

Prof. dr hab. inż. Bogusław Cyganek
Wydział Informatyki, Elektroniki i Telekomunikacji
Katedra Elektroniki
Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie
cyganek@agh.edu.pl

Recenzja rozprawy doktorskiej
mgra inż. Michała Chwesiuka
Pomiar charakterystyk czułości na kontrast w peryferyjnych
obszarach widzenia oraz ich wykorzystanie do przyspieszania syntezy
obrazów

Wstęp

Recenzja rozprawy doktorskiej Pana mgra inżyniera Michała Chwesiuka pt. „*Pomiar charakterystyk czułości na kontrast w peryferyjnych obszarach widzenia oraz ich wykorzystanie do przyspieszania syntezy obrazów*”, opracowanej w roku 2019 na Wydziale Informatyki w Zachodniopomorskim Uniwersytecie Technologicznym w Szczecinie. Promotorem pracy jest Pan dr hab. inż. Radosław Mantiuk, prof. ZUT. Przygotowanie recenzji zostało zlecone przez Pana Prorektora ds. Nauki, prof. dra hab. inż. Jacka Przepiórskiego.

1. Charakterystyka zagadnienia naukowego podjętego w pracy, tezy pracy oraz umiejscowienie podjętego zagadnienia w nauce światowej

Rozprawa doktorska Pana magistra Michała Chwesiuka opisuje przeprowadzone eksperymenty dotyczące pomiaru czułości ludzkiego układu wzrokowego na kontrast w peryferyjnych obszarach widzenia, jak również pomiaru wpływu całkowitego opóźnienia odpowiedzi systemu na percepcję obrazu, a następnie zbadanie wpływu tych zjawisk na możliwość przyspieszenia syntezy obrazów poprzez dynamiczną adaptację parametrów wyświetlania uzależnioną od kierunku obserwacji. Badanie te mają duże znaczenie w nowoczesnych systemach multimedialnych, takich jak systemy wirtualnej rzeczywistości, czy też monitorów i wyświetlaczy graficznych.

Podjęty przez p. mgra inż. Michała Chwesiuka problem badawczy uważam za istotny, zarówno od strony poznawczej, jak i technologicznej. W pracy została przedstawiona następująca teza „*Uwzględnienie progów widzialności informacji dla peryferyjnych obszarów widzenia umożliwia zmniejszenie częstotliwości próbkowania, a co za tym idzie przyspieszenie syntezy obrazów*”. Oprócz

tezy, na początku pracy zostały przedstawione cele badawcze dotyczące opracowania środowiska eksperymentalnego do pomiaru czułości na kontrast przy widzeniu peryferyjnych, wykonanie stosownych eksperymentów mierzących czułość na kontrast dla bodźców chromatycznych, achromatycznych oraz mieszanych, jak również przeprowadzenie eksperymentów prowadzących do określenia możliwego opóźnienia percepcji obiektów w odpowiedzi na zmianę widzenia z peryferyjnego na centralne. Ponadto, praca zakłada wykonanie aplikacji umożliwiających weryfikację opracowanych modeli do syntezy obrazów z uwzględnieniem widzenia kierunkowego, jak również wyświetlania obrazu w wyświetlaczach stereoskopowych z akomodacją.

Rozprawa doktorska p. mgra inż. Michała Chwesiuka liczy 100 stron. Została ona podzielona na 3 główne rozdziały, uzupełnione przez podsumowanie oraz obszerny spis literatury dotyczącej przedmiotu badań. Przedstawiona praca ma charakter teoretyczno-eksperymentalny i plasuje się w dyscyplinie informatyka techniczna i telekomunikacja.

2. Najważniejsze osiągnięcia naukowe przedstawione w rozprawie, ich oryginalność oraz pozycja w stosunku do stanu wiedzy

Pierwsze osiągnięcie naukowe Pana mgra inż. Michała Chwesiuka polega na stworzeniu stanowiska pomiarowego i wykonaniu serii pomiarów czułości ze względu na kontrast układu wzrokowego człowieka. Zbadane zostały progi kontrastów bodźców chromatycznych, achromatycznych oraz mieszanych. Na podstawie pomiarów zaproponowany został analityczny model. Zarówno same pomiary, jak i zaproponowany model, mają zastosowanie w szeroko rozumianych algorytmach syntezy obrazu. Umożliwiły one między innymi system renderingu obrazu czuły na kierunek patrzenia, dzięki czemu możliwe było zmniejszenie nakładu obliczeniowego w obszarach peryferyjnych patrzenia.

Kolejne pomiary, wykonane przez p. mgra inż. Michała Chwesiuka, dotyczyły oszacowania całkowitego opóźnienia systemu renderingu obrazów w funkcji odległości od punktu centralnego obrazu. Pomiary te umożliwiły podanie maksymalnych wartości odpowiedzi systemu, które nie powodują zauważalnych i niekorzystnych efektów wizualnych związanych z ewentualnym opóźnieniem.

Powyższe eksperymenty zostały przeprowadzone w zbudowanym torze pomiarowym i z pomocą grup ochotników. Zorganizowanie tego typu eksperymentów, jak również opracowanie otrzymanych danych, są czynnościami żmudnymi, które wymagają precyzyjnego zaplanowania odpowiednich scenariuszy, a następnie ich realizacji.

Otrzymane charakterystyki czułości na kontrast ludzkiego układu wzrokowego zostały wykorzystane w stworzonym algorytmie śledzenia promieni w środowisku sztucznej rzeczywistości (ang. *virtual reality*). Doktorant wykazał, że w obszarach peryferyjnych, właśnie ze względu na mniejszą czułość, możliwe jest renderowanie znacznie mniejszej ilości promieni, co prowadzi do mniejszych wymagań na moc obliczeniową i, w rezultacie, na skrócenie samego czasu obliczeń.

Kolejny obszar aplikacyjny dotyczył zbadania możliwości adaptacji parametrów wyświetlania na różnych typów wyświetlaczy. W szczególności zbudowana została hybrydowa metoda dekompozycji obrazu w wyświetlaczu wielopłaszczyznowym z polem światła (ang. *light field*). Zastosowana metoda polega na doborze linowego procesu mieszania oraz syntezy pól światła, zależnego od kierunku patrzenia obserwatora, jak również od rodzaju przedstawianej sceny. Wykazano, że dzięki temu

podejściu możliwe jest skrócenie czasu renderingu i w konsekwencji synteza obrazu w tzw. trybie czasu rzeczywistego.

Wyżej wymienione osiągnięcia były możliwe dzięki zbudowaniu i oprogramowaniu odpowiedniego środowiska badawczego. Co jednak szczególnie zasługuje na uznanie to przeprowadzenie często skomplikowanych logistycznie eksperymentów, wymagających między innymi zaangażowania oraz odpowiedniego przygotowania biorących w nich udział ochotników. Zarówno same pomiary, jak i zaproponowane modele i metody renderingu obrazów, sterowanych kierunkiem patrzenia, świadczą o dużej pomysłowości oraz dojrzałości naukowej Pana magistra inżyniera Michała Chwesiuka. Stanowią one istotny wkład w dziedzinę grafiki i widzenia komputerowego, jak również posiadają duże znaczenie praktyczne.

3. Słabe strony rozprawy, jej główne wady oraz zagadnienia dyskusyjne

Rozprawa doktorska p. mgra inż. Michała Chwesiuka napisana jest starannie, na wysokim poziomie, zarówno pod kątem naukowym, jak również edycyjnym. Tym niemniej, praca zyskałaby na czytelności gdyby w kilku rozdziałach Autor zamiast kolejnych stron tekstu umieścił tabele podsumowujące główne parametry eksperymentów. W pracy nie zauważyłem istotnych błędów merytorycznych, ani też edycyjnych. Niżej wymienione zagadnienia mają charakter dyskusyjny.

Znaczenie oraz rola przestrzeni kolorów LMS nie do końca jest jasna. Uzyskiwana jest ona poprzez liniową transformację z przestrzeni XYZ, której wartości podane są *a priori*, bez głębszej analizy. Nie jest jasne w jaki sposób wartości te zostały obliczone, ani też czy są jedynymi możliwymi, czy też są w jakimś sensie wartościami optymalnymi. Współrzędne LMS są następnie transformowane do współrzędnych ARY, na podstawie których obliczany jest kontrast wartości składowych. Jednakże nie jest jasne czemu wartości kontrastu nie miałyby być obliczone wprost z wartości z przestrzeni XYZ.

Praca zyskałaby również na czytelności, gdyby zawarte w niej wzory zostały odpowiednio ponumerowane, co w przypadku prac naukowych jest raczej regułą, niż wyjątkiem. Wtedy na przykład łatwiej byłoby zadać pytanie o pierwszy wzór na stronie 46, dotyczący obliczania wartości prawdopodobieństwa wypadkowego dla wszystkich składników kontrastu, jak opisano w tekście za pomocą sumowania, podczas gdy wzór dotyczy iloczynu prawdopodobieństw, co prawdopodobnie odpowiada założeniu o ich niezależności.

Również ciekawe byłoby nieco głębsze omówienie filtra Gabora, o którym mowa w rozdziale 2.1.1. Autor wspomina tam, że jest to „filtr linowy wykorzystywany na obrazach celem ich analizy”. Ciekawe byłoby więc wytłumaczenie w relacji do których swoich parametrów filtr Gabora jest filtrem linowym, jak również do jakiego typu analizy obrazów może on posłużyć.

Pewnym ograniczeniem zaproponowanych rozwiązań jest konieczność korzystania z urządzenia do śledzenia kierunku patrzenia (ang. *eye tracker*). Autor jest świadomy ograniczeń i nakładów obliczeniowych z tym związanych. Jednakże ciekawa i wartościowa byłaby bardziej pogłębiona analiza tego problemu. Dla przykładu, zaproponowany w rozdziale 2.4.4 układ śledzenia w postaci kamery oraz źródła oświetlenia podczerwonego (ang. *infra-red*), to być może skuteczne rozwiązanie w wersji laboratoryjnej, jednakże wydaje się ono być nie do końca użyteczne w przypadku rozwiązań aplikacyjnych, zarówno ze względu na konieczność zbudowania prawdopodobnie dość drogiego urządzenia, ale również ze względu na fakt zmęczenia układu wzrokowego oświetlanego promieniowaniem podczerwonym. Nie jest też jasne, jak taki układ śledzenia radzi sobie z ruchami sakadycznymi oczu.

Głębszej analizie wymaga powstawanie zjawiska aliasingu, o którym mowa w rozdziale 3.1.4 i kolejnych. Nie do końca jest jasne, czy wspomniane migotanie w obszarach peryferyjnych to wyłącznie przyczyna aliasingu, a jeżeli tak, to jaki jest dokładny mechanizm jego powstawiania, czy też być może jest to związane z innymi parametrami toru przetwarzania, takimi jak np. szybkość zapisu do/z pamięci, itd.

W większości eksperymentów analizowane są sceny statyczne, np. zagadnienie to jest wspomniane w rozdziale 3.2.5. Jednakże w praktyce wiele scen charakteryzuje się dynamicznymi zmianami. W jakim więc stopniu wyniki otrzymane dla scen statycznych odnoszą się również do scen dynamicznych?

Należy jednak podkreślić, że powyższe pytania mają charakter polemiczny i dotyczą dalszego wyjaśnienia, bądź też zawierają sugestie rozszerzenia pewnych zagadnień natury naukowej poruszonych w rozprawie.

4. Przydatność rozprawy dla nauk technicznych

Opisane w rozprawie doktorskiej p. mgra inż. Michała Chwesiuka dane eksperymentalne, jak i skonstruowane na ich podstawie modele oraz wykonane realizacje praktyczne bazujące na tych pomiarach są oryginalne i wnoszą istotny przyczynek zarówno do dalszego poznania parametrów ludzkiego układu wzrokowego, jak i do możliwości przystosowania technologii do tych parametrów. Badania tego typu są bardzo ważne, gdyż nie tylko dostarczają nowej wiedzy, ale również przyczyniają się do rozwoju nowych, a często przełomowych, technologii. Dla przykładu, obserwacje możliwości percepcyjnych człowieka stały się za wynalezieniem urządzeń do przedstawiania ruchomych obrazów, najpierw w postaci kinetoskopu zbudowanego w 1892 roku przez Thomasa Alwisa Edisona, a następnie w postaci tak zwanego kinematografu opatentowanego w 1895 roku przez braci Lumière. To właśnie powstanie tego ostatniego uznawane jest za początek kina, które wywarło olbrzymi wpływ na kulturę w ostatnim stuleciu, jak również ma doniosłe znaczenie obecnie, a niedługo od swojego debiutu przyczyniło się do powstania telewizji, jak również nowoczesnych technik multimedialnych, jakie znamy obecnie.

Jak zostało to wykazane w rozprawie p. mgra inż. Michała Chwesiuka, wyniki jego pomiarów, jak również opracowane na tej podstawie modele i algorytmy, umożliwiają dostosowanie parametrów wyświetlania, czy też tworzenia, obrazu w różnorodnych typach wyświetlaczy elektronicznych, w funkcji kierunku obserwacji widza. Jak pokazano w pracy, dzięki takiemu mechanizmowi adaptacji możliwe jest odpowiednie ograniczenie nakładów obliczeniowych, dzięki możliwemu ograniczeniu ilości przetwarzanej informacji podczas dynamicznego procesu tworzenia sceny w peryferyjnych lokalnych obszarach wyświetlania. Samo zjawisko widzenia peryferyjnego i związanych z tym ograniczeń percepcji jest dobrze znane. Jednakże opracowanie ilościowych parametrów, stanowi bazę naukową do opracowania skutecznych algorytmów tworzenia scen uwzględniających kierunkowość widzenia. Tym niemniej, rozwiązania takie bazują na skutecznych technologiach śledzenia kierunku widzenia, które same podlegają ciągłym badaniom, jak również udoskonaleniom technologicznym.

Podsumowując, otrzymane przez p. mgra inż. Michała Chwesiuka wyniki eksperymentalne, jak również opracowanie na ich podstawie modele i algorytmy mają istotne znaczenie dla nauk technicznych, zarówno w aspekcie osiągnięć teoretycznych, jak i możliwości aplikacyjnych.

5. Charakterystyka działalności naukowej, w tym publikacyjnej, Doktoranta

Oprócz przedstawionych w poprzednich rozdziałach analiz dotyczących głównych eksperymentów oraz metod zaprezentowanych w rozprawie, istotnym aspektem jest działalność naukowa oraz publikacyjna Doktoranta. Z nadesłanych informacji, jak również z analizy materiałów dostępnych w Internecie, wynika, że p. mgr inż. Michał Chwesiuk jest współautorem siedmiu publikacji naukowych. Prace te wpisują się w dyscyplinę informatyka, a w szczególności w dziedzinę wizualizacji oraz grafiki komputerowej. Znaczna część tych publikacji to materiały konferencyjne, w przypadku trzech z nich p. Michał Chwesiuk jest pierwszym autorem. Z kolei ostatnia publikacja z roku 2019, w której p. Michał Chwesiuk jest jednym z autorów, ukazała się w czasopiśmie *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, którego aktualny tzw. *impact factor* wynosi $IF=3,78$.

Wszystkie powyższe osiągnięcia świadczą o znacznym zaangażowaniu naukowym, jak również o aktywności badawczej i publikacyjnej oraz rozpoznawalności w periodykach międzynarodowych p. mgra inż. Michała Chwesiuka.

6. Podsumowanie

Podsumowując stwierdzam, że **postawione w rozprawie zagadnienia badawcze zostały prawidłowo rozwiązane, postawiona w rozprawie teza została wykazana, a plan badawczy zrealizowany.** Uzyskane rezultaty stanowią oryginalny własny wkład Autora rozprawy Pana mgra inżyniera Michała Chwesiuka w rozwój dyscypliny naukowej informatyka techniczna i telekomunikacja, a w szczególności dotyczą nowoczesnych metod wizualizacji oraz grafiki komputerowej. Pan mgr inż. Michał Chwesiuk wykazał się przy tym dobrą znajomością metod i algorytmów tworzenia oraz przetwarzania obrazów, zarówno w systemach komputerowych, jak i w ludzkim układzie wzrokowym, a ponadto dobrą znajomością analizy danych. Wykazał się on również opanowaniem naukowego warsztatu badawczego, zarówno od strony teoretycznej, jak i eksperymentalnej. Wszystko to świadczy o dojrzałości naukowej Pana mgra inż. Michała Chwesiuka.

Recenzowaną pracę oceniam jako **spełniającą** wymagania stawiane rozprawom doktorskim. Wnioskuje o jej przyjęcie oraz o dopuszczenie Pana magistra inżyniera Michała Chwesiuka do publicznej obrony.

