

Bydgoszcz, 07.02.2025

dr hab. inż. Rafał Kozik, profesor uczelni
Politechnika Bydgoska
im. Jana i Jędrzeja Śniadeckich w Bydgoszczy,
Wydział Telekomunikacji, Informatyki i
Elektrotechniki,
Al. prof. S. Kaliskiego 7,
85-796 Bydgoszcz

RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

Tytuł rozprawy: System wykrywania sytuacji nietypowych w obrębie pojazdów z wykorzystaniem obrazów oraz map głębi, bazujący na uczeniu głębokim

Autor rozprawy: mgr inż. Łukasz Karbowski

Niniejsza recenzja została przygotowana w odpowiedzi na zawiadomienie Rady Dyscypliny Naukowej Informatyka Techniczna i Telekomunikacja Politechniki Częstochowskiej, w którym zostałem powołany na recenzenta rozprawy doktorskiej mgra inż. Łukasza Karbowskiego.

Przedmiotem recenzji jest ocena, w jakim stopniu praca spełnia wymagania ustawy z uwzględnieniem zasad wskazanych w umowie przez Zamawiającego.

W szczególności ocena dotyczy poziomu wiedzy teoretycznej kandydata oraz oryginalności rozwiązania problemu naukowego.

Ocena układu rozprawy doktorskiej

Układ pracy jest spójny i poprawny. Treść rozprawy została intuicyjnie podzielona na siedem rozdziałów. Pierwszy z nich pełni funkcję wprowadzenia, wyjaśnia strukturę pracy, określa jej tezy i cele. To właśnie w tym rozdziale zdefiniowany został główny

cel dysertacji, który stanowi jej szkielet wokół którego budowane są zagadnienia z rozpoznawaniem obiektów, mapami głębi i fuzją danych. Kolejne rozdziały rozwijają dalej tę tematykę pracy

Rozdział drugi wprowadza i definiuje podstawowe i zaawansowane metody przetwarzania obrazów. W jego ramach wydzielono podrozdział poświęcony filtrom i przekształceniom. Ponieważ jest to jedyny wyodrębniony podrozdział w tej części pracy, warto było rozważyć jego integrację z całością, aby uniknąć sztucznego podziału.

Następnie Autor rozprawy przechodzi do analizy i przetwarzania mapy głębi. Omawia zagadnienia związane z jej wyznaczaniem oraz urządzeniami generującymi tego typu informacje. Szczególna uwaga poświęcona zostaje technologii LiDAR i jej zastosowaniom. W kolejnych rozdziałach Autor rozprawy podejmuje temat synchronizacji wielosensorowej, ze szczególnym uwzględnieniem współpracy kamery z urządzeniem LiDAR. Omawia kluczowe aspekty, które należy wziąć pod uwagę podczas synchronizacji danych pochodzących z różnych sensorów. Autor przedstawia również typy fuzji danych, wyróżniając fuzję na poziomie surowych danych, cech oraz decyzji. Warto jednak zauważyć, że w tym rozdziale zabrakło nieco szerszego spojrzenia na problem synchronizacji i jego rozwiązania w istniejących systemach, takich jak ROS (Robot Operating System). System ten oferuje różne narzędzia (np. Approximate Time Synchronizer) umożliwiające synchronizację różnych typów danych, w tym map głębi i obrazów. Uwzględnienie tego kontekstu mogłoby wzbogacić analizę.

Rozdział piąty koncentruje się na zagadnieniach ściśle powiązanych z tezą i tytułem rozprawy. Przedstawia przegląd dostępnych rozwiązań dotyczących sztucznych sieci neuronowych wykorzystywanych do detekcji obiektów. Podobnie jak w kolejnych częściach pracy, Autor podzielił to zagadnienie na trzy obszary: rozpoznawanie obiektów na podstawie obrazu, rozpoznawanie obiektów przy użyciu mapy głębi oraz metody sztucznej inteligencji łączące oba te źródła informacji. Rozdział jest interesujący, jednak brakuje w nim szerszej analizy rozwiązań uwzględniających sytuacje nietypowe i anomalie, które są kluczowe dla problematyki rozprawy. Warto było również omówić istniejące podejścia do wykrywania takich

przypadków oraz przybliżyć, jakie nietypowe sytuacje mogą pojawiać się w kontekście pojazdów. W mojej ocenie dodatkowo wzbogaciłoby to analizę i uwydatniło główne obszary rozprawy.

Rozdział szósty, w mojej ocenie, stanowi główny trzon rozprawy i opisuje autorskie rozwiązania mgr inż. Łukasza Karbowiaka. Koncentruje się on na metodach analizy i detekcji zagrożeń w otoczeniu pojazdu. Szczegółowo omówiono tu proces autorskiej adaptacji rozpoznawania obiektów w obrazie, a następnie metodę adaptacji uczenia głębokiego do map głębi. Autor przedstawił również własną adaptację sztucznej sieci neuronowej dla obiektów uzyskanych z fuzji mapy głębi i obrazów. Dodatkowo w rozdziale zawarto rozważania i eksperymenty dotyczące autorskiego algorytmu realizującego system decyzyjny. Warto jednak zauważyć, że przed szczegółowym opisem metody przydatne byłoby wcześniejsze zdefiniowanie rodzaju decyzji podejmowanych przez proponowane rozwiązanie. Takie ujęcie poprawiłoby zrozumienie związku przyczynowo-skutkowego w tej części pracy. Obecnie wygląda to tak, że czytający dochodzi do etapu detekcji obiektów, jednak nie każdy wykryty obiekt stanowi zagrożenie. Wszelkie wątpliwości zostają rozwiane dopiero w punkcie 6.7, czyli na końcu rozdziału 6. W mojej ocenie warto było na początku tej sekcji precyzyjnie określić, czym jest sytuacja nietypowa i jakie zagrożenia Autor zamierza wykrywać. To polepszyłoby narrację i lepiej osadziło analizowane rozwiązanie w kontekście problematyki rozprawy.

Ocena zastosowanego piśmiennictwa

Nie mam uwag krytycznych dotyczących oceny zastosowanego piśmiennictwa, która jest jednym z elementów, jakie niniejsza recenzja powinna uwzględniać. W pracy można zauważyć pojedyncze literówki, jednak przy tak dużej objętości tekstu i liczbie diagramów są one nieliczne i w zasadzie pomijalne. Można również wskazać drobne omyłki oraz sugestie dotyczące usprawnień, które mogłyby poprawić czytelność pracy. Szerzej omówiłem te kwestie w części mojej recenzji poświęconej uwagom krytycznym i dyskusji.

Wskazanie i ocena celu pracy

Rozprawa doktorska autorstwa mgra inż. Łukasza Karbowiaka dotyczy opracowania rozwiązań służących do wykrywania sytuacji nietypowych w obrębie pojazdów z wykorzystaniem obrazów, map głębi oraz fuzji tych danych.

Zagadnienie to wynika bezpośrednio z ogólnej analizy tematu i obserwacji, które pokazują, że wraz ze wzrostem liczby pojazdów rośnie także liczba wypadków. W związku z tym wszelkie rozwiązania mające na celu poprawę bezpieczeństwa użytkowników dróg i pojazdów są nie tylko pożądane, ale i oczekiwane. Z tego względu temat pracy znajduje uzasadnienie również z praktycznego punktu widzenia.

W nawiązaniu do tego problemu, Pan mgr inż. Łukasz Karbowiak koncentruje główną część pracy na kluczowych zagadnieniach, takich jak wykrywanie pieszych czy rowerzystów znajdujących się w otoczeniu pojazdu. Dodatkowo uwzględnia również obecność zwierząt w pobliżu drogi, które mogą stanowić istotne zagrożenie dla bezpieczeństwa ruchu.

W świetle tych zagadnień formułowana jest teza pracy, zgodnie z którą możliwe jest wykorzystanie zsynchronizowanych obrazów oraz map głębi, wspomaganymi metodami sztucznej inteligencji, do pozyskiwania informacji umożliwiających wykrywanie nietypowych sytuacji w otoczeniu pojazdu.

Z postawionej hipotezy wynika sześć celów szczegółowych, które Autor rozprawy zdefiniował jako:

- Opracowanie metod synchronizacji różnych, wielowymiarowych danych pochodzących z odmiennych czujników.
- Opracowanie zbioru danych składającego się z zsynchronizowanych obrazów oraz map głębi.
- Analiza i dostosowanie istniejących architektur konwolucyjnych sieci neuronowych do detekcji nietypowych sytuacji na podstawie obrazów oraz map głębi.

- Przeprowadzenie badań eksperymentalnych mających na celu detekcję nietypowych sytuacji przy użyciu opracowanych modeli sieci neuronowych oraz przygotowanych zbiorów danych, a także analiza procesu ich uczenia i testowania.
- Analiza wpływu rodzaju i wielkości danych uczących na skuteczność działania badanych modeli sieci neuronowych.
- Eksperymentalna ocena skuteczności podejścia opartego na jednej sieci neuronowej przetwarzającej dwa typy danych w porównaniu do podejścia wykorzystującego dwie oddzielne sieci neuronowe, z których każda obsługuje indywidualny typ danych.

W mojej ocenie problem jest trafnie i jasno sformułowany. Precyzyjnie określono wyzwania związane z potrzebą wykrywania sytuacji nietypowych w obrębie pojazdów. Hipoteza jest wyraźnie określona i dobrze koresponduje z celem pracy, co pozwala na jednoznaczne zrozumienie poruszanego w rozprawie problemu badawczego.

Tematyka podjęta przez mgra inż. Łukasza Karbowiaka jest interesująca i uzasadniona w kontekście obecnego stanu wiedzy oraz problemów związanych z bezpieczeństwem uczestników ruchu drogowego. Odpowiada ona także na wyzwania współczesnej informatyki. Szczególnie istotne jest to w obliczu dynamicznego rozwoju technologii sztucznej inteligencji i uczenia maszynowego, które coraz bardziej integrują się z naszym codziennym życiem.

Wskazanie oraz ocena zastosowanych metod badawczych

Przedstawione w rozprawie badania i eksperymenty zostały wykonane rzetelnie, z dbałością o szczegóły. W szczególności Autor rozprawy przygotował zróżnicowany zbiór danych, obejmujący kilkanaście klas różnego rodzaju obiektów, które z dużym prawdopodobieństwem mogą zostać wykorzystane do lepszego i szerszego zrozumienia nietypowych sytuacji występujących w otoczeniu pojazdu. Na załączonych obrazach, licznie występujących w rozprawie, można stwierdzić, że

zbiór danych uwzględnia różnorodne warunki pogodowe i oświetleniowe, co czyni go solidną podstawą do oceny odporności proponowanych rozwiązań.

Jeśli chodzi o ocenę skuteczności działania proponowanych rozwiązań, w mojej ocenie zastosowano klasyczny aparat ewaluacyjny. Autor rozprawy zaznacza, że standardowo podzielił zbiór na testowy i walidacyjny, co jest typowym podejściem. Do oceny skuteczności wykorzystano również standardowe wskaźniki, takie jak Precision, Recall oraz Mean Average Precision przy określonym progu Confidence, szczególnie w kontekście detekcji obrazów. Ponadto, mgr inż. Łukasz Karbowski wykazał się skrupulatnością w analizie różnych aspektów powiązanych z badanym zagadnieniem (np. wydajność rzutu na wdrożenie). Świadczy o kompleksowym podejściu do problemu i jego zrozumieniu.

Całość sprawia, że przedstawione pomysły, badania oraz wyniki przekonują swoją rzetelnością. Ponadto, są również zaprezentowane w sposób klarowny, co pozytywnie wpływa na czytelność pracy.

Ocena omówienia wyników

Otrzymane wyniki zostały dość szczegółowo omówione w rozprawie, szczególnie w kontekście metod detekcji obiektów. Autor w tej części analizuje czułość i precyzję sieci neuronowej dla wybranych obiektów oraz przedstawia macierze pomyłek. Te elementy wyraźnie pokazują, jak skuteczny i odporny jest model dla poszczególnych typów obiektów, powiązanych później z określonymi zagrożeniami. Umożliwia to uczciwą ocenę, czy zastosowanie danego detektora będzie użyteczne w kontekście wykrywania sytuacji nietypowych.

W przypadku detekcji obiektów w mapach głębi wyniki zostały omówione dla wybranych kategorii, takich jak samochody, piesi czy rowerzyści. Autor porównuje różne sieci neuronowe i na tej podstawie podejmuje decyzję, które z rozwiązań najlepiej nadaje się do autorskiej metody dokonującej fuzji mapy głębi z informacjami pochodzącymi z obrazów. W tym kontekście dobór metod detekcji, architektur sieci neuronowych oraz sposobów fuzji jest jasno uzasadniony wynikami. Autor przytacza

również dodatkowe argumenty, które w głównej mierze wynikają ze skuteczności działania poszczególnych rozwiązań.

W mojej ocenie kluczowym elementem analizy wyników jest rozdział 6.7, w którym Autor przedstawia własne algorytmy realizujące system decyzyjny. W tej części wyraźnie ukazane są typy zagrożeń oraz sytuacje nietypowe, które system ma za zadanie wykrywać i alarmować. Wyniki zostały tutaj szczegółowo omówione i poparte licznymi przykładami, ilustrującymi sposób wykrywania obiektów.

Ponadto, widoczne jest zastosowanie map głębi oraz ich rola w korygowaniu potencjalnych niedoskonałości wynikających z wykorzystania wyłącznie informacji pochodzących z obrazów. Dzięki temu czytelnik zyskuje pełniejszy obraz działania systemu oraz jego skuteczności w detekcji zagrożeń i sytuacji nietypowych.

Wyniki przedstawione w tej części nieco różnią się od tych prezentowanych dla detektora obrazów. Autor odnosi się do skuteczności systemu, a odpowiednie wskaźniki jakości są zaprezentowane w tabelach. Pozwala to na zgrubną ocenę efektywności działania systemu w różnych scenariuszach. Wartości skuteczności wahają się w przedziale od 86% do 95%, co świadczy o obiecującej jakości działania systemu w wykrywaniu zagrożeń i sytuacji nietypowych.

Niemniej jednak w tym rozdziale zabrakło mi podejścia do prezentacji wyników podobnego do tego zastosowanego w rozdziale 6.3. Chętnie zobaczyłbym przy ocenie scenariuszy realizowanych przez system decyzyjny dodatkowe wskaźniki jakości, takie jak precyzja, recall czy czułość. Umożliwiłoby to szersze spojrzenie na skuteczność systemu oraz lepsze zrozumienie, jak często generował on fałszywe alarmy w sytuacjach, gdy zagrożenia faktycznie nie występowały. Ten aspekt poruszyłem szerzej w części mojej recenzji poświęconej uwagom krytycznym i dyskusji.

Ocena praktycznego zastosowania

W mojej ocenie praktyczność proponowanego rozwiązania jest jasno przedstawiona w rozprawie. Autor porusza istotny problem bezpieczeństwa uczestników ruchu

drogowego, podkreślając potencjał systemów sztucznej inteligencji oraz systemów wspomaganie kierowcy w poprawie bezpieczeństwa. Praktyczny wymiar pracy został omówiony w kilku rozdziałach, a sam Autor wielokrotnie podkreśla, zwłaszcza w części dotyczącej tezy i celu pracy, że system powinien być możliwy do implementacji w czasie rzeczywistym, głównie na urządzeniach brzegowych. Uważam, że ten cel jest trafny i możliwy do osiągnięcia przy obecnym stanie wiedzy i technologii.

Praktyczność rozwiązania potwierdzają również wyniki, które pokazują, że połączenie informacji z obrazu i lidarów poprawia skuteczność detekcji w wybranych scenariuszach, takich jak ostrzeżenie o obecności zwierząt czy pieszych. Świadczy to o realnym potencjale systemu do zwiększenia bezpieczeństwa na drodze.

W trakcie badań widoczne jest silne ukierunkowanie na szybkość działania rozwiązania oraz analizę czynników negatywnie wpływających na ten element. Świadczy to o tym, że Autor rozprawy konsekwentnie myśli o praktycznym wdrożeniu oraz realnym zastosowaniu proponowanych rozwiązań.

W kontekście dalszych badań Autor wskazuje również na sensowne urządzenia brzegowe, takie jak NVIDIA ORIN, które mają potencjał udźwignięcia obciążenia obliczeniowego, a tym samym umożliwienia praktycznej realizacji opracowanego systemu. To dodatkowo wzmacnia argument o realnych możliwościach wdrożeniowych przedstawionego rozwiązania.

Uwagi krytyczne i dyskusja

Rolą recenzenta jest dostrzeżenie ewentualnych niedociągnięć i mankamentów pracy oraz zgłoszenie uwag, które mogą okazać się pomocne w dalszych badaniach. Wypełniając ten obowiązek, przedstawiam poniżej listę kilku kwestii wartych przedyskutowania, które mogą być interesujące z perspektywy rozprawy.

- A. Jak wspomniałem we wcześniejszej części mojej recenzji, brakuje jasnej definicji lub dedykowanego rozdziału bądź sekcji poświęconej precyzyjnemu określeniu sytuacji nietypowej. Obecnie problem ten jest zarysowany we

wprowadzeniu, w pierwszym rozdziale, jednak uważam, że jednoznaczna definicja oraz klarowne określenie scenariuszy i ich zakresu na początku pracy pozytywnie wpłynęłoby na czytelność rozprawy. W obecnym kształcie czytelnik może początkowo odczuwać pewne zagubienie, widząc detektory różnych obiektów, które nie zawsze bezpośrednio przekładają się na zagrożenie w ruchu drogowym. Przykładowo, samo wykrycie pasów nie musi oznaczać zagrożenia – dopiero zestawienie kilku informacji pozwala na jego identyfikację. Takie podejście zostaje co prawda jasno przedstawione dopiero pod koniec rozdziału 6, w podrozdziale 6.7, co może nieco utrudniać płynność zrozumienia problemu i logiki działania systemu.

- B. Zawartość rozdziału 5 mogłoby być bardziej skorelowana z tytułem i tezą pracy. W szczególności Autor mógł nawiązać do konkretnych aspektów sytuacji nietypowych. W tym rozdziale zakłada się niejako domyślnie, że detekcja obiektów jest równoznaczna z detekcją sytuacji nietypowych. Tymczasem w literaturze istnieje wiele innych podejść do identyfikacji sytuacji nietypowych, takich jak szybkie zbliżanie się do nadjeżdżającego pojazdu, nagła zmiana pasa ruchu czy inne dynamiczne zagrożenia, które w rozprawie nie zostały szczegółowo omówione. Uważam, że uwzględnienie tych aspektów (np. formie przeglądu literatury lub krótkiego omówienia) w rozdziale piątym mogłoby pozytywnie wpłynąć na wartość rozprawy. Dzięki temu czytelnik zyskałby pełniejszy obraz różnych metod identyfikacji sytuacji nietypowych oraz ich zastosowania w praktyce.
- C. W pewnych momentach praca schodzi na bardzo niski poziom aspektów technicznych. Przykładem jest Listing 3.3. Program jest zasadniczo czytelny ale pozbawiony niezbędnej walidacji (np. co stanie się gdy plik będzie uszkodzony, albo czy możliwy jest atak buffer overflow). W mojej ocenie brnięcie w drobne detale implementacyjne może rodzić pytania, które nie są pomocne z punktu widzenia rozprawy.
- D. W kontekście realizowanych prac zastanawiające jest czy wykorzystanie platformy ROS (Robot Operating System) ułatwiłoby (albo wyeliminowało) części prac związanych z synchronizacją.
- E. Podobnie jak wskazałem w ocenie omawianych wyników, zabrakło mi jednolitego podejścia do przedstawienia tabel i wykresów w rozdziale 6 dla różnych autorskich rozwiązań, tj. detekcji obiektów, detekcji obiektów

w mapach głębi oraz detekcji obiektów w procesie fuzji danych. Dla detekcji obiektów szczegółowo przedstawiono różne wskaźniki jakości, co pozwala na dokładną ocenę skuteczności. Jednak w kolejnych częściach rozprawy poziom szczegółowości stopniowo zanika. W tabelach pojawiają się nie do końca jasne pojęcia dotyczące skuteczności – nie wiadomo, czy odnoszą się one do zbalansowanej dokładności, ogólnej dokładności, czy może innego wskaźnika. Myślę, że ten aspekt został niedostatecznie dopracowany z perspektywy przejrzystości rozprawy. Zachowanie spójności w prezentacji wyników we wszystkich podrozdziałach pozwoliłoby na łatwiejsze porównanie skuteczności poszczególnych metod i zwiększyłoby czytelność całej pracy.

Do mniej istotnych uwag natury edytorskiej można zaliczyć drobne niedopatrzenia i pomyłki, które wymieniłem w poniższej liście. Biorąc pod uwagę dużą ilość tekstu (oraz liczne diagramy i tabele) jest ich naprawdę niewiele.

1. Spis skrótów, akronimów i oznaczeń poprawiłby czytelność pracy.
2. Niektóre rysunki mogłyby być lepiej opisane albo zawierać bardziej precyzyjny tytuł (np. Rys. 4.3 - Opis mógłby zawierać informacje co oznaczają poszczególne kolory)
3. Niektóre wizualizacje pochodzące z LiDAR-u są mało czytelne w druku (Rys. 4.4)
4. Dla wykresów 6.4 i 6.5 uważam, że przejście z mikrosekund na milisekundy przy prezentacji opóźnień poprawiłoby ich czytelność.
5. Rysunek 6.24 nie zawiera opisu osi, co utrudnia jego interpretację.
6. W niektórych miejscach w rozprawie stosowane są skrótowe sformułowania, które mogą prowadzić do nieścisłości. Przykładowo, liczba klatek na sekundę jest określana mianem przepustowości, co może być mylące, ponieważ termin ten częściej odnosi się do przepływu danych w systemach komunikacyjnych. Ujednolicenie terminologii i doprecyzowanie używanych pojęć poprawiłoby klarowność tekstu.
7. Opis tabel 6.5 i 6.6 mógłby być bardziej precyzyjny. Brakuje w nim kluczowych informacji, takich jak dokładne określenie prezentowanej miary procentowej. Nie jest jasne, czy przedstawione wartości odnoszą się do dokładności, precyzji, czułości, czy innego wskaźnika.

Pomimo przedstawionych powyżej zagadnień, rozprawa mgr inż. Łukasza Karbowiaka, dowodzi dużej wiedzy Autora w zakresie zagadnień związanych z dyscypliną oraz potwierdza jego kompetencje w tworzeniu opracowań naukowych.

Ocena oryginalności postawionego problemu

Jak podkreślił Pan mgr inż. Łukasz Karbowiak, rozwiązanie przedstawionego w rozprawie problemu wymagało opracowania oryginalnych metod detekcji obiektów w otoczeniu pojazdu. W tym kontekście precyzja i niezawodność takiego rozwiązania są niezwykle istotne, ponieważ bezpośrednio wpływają na bezpieczeństwo uczestników ruchu.

W mojej ocenie Autor rozprawy dowiódł słuszności postawionej tezy, wykazując, że wykorzystanie zsynchronizowanych obrazów oraz map głębi może skutecznie wspomagać wykrywanie nietypowych sytuacji w otoczeniu pojazdu. Wyniki przedstawione w pracy potwierdzają, że integracja tych danych z metodami uczenia maszynowego poprawia skuteczność detekcji oraz umożliwia bardziej precyzyjną analizę sytuacji na drodze.

W mojej ocenie, oryginalnym jest:

- mechanizm ostrzegania kierowcy, który, wykorzystując detekcję obiektów w obrazie oraz mapy głębi, generuje odpowiednie powiadomienia i ostrzeżenia.
- modyfikacja sieci neuronowej Frustum PointNet oraz jej architektury, wykorzystanej do fuzji danych z różnych źródeł.
- Adaptacja różnych sieci neuronowych (np, YOLO7, PointRCNN) do zagadnień związanych wykrywaniem nietypowych sytuacji w otoczeniu pojazdu.
- Opracowanie systemu synchronicznej akwizycji danych, który umożliwił stworzenie kompleksowego rozwiązania do zapisu zsynchronizowanych danych z wielu czujników.

Ocena wiedzy teoretycznej Autora

Uważam, że Autor rozprawy posiada dużą wiedzę teoretyczną w zakresie zagadnień związanych z pracą. Szczególnie widoczne jest to w rozdziałach dotyczących synchronizacji i akwizycji danych, gdzie wykazuje zarówno dogłębną znajomość teoretyczną, jak i praktyczne umiejętności tworzenia takich rozwiązań.

Ponadto, w rozdziałach poświęconych uczeniu maszynowemu widać, że Autor dobrze rozumie tematykę i ma świadomość ograniczeń poszczególnych metod (kwestie oświetlenia, złożoność obliczeniowa, itd.). W mojej ocenie, Pan mgr inż. Łukasz Karbowski potrafi podejść do tych kwestii eksperymentalnie, dokonując pomiarów i analizy skuteczności różnych podejść. Świadczy to o jego kompetencjach zarówno w zakresie teorii, jak i praktycznej weryfikacji skuteczności proponowanych rozwiązań.

Wniosek

Przedstawiona przez mgr. inż. Łukasza Karbowskiego rozprawa doktorska w dyscyplinie informatyka techniczna i telekomunikacja spełnia wymagania określone w obowiązujących przepisach. W związku z tym wnioskuję o dopuszczenie jej do publicznej obrony.