

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

Kraków, 30.09.2024

Recenzja rozprawy doktorskiej
Pana magistra inżyniera Adama Grzelki
z tytułuwanej:
Systemy wizyjne swobodnego punktu widzenia o wysokiej
postrzeganej jakości usług

Wstęp

Recenzja dotyczy rozprawy doktorskiej Pana magistra inżyniera Adama Grzelki pt. „*Systemy wizyjne swobodnego punktu widzenia o wysokiej postrzeganej jakości usług*”, która powstała w roku 2024 w Instytucie Telekomunikacji Multimedialnej, Wydziału Informatyki i Telekomunikacji, Politechniki Poznańskiej. Promotorem pracy jest Pan prof. dr hab. inż. Marek Domański, natomiast promotorem pomocniczym jest Pan dr hab. inż. Olgierd Stankiewicz. Przygotowanie recenzji zostało wykonane na zlecenie Przewodniczącego Rady Dyscypliny Naukowej Informatyka Techniczna i Telekomunikacja, Pana prof. dr hab. inż. Andrzeja Jaszkiwicza. Praca została napisana w języku polskim. Recenzja sporządzona została w postaci odpowiedzi na pytania dotyczące rozprawy doktorskiej Pana magistra inżyniera Adama Grzelki.

1. Problem badawczy i jego znaczenie

Jaki jest najważniejszy problem rozważany w rozprawie?

Podczas obserwowania otaczającej nas przestrzeni i gdy mamy swobodę przemieszczania się, możemy daną scenę obserwować z różnych punktów przestrzeni, zwanych też punktami obserwacji sceny. Umożliwia nam to zaobserwowanie wielu szczegółów obserwowanej sceny i znajdujących się w niej obiektów. Przykładem może być nasza wizyta w muzeum malarstwa, czy te rzeźby, w którym przemieszczamy się z sali do sali i obserwujemy różne eksponaty, z różnych stron, to z dalsza, to znów przybliżając się do nich. Sytuacja zmienia się jednak jeśli to samo muzeum będziemy obserwowali wyłącznie za pomocą transmisji telewizyjnej, podczas której jedna kamera, umieszczona w jednym miejscu pokazuje nam jedynie wycinek sceny. W tym przypadku obserwujemy obiekty wyłącznie z pojedynczego punktu widzenia, a jedyne co jest możliwe to przybliżanie, czy też oddalanie obrazu i to też w zależności od pomysłu kamerzysty i realizatora obrazu. W tym przypadku nasza percepcja jest więc znacznie ograniczona. Pewnym rozwiązaniem jest umożliwienie poruszania się kamerzysty wraz z kamerą, bądź też umieszczenie wielu kamer i sukcesywne przełączanie obrazu na kolejne obszary

przestrzeni. Tym niemniej, taki zestaw nawet bardzo wielu kamer też wprost nie umożliwi pełnej percepcji przestrzeni, gdyż każdy pojedynczy obraz będzie związany z jednym statycznym punktem obserwacji, czyli miejsca gdzie jest zamontowana dana kamera. Jednakże taki zbiór wielu kamer może najpierw posłużyć do dostarczenia informacji o głębi scen, co już umożliwi wygenerowanie nowego obrazu, tak jakby obserwacja następowała z innego punktu widzenia niż stały punkt zamontowania kamery. Tak wygenerowane obrazy mogą być następnie przesyłane do użytkownika stwarzając wrażenie swobodnego przemieszczania się w przestrzeni. W rezultacie, wraz z pojawianiem się ciągle nowych obrazów, użytkownik może mieć wrażenie właśnie swobodnego przemieszczania się w przestrzeni sceny. Systemy tego typu zwane są telewizją ze swobodnym punktem widzenia (ang. *free viewpoint television*), jak również znane są pod nazwą wirtualna rzeczywistość (ang. *virtual reality*). Realizacja tego typu systemów nie jest jednak ani prosta ani tania, gdyż zarówno wymaga skonstruowania wspomnianego już systemu zsynchronizowanych kamer, jak i obsługi olbrzymich strumieni danych pochodzących z tych kamer, co z kolei wymaga potężnych mocy obliczeniowych. Wymagania te są wyjątkowo wyostnione w przypadku konieczności zapewnienia operowania systemu w trybie tzw. czasu rzeczywistego i z jednoczesnym zapewnieniem odpowiedniej jakości obserwowanych obrazów. Przykładem tego typu systemu, operującego jednak z dużymi ograniczeniami, jest *Street View* firmy Google®.

Główny problem badawczy rozważany w rozprawie Pana mgra inż. Adama Grzelki dotyczy opracowania skutecznych systemów wizyjnych ze swobodnym punktem widzenia, które umożliwiają użytkownikowi obserwację scen z każdego lub prawie każdego punktu i kierunku obserwacji danej sceny. Doktorant postawił sobie również ambitny cel stworzenia systemów zapewniających możliwie wysoką jakość percepcji scen. Cel ten osiągnął m.in. dzięki zaproponowaniu optymalizacji sposobu ustawienia kamer w systemach wielokamerowych, jak również poprzez zbadanie wpływu stratnej kompresji obrazów oraz opóźnień transmisji na percepcję syntezowanych obrazów w systemie. Nie mniej istotny jest fakt, że Pan mgr inż. Adam Grzelka wykonał w pełni funkcjonalny system wielokamerowy, a następnie wykonał szereg eksperymentów badawczych.

Czy praca ma on charakter naukowy?

Wyżej zarysowany problem ma charakter naukowy, jak i technologiczny. Mimo wielu prób i badań na świecie ciągle nie istnieją systemy, które w pełni spełniałyby wymagane założenia. Dlatego istnieje potrzeba kontynuacji badań w tym zakresie, a dostarczenie nowych rozwiązań wymaga opracowania oryginalnych algorytmów, miar oceny jakości, jak i przeprowadzenia licznych eksperymentów. Te ostatnie, aby mogły odpowiedzieć na pytania naukowe, wymagają od badaczy pokonania bardzo wielu przeszkód natury technologicznej. Zarówno zagadnienia naukowe, jak i wyzwania technologiczne, a co ważniejsze, sposoby ich rozwiązania zaprezentowane są w rozprawie doktorskiej Pana mgra inż. Adama Grzelka.

Czy ma on znaczenie praktyczne?

Podjęty przez Pana mgra inż. Adama Grzelkę problem badawczy ma również bardzo istotne znaczenie praktyczne, gdyż zaprezentowane rozwiązania mogą wprost prowadzić do ich aplikacji w systemach wirtualnej rzeczywistości.

2. Wkład autora

Jaki jest najważniejszy wkład autora opisywane w rozprawie?

Główne osiągnięcia Doktoranta Pana mgr inż. Adama Grzelki dotyczą opracowań metod zogniskowanych wokół poniższych czterech tez badawczych.

1. *Rejestracja złożonych scen wizualnych przy ustawieniu kamer wokół sceny parami o małej odległości bazowej umożliwia uzyskanie syntezy wirtualnych widoków o lepszej jakości, niż gdy ta sama liczba kamer rzeczywistych jest rozmieszczona równomiernie wokół sceny.*

Doktorant Pan mgr inż. Adam Grzelka przeprowadził wnikliwą analizę czynników wpływających na jakość syntezy widoków wirtualnych w zależności od złożoności sceny. Wynikiem tej analizy było opracowanie teoretycznego modelu, który umożliwia opisanie zjawisk wpływających na wspomnianą jakość syntezy. Działanie tego modelu zostało następnie zweryfikowane z wynikami eksperymentu przeprowadzonego z użyciem wielowidokowych sekwencji testowych. W ten sposób została zweryfikowana teza o wpływie przysłoneń w scenie oraz odległości pomiędzy kamerami na jakość wirtualnego widoku.

Wszystko to umożliwiło wyciągnięcie wniosków dotyczących optymalnego sposobu umieszczenia kamer w przypadku złożonych scen, to znaczy takich w których ponad 25% punktów obrazowych jest przysłonionych, czyli niewidocznych dla kamer rozłożonych równomiernie. Ważnym odkryciem jest zaobserwowanie przez Doktoranta, że dla tego typu scen ustawienie kamer parami, a nie w sposób równomierny umożliwia uzyskanie wyższej postrzeganej jakości usług. W przypadku pomiaru jakości za pomocą miary PSNR możliwe jest uzyskanie w ten sposób poprawy nawet o 3dB.

Należy tutaj wspomnieć, że Pan mgr inż. Adam Grzelka miał istotny udział przy opracowaniu metryki *Immersive Video Peak Signal-to-Noise Ratio (IV-PSNR)*, która pozwala na efektywny pomiar jakości obrazu z wykorzystaniem wskaźnika PSNR, powszechnie stosowanego do oceny podobieństwa obrazów, ale odpowiednio dostosowanego do charakterystyki obrazów syntetycznych. Metryka ta jest używana do oceny jakości obrazów syntezowanych między innymi przez grupy robocze MPEG, działające w ramach ISO/IEC. Publikacja prezentująca tę miarę, w której Pan mgr inż. Adam Grzelka był jednym z czterech autorów, ukazała się w roku 2022 w prestiżowym czasopiśmie *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology* (IF=8,3).

2. *Jakość obrazów wirtualnych uzyskiwanych ze zdekodowanych widoków zależy silnie od jakości tych widoków i w stosunkowo niewielkim stopniu od zastosowanej techniki kompresji stratnej.*

Doktorant przeprowadził intensywne badania mające na celu pomiar jakości generowanych widoków wirtualnych w systemach wielokamerowych, w których do estymacji map głębi używane były obrazy w różnym stopniu skompresowane za pomocą stratnych metod kompresji. Pan mgr inż. Adam Grzelka wykazał eksperymentalnie, że kompresja stratna która zachowuje wysoką jakość przesyłanych obrazów nie wpływa znacząco na jakość końcowych obrazów wirtualnych. Co jest istotne, to jakość samego przesyłanego obrazu, tj. jeszcze przed kompresją, a nie rodzaj zastosowanej metody kompresji. Do oceny tego zjawiska Pan mgr inż. Adam Grzelka zaproponował liniowy model, który umożliwia szacowanie jakości obrazu wirtualnego właśnie w zależności od użytej metody kompresji sygnałów.

3. *W systemach wirtualnej rzeczywistości z wyświetlaczami nagłownymi dokuczliwość opóźnień pomiędzy ruchem użytkownika a odświeżeniem ekranu jest większa dla ruchu rotacyjnego niż dla ruchu translacyjnego.*

W przypadku zastosowania tzw. wyświetlaczy nagłownych bardzo istotne jest zbadanie subiektywnego zjawiska pogorszenia percepcji w wyniku opóźnień powstających między momentami ruchu samego użytkownika a pojawieniem się w obrazie zauważalnej reakcji na ten ruch. Pan mgr inż. Adam Grzelka dogłębnie zbadał to zjawisko przeprowadzając testy subiektywne. Pozwoliły one na wyciągnięcie wniosków, że dokuczliwość opóźnień jest znacząco większa w przypadku ruchu rotacyjnego głowy niż prostych przemieszczeń liniowych. Z badań tych wynika również, że transmisja widoku dookólnego wprost do terminala użytkownika pozwala na znaczące wydłużenie czasu wymaganego do komunikacji z serwerem bez istotnej utraty jakości, w porównaniu z systemem, w którym serwer oblicza wirtualny widok, który następnie jest już wprost wyświetlany w urządzeniu użytkownika. Oznacza to, że w celu zachowania jak największej jakości usług w systemach wielokamerowych należy przede wszystkim zadbać o minimalizację opóźnień związanych z ruchem rotacyjnym obserwatora, nawet kosztem zwiększenia czasu transmisji pomiędzy serwerem a terminalem użytkownika i jego wyświetlaczem nagłownym.

4. *Za pomocą konsumenckich kamer i typowego komputera osobistego można zbudować system wirtualnej rzeczywistości działający w czasie rzeczywistym, przy założeniu, że model sceny przestrzennej jest przygotowywany wcześniej.*

Na podstawie wyników badań Doktorant Pan mgr inż. Adam Grzelka zaprojektował, a następnie wykonał wielokamerowy system do swobodnej nawigacji z wykorzystaniem wcześniej przygotowanych obrazów oraz map głębi. W systemie tym Pan mgr inż. Adam Grzelka użył dobrze znanych kamer HERO Black 4 firmy GoPro®. Stworzony został też serwer swobodnej nawigacji.

Doktorant ma tutaj znaczący udział w opracowaniu zarówno ogólnej koncepcji tego systemu, jak również w wytworzeniu i testowaniu prototypów, a następnie w testowaniu dedykowanych komponentów tego systemu, takich jak tzw. plecaki kamer, rozdzielacze oraz moduły zarządzające systemem.

Doktorant brał też czynny udział w nagrywaniu i opracowaniu sekwencji testowych, np. Poznań Volleyball i Basketball. System ten stanowi rodzaj prototypu, który może być użyty zarówno do dalszych prac badawczych, jak również do opracowania produktu w postaci komercyjnego systemu wizyjnego swobodnego punktu widzenia o wysokiej postrzeganej jakości usług. Niestety, ponieważ zestaw użytych kamer konsumenckich nie umożliwia transmisji danych w trybie czasu rzeczywistego, system w bieżącej realizacji korzysta wyłącznie z wcześniej obliczonych map głębi. Jest to oczywiście pewien niedostatek tego systemu, który jednakże tylko podkreśla jak trudny technologicznie problem został podjęty przez Doktoranta.

Wszystkie wyżej opisane zagadnienia badawcze, jak i ich oryginalne rozwiązania naukowe zaproponowane przez Pana mgr inż. Adama Grzelkę świadczą o Jego dużej wiedzy, pomysłowości oraz dojrzałości naukowej.

3. Poprawność

Czy stwierdzenia zawarte w rozprawie są godne zaufania? Czy uzasadnienia są poprawne? Wskaż zauważone słabości i błędy. Wskaż także te aspekty dotyczące poprawności, które są najbardziej wartościowe.

Doktorant Pan mgr inż. Adam Grzelka podjął uzasadnioną naukowo metodykę prowadzenia badań polegającą na formułowaniu problemów oraz potrzeb, obserwowaniu i analizie istniejących rozwiązań, a następnie na proponowaniu nowych, lepszych rozwiązań oraz stawianiu tez naukowych oraz w końcu ich weryfikacji eksperymentalnej. W kolejnym etapie, poprzez wnikliwą obserwację wyników, Doktorant mógł zweryfikować swoje założenia, jak również zaproponować metody lub ich kolejne wersje, które spełniają wcześniej określone założenia. Dzięki temu, wszystkie zaproponowane rozwiązania, jak i tezy postawione w rozprawie, zostały zweryfikowane eksperymentalnie. Co więcej, otrzymane w ten sposób stanowisko badawcze może zostać wykorzystane w charakterze prototypu w przypadku np. komercjalizacji badań Doktoranta.

Poprawność zaproponowanych rozwiązań jest też potwierdzona poprzez bardzo liczne publikacje naukowe z udziałem Pana mgr inż. Adama Grzelki, w recenzowanych periodykach w przeważającej mierze o zasięgu światowym. Na szczególne podkreślenie zasługują tutaj dwie publikacje, w których Doktorant jest jednym z autorów. Pierwsza zatytułowana „*IV-PSNR—The Objective Quality Metric for Immersive Video Applications*” opublikowana w roku 2022 w *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology* (IF=8,3) oraz druga, zatytułowana „*A Free-Viewpoint Television System for Horizontal Virtual Navigation*”, opublikowana w roku 2018 w *IEEE Transactions on Multimedia* (IF=8,4). Należy tutaj jednak dodać, że jest to też wynik pracy całego zespołu naukowego, do którego należy Doktorant.

Poniższa lista zawiera zauważano kwestie wymagające lepszego uzasadnienia lub dodatkowej dyskusji i wyjaśnienia.

1. Rozdział 2.7 – problem optymalnego rozmieszczenia kamer – można by się pokusić aby przedstawić jako problem optymalizacyjny, z pewną funkcją kosztu uwzględniająco zarówno przysłonięcia, jak i jakość map głębi. Należałoby uwzględnić zależności geometryczne i tzw. pokrycie przestrzeni przez kamery vs. złożoność obliczeniowa – kamery mogą nie pokrywać całej przestrzeni, a w dowolnym ustawieniu tracimy np. współliniowość linii epipolarnych z liniami skanu obrazu itd. Czy taki problem mógłby być rozwiązany za pomocą jednej z metod sztucznej inteligencji?
2. Str. 32 – opisane są tu problemy z synchronizacją kamer, ale trochę brakuje szczegółów, np. jaka możliwość synchronizacji sprzętowej? Po drugie, jak parametry synchronizacji wpływają na jakość systemów wizyjnych ze swobodnym punktem widzenia?
3. Rozdział 3.3 – opisany jest tutaj dobrze znany parametr pomiaru podobieństwa obrazów PSNR, jak również jego nowatorska modyfikacja IV-PSNR. Ale czy można użyć innych miar? Jak w porównaniu z PSNR oraz IV-PSNR wypada miara podobieństwa strukturalnego SSIM?
4. Rozdział 4.2 – brakuje mi głębszej analizy zależności między kamerami, bo przecież istnieją nie tylko najbliższe pary kamer, ale też można sobie wyobrazić ich inne zarówno ułożenia, jak i pary, czy też trójki itd. Przy N kamerach mamy np. $(N,2)$ takich par, to czy można je jakoś dodatkowo wykorzystać w porównaniu z wykorzystaniem tylko par kamer do siebie przylegających?
5. Wzór (4.1) wymaga lepszego wyjaśnienia – np. czy składowe po prawej stronie (4.1) są od siebie niezależne?

6. Str. 45 – nie jest tak do końca jasne o jakich „próbkach” tutaj mówimy, przestrzeń 3D jest ciągła, próbkowanie mamy przy akwizycji obrazu, mamy też do czynienia z kwantyzacją sygnałów.
7. Str. 45 – zakres 0,2 do 5,8 – skąd te wartości?
8. Str. 83 – trzeba by wniknąć głębiej, tzn. rozważyć konkretne algorytmy obliczania mapy głębi i syntezy w funkcji zmian sygnału wizyjnego. W ogóle ciekawe jest jak reaguje ludzki układ wzrokowy – tzn. zakładając, że kompresja odtwarza akceptowalny obraz (wg jakiegoś subiektywnego kryterium), to czy „ludzkie” stereo też się wtedy zepsuje? Jeśli tak, to o ile?
9. W kontekście algorytmów, szczególnie tych do obliczania map głębi, dzięki nastaniu metod sztucznej inteligencji (AI) coraz popularniejsze stają się algorytmy wielo-obrazowe obliczane za pomocą głębokich sieci neuronowych, jak również metody estymacji głębi wyłącznie na podstawie pojedynczych obrazów (ang. *monocular depth estimation*). Czy Autor rozważał użycie tego typu metod? Jaka jest przyszłość ich użycia, również w kontekście systemów ze swobodnym punktem obserwacji?
10. Str. 93 – skoro, jak pisze Autor, jest tak wysoka korelacja, to może w praktyce PSNR i IV-PSNR oznaczają „to samo”?
11. Rozdział 7.2 –można by więcej wspomnieć o optyce i rodzajach sensorów optycznych kamer, jak również o ich wpływie na cały system.
12. Str. 115 – Autor wspomina opracowanie własnego protokołu komunikacji – to bardzo ciekawe i chętnie poznałbym więcej szczegółów tego rozwiązania. Na ile różni się ono od już istniejących? Czy była konieczność opracowywania własnego protokołu, czy też można było jednak użyć coś „gotowego”?
13. Rozdział 7.3 – omówienie wyników, ale brakuje mi dyskusji ile zasobów i czasu wymaga obliczenie map głębi.

Powyższa lista pytań dotyczy dodatkowych zagadnień naukowych lub też prośby o głębsze potraktowanie pewnych tematów poruszonych w rozprawie doktorskiej Pana mgr inż. Adama Grzelki. Tym niemniej, mają one wyłącznie charakter dyskusyjny i w żadnej mierze nie umniejszają obecnego wkładu merytorycznego przedstawionego w tej rozprawie.

4. Wiedza kandydata

Które z rozdziałów (lub sekcji w rozdziałach) rozprawy omawiają istniejący stan wiedzy i dzięki temu potwierdzają ogólny stan wiedzy kandydata w zakresie Informatyki? Jakie obszary tych dyscyplin zostały omówione w tych rozdziałach/sekcjach? Jaka jest opinia recenzenta o jakości tych rozdziałów sekcji? Jaka jest opinia recenzenta o bibliografii? Na ile bibliografia jest kompletna? Prosimy o podanie innych argumentów za lub przeciw stwierdzeniu, że kandydat posiada ogólną wiedzę w dyscyplinie Informatyka techniczna i telekomunikacja.

Analizę wiedzy Doktoranta należy zacząć od analizy przedłożonej rozprawy doktorskiej. Praca ta jest bardzo obszerna i liczy 171 stron. Po wprowadzeniu, w rozdziale 2, Autor dokonał przeglądu stanu wiedzy – jest to bardzo cenna analiza dotychczasowych postępów w dziedzinie systemów swobodnej nawigacji, ze szczególnym uwzględnieniem zagadnień kompresji obrazów cyfrowych, estymacji map głębi, syntezy obrazów, jak również zagadnień związanych z geometrycznym umiejscowieniem kamer w systemach wielo-kamerowych oraz problemem synchronizacji kamer systemu. W tym miejscu należy podkreślić długą listę zamieszczoną przez Autora, która liczy prawie 300 pozycji! Tak duża liczba zamieszczonych publikacji referencyjnych jest niespotykana w tego typu pracach. Co więcej, wszystkie

są bardzo dobrze wybrane oraz aktualne. Świadczy to o dogłębnej znajomości wyżej wymienionych zagadnień naukowych i technicznych przez Pana mgra inż. Adama Grzelkę, jak również o Jego wielkim doświadczeniu zawodowym.

Dalsze rozdziały rozprawy Pana mgra inż. Adama Grzelki dotyczą kolejnych zagadnień badawczych i w dużej mierze odpowiadają treści postawionych tez. W szczególności, metodologia badań przedstawiona jest w rozdziale 3, optymalizacja ustawienia kamer dyskutowana jest w rozdziale 4, wpływ kompresji na jakość wirtualnego widoku omówione zostały w rozdziale 5, z kolei rozdział 6 Autor poświęcił na analizę wpływu opóźnień na postrzeganą jakość usług w wyświetlaczach nagłownych, w końcu w rozdziale 7 opisano główny system wykonany przez Pana mgra inż. Adama Grzelkę wraz z prezentacją wykonanych eksperymentów oraz z analizą wyników. Moja opinia jest bardzo wysoka – praca Pana mgra inż. Adama Grzelki zawiera bardzo wiele oryginalnych treści naukowych będących podsumowaniem wieloletniej i bardzo owocnej pracy twórczej jej Autora. Tym niemniej, w przypadku treści, które zostały już opublikowane przez Autora w artykułach naukowych wolałbym po prostu odwołać się do bibliografii zamiast pełnego opisu w języku polskim. Ale rozumiem też, że taka prezentacja była potrzebna Autorowi w celu zapewnienia ciągłości całej rozprawy. Przyjmując tę perspektywę, to brakuje mi jednak chociaż podstawowego opisu działania algorytmów obliczania map głębi – jakie mają zalety, jakie wady, złożoność obliczeniową itd. – jak również algorytmów do syntezy widoków. Do kolejnych drobnych „życzeń” odnośnie rozprawy dodam, że jej jakość na pewno byłaby większa gdyby Autor zamieścił więcej zdjęć obliczanej mapy głębi, syntezy obrazów, a już jakieś wideo ukazujące działanie tego systemu byłoby bezcenne.

Pan mgr inż. Adam Grzelka jest współautorem aż 45 prac, w tym kilku w periodykach naukowych o istotnym współczynniku wpływu (tzw. *impact factor*). Niewątpliwie jest to wynik wieloletniej i bardzo owocnej pracy naukowo badawczej Doktoranta, ale również przynależności do znakomitego zespołu naukowców z Politechniki Poznańskiej, a w szczególności jest to zasługa Pana Promotora oraz Pana Promotora pomocniczego. Jedyną drobną niedogodność dla recenzenta, to fakt że w przypadkach publikacji wielo-autorskich trudno jest precyzyjnie określić indywidualny wkład Doktoranta do danego rozwiązania, czy też publikacji.

Na szczególną uwagę zasługuje również tzw. indeks cytowań prac Pana mgra inż. Adama Grzelki, tzw. H-Index, który wynosi 6 w Web of Science (wrzesień 2024). W przypadku Doktoranta jest to bardzo wysoki poziom oznaczający dużą zauważalność prac Pana mgra inż. Adama Grzelki w światowym środowisku naukowym. Niewątpliwie zasługuje to na pochwałę i wyróżnienie.

Podsumowując, opracowanie nowych metod do tak ambitnego zadania wymagało od Pana mgra inż. Adama Grzelki zarówno dogłębnej wiedzy w zakresie przetwarzania obrazów, w szczególności wyznaczania map głębi, syntezy obrazów oraz ich kompresji, jak i w szeregu zagadnień technologicznych, takich jak przesyłanie strumieni wideo oraz synchronizacja kamer. Nie mniej istotne były umiejętności *stricte informatyczne* Pana mgra inż. Adama Grzelki, który tworzył oprogramowanie systemu w takich językach jak C, C++ oraz Python, jak również umiejętności natury *elektronicznej*, między innymi projektowania układów elektronicznych, projektowania płytek PCB czy też tworzenia mechanicznych mocowań.

5. Podsumowanie

Biorąc pod uwagę opinie zaprezentowane w poprzednich punktach i wymagania zdefiniowane przez artykuły 186 oraz 187 Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2023 r. poz. 742, tekst jednolity) moja ocena rozprawy pod względem trzech podstawowych kryteriów jest następująca:

A. Czy rozprawa zawiera oryginalne rozwiązanie problem naukowego?

<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Zdecydowanie TAK	Raczej TAK	Trudno powiedzieć	Raczej NIE	Zdecydowanie NIE

B. Czy po przeczytaniu rozprawy zgadzasz się, że kandydat posiada ogólną wiedzę teoretyczną w dyscyplinie Informatyka techniczna i telekomunikacja?

<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Zdecydowanie TAK	Raczej TAK	Trudno powiedzieć	Raczej NIE	Zdecydowanie NIE

C. Czy kandydat posiada umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej?

<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Zdecydowanie TAK	Raczej TAK	Trudno powiedzieć	Raczej NIE	Zdecydowanie NIE

Ponadto, biorąc pod uwagę bardzo szeroki zakres pracy przedstawionej w rozprawie doktorskiej Pana magistra inżyniera Adama Grzelki, nowatorski charakter opracowanych rozwiązań naukowych, jak również liczbę publikacji z udziałem Pana mgr inż. Adama Grzelki oraz bardzo wysoki wskaźnik cytowań, który wynosi $H=6$ (WoS), **rekomenduję wyróżnienie rozprawy doktorskiej.**



Podpis