyników (zwięzłość, jasność, poprawność redakcyjna rozprawy)?

Podstawową część rozprawy stanowią rozdziały 2-4, opisujące zagadnienia podjęte i rozwiązane w ramach pracy naukowej Doktoranta. Niejako dodatek do nich stanowią: wstęp oraz rozdział 1 - wprowadzenie i określenie celu pracy oraz rozdział 5 - podsumowanie. Rozdziały 2, 3 oraz 4 bazują na współautorskich pracach, które zostały wcześniej opublikowane (dwie w czasopismach z listy *JCR* i jedna jako preprint w *arXiv*). Zarówno w samym tekście rozprawy jak też dołączonym do niej dokumencie pt. *Autoreferat* zawarto informacje pozwalające jednoznacznie określić indywidualny oryginalny dorobek naukowy Doktoranta.

6. Jakie są słabe strony rozprawy i jej główne wady?

Autor wykazał w rozprawie umiejętność zwięzłego i przekonującego przedstawienia swoich przemyśleń, wniosków oraz propozycji rozwiązań. Praca została starannie zredagowana, zawiera stosunkowo niewielką liczbę błędów redakcyjnych i literówek.

W tekście rozprawy dostrzegłem kilka istotnych braków wymienionych poniżej, proszę aby Doktorant omówił te braki w trakcie obrony:

- Po lekturze pracy można wyciągnąć wniosek, że jedynym czynnikiem wpływającym na rozdzielczość wzroku jest gęstość upakowania receptorów w siatkówce (np. rozdz. 1.1 i 2.3). Nie jest to prawdą - duży i niepomijalny wpływ na rozdzielczość wzroku (a w szczególności na tzw. *minimum separabile*) mają również zjawiska dyfrakcji światła na źrenicy. W ich wyniku następuje nieuniknione rozmycie obrazu padającego na siatkówkę. Wielkość tego rozmycia jest też zależna do średnicy źrenicy. W pracy brak jest dyskusji wpływu zjawisk dyfrakcyjnych, źrenicy i jej średnicy na opracowywane algorytmy renderingu bazujące na percepcji wizualnej. Słowo „*źrenica*” (ang. „*pupil*”) pada w tekście pracy tylko dwa razy (raz jako element nazwy własnej urządzenia do śledzenia wzroku i raz w kontekście dokładności detekcji źrenicy przez urządzenie śledzące). Źrenica, a w

szczegółności jej średnica, ma też istotny wpływ na głębię ostrości obrazu - wpływ ten nie został przez Doktoranta zauważony i uwzględniony w pracy (np. w rozdz. 1.5.1 gdzie omawiane jest zjawisko głębi ostrości).

- Doktorant w dyskusji opracowanych w rozprawie systemów wizualizacji bazujących na śledzeniu kierunku patrzenia, nie uwzględnił problemów związanych z zagadnieniem ruchów sakadowych oka. Zmiana kierunku spojrzenia dokonuje się przy wykorzystaniu dwóch podstawowych ruchów gałek ocznych: ruchów sakadowych (ang. *saccadic eye movements*) oraz ruchów płynnego podążania, gdzie pierwsze z nich występują najczęściej.

- W rozprawie brak odpowiedniej dyskusji opóźnień wprowadzanych przez opracowane algorytmy i systemy. Opóźnienia (ang. *VR lags*) pomiędzy momentem detekcji zmiany położenia i kierunku patrzenia a przetworzeniem danych i wygenerowaniem odpowiednich obrazów mają decydujący wpływ na komfort użytkownika stereoskopowych systemów wizualizacji. Zbyt duże opóźnienia mogą powodować istotne dolegliwości np. w postaci choroby lokomocyjnej.

7. Jaka jest praktyczna przydatność rozprawy?

Praktyczna przydatność rozprawy jest potencjalnie duża. Główny wątek pracy - zastosowanie modeli percepcji wzrokowej do doskonalenia algorytmów grafiki komputerowej, ma bardzo duże znaczenie praktyczne. Tego typu algorytmy znajdują powszechne zastosowanie w aplikacjach takich jak np. symulatory, gry, wirtualna rzeczywistość, wzbogacona rzeczywistość.

8. Do której z następujących kategorii Recenzent zalicza rozprawę:

- a/ nie spełniająca wymagań stawianych rozprawom doktorskim przez obowiązujące przepisy
- b/ wymagająca wprowadzenia poprawek i ponownego recenzowania
- c/ spełniająca wymagania
- d/ spełniająca wymagania z wyraźnym nadmiarem
- e/ wybitnie dobra, zasługująca na wyróżnienie

Biorąc pod uwagę zaprezentowany dorobek Doktoranta, a w szczególności jego udział w międzynarodowych projektach i istotny dorobek publikacyjny, uważam, że recenzowana praca spełnia z wyraźnym nadmiarem wymagania stawiane rozprawom doktorskim, określone w obowiązującej ustawie o stopniach naukowych i tytule naukowym. W związku z tym wnoszę o dopuszczenie jej Autora do publicznej obrony.

Przemysław Koliński

.....
podpis

