



Dr hab. inż. Adrian Kliks, prof. uczelni
Instytut Radiokomunikacji
Wydział Informatyki i Telekomunikacji
Politechnika Poznańska

S E R P O Z N A Ń 15 stycznia 2024 r.
Rady Dyscypliny AEEITK

19. 01. 2024

Wpłynęło dnia

Zarejestrowano pod nr

Podpis *dm*

**RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ DLA RADY DYSCYPLINY
AUTOMATYKA, ELEKTRONIKA, ELEKTROTECHNIKA I TECHNOLOGIE KOSMICZNE
AKADEMII GÓRNICZO-HUTNICZEJ IM. STANISŁAWA STASZICA W KRAKOWIE**

Tytuł rozprawy: „Zagęszczanie map głębi dla radarów FMCW”

Tytuł rozprawy w języku angielskim: „Depth Completion for FMCW Radars”

Autor rozprawy: mgr inż. Mariusz NOWAK

Promotor: dr hab. inż. Paweł SKRUCH, prof. AGH

Dyscyplina: Automatyka, elektronika, elektrotechnika i technologie kosmiczne

Język rozprawy: angielski

Informacje wstępne

Niniejsza recenzja rozprawy doktorskiej została wykonana na podstawie uchwały Rady Dyscypliny Automatyki, Elektroniki, Elektrotechniki i Technologii Kosmicznych Akademii Górniczo-Hutniczej im. Stanisława Staszica w Krakowie z dnia 26 października 2023 r. oraz pisma przewodniego z dnia 27 października 2023 r. Przedmiotem recenzji jest rozprawa doktorska pt. „Zagęszczanie map głębi dla radarów FMCW” autorstwa p. mgr. inż. Mariusza NOWAKA, realizowana w Akademii Górniczo-Hutniczej im. Stanisława Staszica w Krakowie, której kierownikiem naukowym i promotorem jest p. dr hab. inż. Paweł SKRUCH, prof. AGH. Rozprawa została zgłoszona jako zrealizowana w dyscyplinie „automatyka, elektronika, elektrotechnika i technologie kosmiczne” i w odniesieniu do tej dyscypliny była ona oceniona. Pracę doktorską przygotowano w języku angielskim.

1. Ocena tytułu rozprawy

Tytuł rozprawy jest zwięzły i we właściwy sposób przedstawia zakres prac badawczych przeprowadzonych przez Kandydata, p. mgr. inż. Mariusza NOWAKA.

2. Ocena układu rozprawy, w tym informacje o jej poszczególnych częściach składowych

Pomijając streszczenie przedłożona praca doktorska składa się z ośmiu rozdziałów, w których Autor przedstawia kolejno:

- w rozdziale pierwszym – wstęp i tezę pracy,

Kliks

- w rozdziale drugim – przegląd istniejących rozwiązań w zakresie urządzeń i narzędzi stosowanych w motoryzacji, pozwalających na określanie odległości do celu i szerzej – map głębi,
- w rozdziale trzecim – zagadnienia związane z autorskim rozwiązaniem pozwalającym na addytywne zniekształcanie wag w trakcie szkolenia sieci neuronowej,
- w rozdziale czwartym – propozycję autorskiej sieci neuronowej *WeaveNet* pozwalającej na zagęszczanie map głębi w sytuacji zmiennej gęstości wejściowych punktów głębokości,
- w rozdziale piątym – rozwiązanie pozwalające na określenie kąta do odległych celów,
- w rozdziale szóstym – przygotowany zestaw danych stosowany do szkolenia i walidacji algorytmów,
- w rozdziale siódmym – zaprojektowaną architekturę sieci neuronowej zdolnej do przekształcenia wejścia bloków *Radar Data Cubes* (RDC) w abstrakcyjne kanały w płaszczyźnie azymut-elewacja oraz do łączenia tych danych z obrazami z kamery RGB w celu zagęszczania map głębi,
- w ostatnim rozdziale – podsumowanie osiągniętych rezultatów pracy badawczej.

Zaproponowany układ jest przejrzysty i pozwala na łatwe zrozumienie kolejno przedstawianych autorskich rozwiązań, stanowiących elementy składowe architektury końcowej.

3. Ocena zastosowanego piśmiennictwa. 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?

W swojej pracy Autor z różnych perspektyw podejmował temat badawczy tworzenia gęstych map głębi bazując na bardzo rzadkich danych wejściowych. W tym kontekście warto podkreślić, że zaproponowane przez Kandydata rozwiązania były poprzedzone dokładną analizą istniejących rozwiązań z badanego zakresu. Świadczy to o poprawnym, metodycznym podejściu do problemu badawczego. Dodatkowo podczas wyjaśniania motywacji do podjęcia takiego a nie innego tematu badawczego, ale również w rozdziale drugim, Autor przypominał podstawowe pojęcia i zagadnienia z zakresu techniki radarowej i tworzenia map głębi, pozwalając czytelnikowi na łatwe zrozumienie diskutowanych później rozwiązań. Kandydat przedstawił także istniejące rozwiązania praktyczne stosowane w motoryzacji, takie jak wspomniane już radary FMCW oraz lidary. Oznacza to w ogólności, że autorskie propozycje zostały poprzedzone analizą obecnego stanu wiedzy oraz techniki. To w konsekwencji dowodzi, że p. Mariusz NOWAK posiada gruntowną wiedzę teoretyczną i praktyczną w obszarze prowadzonych badań. Warto podkreślić, że analiza została wykonana w sposób prawidłowy i przejrzysty, pozwalając czytelnikowi na właściwe umiejscowienie proponowanych rozwiązań w nurcie prowadzonych prac na arenie międzynarodowej.

Przedstawiony przez Kandydata spis wykorzystywanych źródeł i publikacji naukowych jest wyczerpujący – składa się na niego razem 120 pozycji. Pewnym niedociągnięciem jest pozostawienie w spisie literaturowym (w relatywnie sporej liczbie) odniesień do pozycji z repozytorium typu arXiv. Samo w sobie korzystanie z takich danych jest wskazane i naturalne, jednak w kontekście publikacji naukowych odwoływanie się do takich źródeł jest często niedopuszczalne (np. w wielu redakcjach z czasopism naukowych) lub budzi wątpliwości (z racji możliwości łatwej podmiany czy usunięcia materiału oraz możliwości umieszczenia w archiwum prac, które albo nie były recenzowane albo pochodzą z wczesnego etapu procesu recenzyjnego). Autor rozprawy powinien w miarę możliwości zadbać, aby uzyskać pełne dane

bibliograficzne do ostatecznych wersji publikacji i dodać je do istniejących odniesień. Brak wskazania takich źródeł nie pozwala w prosty sposób obiektywnie określić jakości materiałów źródłowych, z których korzystał Kandydat. Dodatkowo, relatywnie spora część odniesień literaturowych nie ma pełnych danych, które pozwalałyby na bezproblemowe odnalezienie źródła. W przypadku korzystania z materiałów zarówno drukowanych, jak i elektronicznych, zaleca się podawanie także numerów DOI lub równoważnych.

4. Wskazanie oraz ocena celu pracy. 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)?

Tematyka rozprawy doktorskiej dotyczy zagadnień związanych ze zbadaniem wykonalności zagęszczania map głębi w sytuacji, kiedy dostępne są tylko bardzo rzadkie pomiary głębokości. Celem takiego działania jest więc uzyskanie gęstej mapy głębi bazując na rzadkich pomiarach głębokości, co w konsekwencji pozwalałoby na uzyskanie dokładnych obrazów (porównywalnych z tymi uzyskiwanymi w przypadku zastosowania lidarów) znacznie mniejszym kosztem. Opierając się na dostępnych w motoryzacji i relatywnie tanich radarach z falą ciągłą z modulowaną częstotliwością (ang. *Frequency Modulated Continuous Wave*, FMCW) możliwe byłoby wytworzenie dokładnych map głębi, istotnych z perspektywy rozwoju motoryzacji. Autor pracy założył tutaj wykorzystanie algorytmów uczenia maszynowego (głównie sieci neuronowych) w celu stworzenia z dostępnych danych wejściowych ustrukturyzowanych w bloki RDC dokładnych map głębi. W tym kontekście Autor stawia w pracy następujące dwie tezy badawcze:

- Teza A: Sygnał wyjściowy radaru FMCW niskiego poziomu można przetwarzać w taki sposób, aby uzyskać gęstą mapę głębokości (dosłownie: „*Low-level FMCW radar output can be processed in such a way, that a dense depth map is produced*”)
- Teza B: Model łączący sygnał wyjściowy radaru FMCW niskiego poziomu z obrazami z kamer może zapewnić wyższą jakość mapy głębi niż analogiczny model wykorzystujący wyłącznie obrazy z kamer (dosłownie: „*A model fusing low-level FMCW radar output with camera images can produce a higher quality depth map than an analogous model utilizing only camera images.*”)

Przedstawione tezy są omawiane jednocześnie (tzn. nie ma oddzielnych sekcji pracy przypisanych do poszczególnej tezy), a Autor w sposób stopniowy wprowadza w kolejnych rozdziałach nowe zagadnienia prowadzące do udowodnienia poprawności tych tez. Uważam, że zarówno cel pracy, jak i tezy badawcze zostały wyjaśnione przez Kandydata w sposób przejrzysty i konkretny. Warto podkreślić, że praca ma charakter koncepcyjno-eksperymentalny, co na pewno stanowi jest istotny walor.

5. Wskazanie oraz ocena zastosowanych metod badawczych. Czy Autor rozwiązał postawione zagadnienia, czy użył właściwej do tego metody i czy przyjęte założenia są uzasadnione?

W odniesieniu do postawionych tez dotyczących zagęszczania map głębi uważam, że przyjęte założenia badawcze są słuszne i w pełni uzasadnione. Świadczą one o dużej wiedzy praktycznej Autora rozprawy. Również zaproponowana metodologia badawcza zastosowana do rozwiązania poszczególnych problemów składowych pozwala stwierdzić, że uzyskane rezultaty są wiarygodne. W pracy oparto się na wykorzystaniu metod sztucznej inteligencji do osiągnięcia zamierzonego efektu (zagęszczenie map głębi) i w mojej opinii, każdorazowo wybrane podejście (algorytm, model, sposób uczenia) jest właściwe. Także sposoby

trenowania, walidacji i testowania jako takie nie budzą wątpliwości. Również wybór źródła danych źródłowych jest poprawny.

Jedynie uwagi, jakie można podnieść w kontekście zastosowanej metodologii, dotyczą wybranego rozwiązania referencyjnego. Na pewno właściwe jest zastosowanie jako odniesienie obrazów pochodzących z lidarów. Według Autora w proponowanym rozwiązaniu całościowym (opisanym w rozdziale 7) występują duże i bardzo istotne różnice względem innych rozwiązań istniejących obecnie, co utrudnia ich porównanie. Obserwacja ta, chociaż prawdziwa, nie powinna być jednak powodem do braku porównania z innymi, całościowymi rozwiązaniami. Być może wymagałoby to zdefiniowania jakiegoś specyficznego scenariusza lub przypadku testowego. Niemniej z perspektywy metodologii bardzo ciekawe byłoby zestawienie pokazujące zarówno efekt działania proponowanego przez Autora rozwiązania całościowego z innym zbliżonym, gdzie poza np. jakością uzyskanej mapy głębi czy typowymi miarami numerycznymi porównano by inne aspekty (np. wykorzystanie RDC lub brak takiego wykorzystania, złożoność obliczeniowa, występujące opóźnienia, prostota w dostosowaniu istniejących rozwiązań w motoryzacji do proponowanej modyfikacji).

Podobny problem występuje zresztą nie tylko w odniesieniu do proponowanego rozwiązania całościowego, ale także do poszczególnych jego składowych. W szczególności widoczny jest brak stosownego porównania propozycji Autora z innymi znanymi z literatury w kontekście określania kąta do odległych celów.

Pomimo tych braków w całościowym ujęciu przyjęta metodologia i założenia są właściwe.

6. Omówienie wyników badań przez Autora. Czy Autor wykazał umiejętność poprawnego i przekonującego przedstawienia uzyskanych przez siebie wyników?

Ze względu na zaproponowaną strukturę pracy (składającą się z kolejnych rozdziałów, w których Autor przedstawia swoje oryginalne rozwiązania), w prawie każdej części dysertacji następuje omówienie uzyskiwanych wyników. Każdorazowo analiza ta jest metodycznie poprawna, a Autor stara się dokładnie przeanalizować pokazywane rezultaty. Wysnuwane wnioski są w większości przypadków właściwe i nie budzą wątpliwości (niewielkie uchybienia w tym obszarze zostały przedstawione zbiorczo w kolejnych punktach recenzji). Choć omówienie jest poprawne, to jednak nie zawsze ma ono charakter wyczerpujący i wystarczająco wnikliwy; dość łatwo zauważyć można różnego rodzaju trendy (np. na wykresach) czy ciekawe wyniki, których Autor nie omawia (przykłady takich obserwacji są także przedstawione w kolejnych punktach recenzji). Obserwacja ta nie wpływa jednak na ogólny wniosek, że p. mgr inż. Mariusz NOWAK w sposób właściwy dokonuje analizy uzyskanych wyników i poprawnie wysnuwa z nich wnioski i konkluzje.

Analizując sposób przedstawienia swoich osiągnięć należy jeszcze raz podkreślić bardzo dobrą strukturę rozprawy. Założenia prowadzonych prac badawczych zostały przedstawione w sposób czytelny, wprowadzenie do problematyki naukowej także nie budzi wątpliwości. Myśli formułowane przez Doktoranta są w sposób czytelny i zwięzły. Prezentowane wyniki w postaci wykresów i rysunków są w ogólności czytelne, a ich opis jest przeważnie wystarczający do zrozumienia ich znaczenia.

7. Informacje dotyczące praktycznego zastosowania uzyskanych wyników badań

Praca doktorska p. mgr. inż. Mariusza NOWAKA ma zdecydowanie charakter praktyczny i implementacyjny, co stanowi jej istotny walor. Według mojej oceny, przedstawione wyniki

zdecydowanie świadczą o możliwości zastosowania w praktyce zaproponowanych rozwiązań. Oczywiście, droga do ich ewentualnego wdrożenia wymagałaby prawdopodobnie wielu długotrwałych badań w różnorodnych warunkach i dla wielu występujących w praktyce ograniczeń (np. sprzętowych), niemniej jednak wyniki przedstawione w rozprawie wskazują na wysoki potencjał praktyczny rozwiązania.

8. Jakie są nieprawidłowości w rozprawie? Jakie są słabe strony rozprawy i jej główne wady?

Jak wspomniano we wcześniejszych fragmentach recenzji, pewnych wyjaśnień lub komentarzy wymaga kilka kwestii, które wymieniam poniżej (uszeregowane są one według pojawienia się danych zagadnień w pracy, nie ze względu na ich istotność):

- a) Mało przekonująca jest motywacja podjęcia się zagadnienia – Autor jako pierwszy powód wskazał trudność zagadnienia („The first reason is that the task is ambitious”). Wydaje się, że trudność rozwiązania problemu badawczego może określać jego cechę, ale nie powinna być celem samym w sobie. Cel i powód powinny być, według mnie, bardziej konkretne. Dodatkowo w kontekście realizacji jakiegokolwiek pracy badawczej cel naukowy nie powinien być trywialny, inaczej nie stanowiłby podstawy do uznania znaczącego wpływu proponowanych rozwiązań w dziedzinie. Praca doktorska Kandydata w istocie jest solidna i ma bardzo precyzyjnie określone zagadnienia badawcze i z tej perspektywy traktuję uzasadnienie motywacji podjęcia badań bardziej jako niefortunny zwrot czy skrót myślowy.
- b) Nie jest jasny cel porównania wyników interpolacji proponowanego rozwiązania z interpolacją NN czy liniową (rysunek 1.4). Uzyskane wyniki dla tych ostatnich są typowe dla tych właśnie metod i raczej świadczą – co jest do przewidzenia – że nie nadają się one do takiego zastosowania przy niewielkiej liczbie punktów. Nie mogą więc, i nie powinny nawet, być traktowane jako jakiegokolwiek odniesienie, bo po prostu – mówiąc kolokwialnie – się do tego celu nie nadają. Wartościowe byłoby za to ich porównanie z innymi, bardziej zaawansowanymi rozwiązaniami i wskazanie, że to autorskie jest w jakichś aspektach lepsze. Fakt, że proponowane rozwiązanie ma lepsze rezultaty od metod, które nie powinny być w takim kontekście używane, nie wnosi według mnie wiele do rozprawy. Chyba, że cel takiego porównania wstępnego był inny.
- c) Jak już wspomniano, w części cytowanych prac brak poprawnych (kompletnych) danych bibliograficznych.
- d) Odnośnie pierwszego akapitu w rozdziale 2.2.2.1, czy obserwuje się także negatywny wpływ interferencji (np. od innych radarów motoryzacyjnych), a jeżeli tak, to jak należy oszacować wpływ tego zjawiska?
- e) Podczas tworzenia/wykorzystania RDC Autor wskazuje, że stosuje próg dla metody CFAR. Zabrakło precyzyjnego wyjaśnienia, dlaczego akurat prawdopodobieństwo fałszywego alarmu ma być ustalone (nie mam tutaj na myśli, że jest to źle, jednak brak odpowiedniego uzasadnienia). Nie podano także, jak liczony jest próg CFAR („a CFAR threshold is chosen” – jak wybrano ten próg i jakie jest matematyczne uzasadnienie takiego progu). Nie wskazano także, jak liczona jest moc w tym procesie (czy jest to wartość chwilowa, maksymalna, uśredniona, a jak tak to w jakim czasie itd.).
- f) Na rysunku 2.8 zabrakło opisu (wskazówki), jak Autor rozumie słowo „bins” oraz czy i jak należałoby je przeliczyć na wartości mierzalne; nie wskazano także jakie jest znaczenie kolorów.
- g) Na rysunku 3.1 bardzo zastanawiające jest występowanie powtarzalnego wzorca (pomiędzy każdymi dwoma niskimi wartościami odnaleźć można prawie taki sam schemat zachowania się funkcji); jakie są przyczyny takiego zachowania?

- h) Analogicznie, analizując rysunki 3.3 i 3.4 można zauważyć pewne ciekawe trendy – dlaczego dla np. dwóch neuronów dla odchylenia standardowego $10^{-4}/10^{-3}$ obserwujemy istotną zmianę entropii (spadek) i dokładności (wzrost), aby dla wartości 10^{-2} obserwować chwilową zmianę tego trendu; podobnie można zauważyć takie zachowanie dla wartości 10^{-9} w przypadku 32 neuronów; zjawisko to w zasadzie niewiele zmienia się dla różnej liczby epok.
- i) Parametry eksperymentu w rozdziale 3.5.1 powinny być podane precyzyjnie, a nie ogólnie w postaci np. „smaller learning rate”; dobrym rozwiązaniem byłaby być może odpowiednio przygotowana tablica numeryczna.
- j) W odniesieniu do sieci *WeaveNet* czy wspomniane kanały mają jakieś fizyczne znaczenie; jak powinny być interpretowane?
- k) W rozdziale 4.3.3. bardzo przydatny byłby precyzyjny schemat blokowy, na którym przedstawione byłyby poszczególne bloki i ich rozmiary.
- l) Tabele 4.1 i 4.2 – zaproponowane rozwiązanie jest lepsze w kryterium MAE, czy inne kryteria pokazują taką samą zależność? Dodatkowo zaproponowana sieć ma gorsze wyniki niż algorytmy porównawcze (tabela 4.2). Z czego to wynika, skoro w tabeli 4.1 wyniki są takie dobre? Czy to oznacza, że alternatywne rozwiązania w korzystniejszy sposób dostępną informację RGB?
- m) Jaka jest rola częstości omega w równaniu 5.2.3 i jak tłumaczyć jej brak w dalszej części analizy?
- n) Czy analizując wykres 5.3 (i dalsze) można stwierdzić, że błąd w ocenie kąta jest jednak dość duży (spore prawdopodobieństwo wartości np. równej 10 stopni lub więcej)?
- o) Rysunek 5.7 (prawy) – prośba o wyjaśnienie, dlaczego wykresy mają charakter rosnący dla większych wartości amplitudy słabego sygnału. Nie jest też przekonujące wyjaśnienie z ostatniego zdania w rozdziale 5.4, bowiem trend jest widoczny dla wszystkich układów antenowych.
- p) W odniesieniu do całego rozdziału 5 brakuje eksperymentów z np. wieloma ścieżkami oraz porównania z innymi alternatywnymi metodami z literatury.
- q) Dlaczego na rysunkach 6.7 oraz 6.8 występuje trend rosnący dla argumentów od około 200 w górę (dla pomarańczowej oraz niebieskiej linii nawet wcześniej)? Z czego to wynika i jaki ma wpływ na uzyskiwane wyniki?
- r) Czym jest zmienna y w równaniu 7.3.3? Dlaczego wybrano akurat taki współczynnik uczenia jak podano w równaniu 7.3.1 (chodzi o uzasadnienie)?
- s) W analizie całościowego rozwiązania wybrano albo 6 albo 8 bloków RDC. Z czym wiązałoby się wykorzystanie większej liczby takich bloków (większej niż 8)? Jaki jest wymierny koszt zwiększenia liczby bloków z 6 do 8?
- t) Na rysunku 7.21 dla pewnych wartości wykorzystanie 3 bloków RDC jest korzystniejsze niż wykorzystanie 4 bloków, później ta zależność ulega zmianie. Jak należy tłumaczyć takie zachowanie?
- u) W nawiązaniu do wcześniejszych uwag, ciekawe byłoby całościowe porównanie (z wielu perspektyw) przedstawionego rozwiązania z innymi omawianymi w literaturze.
- v) W zakończeniu pracy zabrakło jasno sprecyzowanych dalszych kierunków potencjalnych badań.
- w) W pracy zabrakło pogłębionej dyskusji, jaki może być wpływ czynników zewnętrznych (np. zmiennych warunków pogodowych, pory dnia, różnego rodzaju oświetlenia, itp.) na działanie proponowanego algorytmu, który wykorzystuje także dane z kamery. Czy istnieją jakieś mierzalne parametry, jakieś czynniki – ogólnie kryteria, które pozwalałyby stwierdzić, że stosowanie proponowanego rozwiązania pozwalającego na zagęszczanie map głębi dla radarów FMCW bez stosowania kamery będzie np. bardziej wiarygodne, po prostu lepsze.

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

Autor precyzyjnie wskazał na proponowane przez niego rozwiązania i – jak wspomniałem wcześniej – poprawnie umiejscowił je względem rozwiązań znanych już z literatury. Należy tutaj wskazać:

- a) algorytm addytywnego „zaszumiania” wag w trakcie szkolenia sieci neuronowej – jest to ciekawa propozycja, która stanowi alternatywę dla np. wspomnianej metody *lottery ticket*, nie zmieniając jednocześnie sposobu korzystania z GPU (innowacja zaprezentowana w trzecim rozdziale pracy),
- b) autorską propozycję sieci *WeaveNet*, zaprojektowaną w celu zagęszczenia map głębi, w której zastosowano m.in. operację splotu z użyciem dużego jądra i małej liczby kanałów (ustawionych „w poprzek” do siebie); metoda została zaproponowana na bazie innych rozwiązań i stanowi względem nich interesującą propozycję; sieć *WeaveNet* to istotny element architektury kompletnego rozwiązania przedstawionego przez Autora w ostatnim rozdziale pracy (innowacja zaprezentowana w czwartym rozdziale pracy),
- c) metodę znajdowania kątów do dalekich celów, będącą w istocie ciekawym, ale jednocześnie dość niewielkim rozwinięciem innych rozwiązań z literatury (innowacja zaprezentowana w rozdziale piątym pracy),
- d) przygotowany przez Kandydata zestaw danych używanych do szkolenia i weryfikacji poprawności algorytmów (innowacja zaprezentowana w rozdziale szóstym pracy),
- e) całościowe podejście do zagadnienia zagęszczania map głębi bazujące na danych RDC i korzystających z wcześniej zaproponowanych autorskich rozwiązań; propozycja ta, zaprezentowana w siódmym rozdziale pracy, stanowi według mnie najważniejsze i bardzo istotne osiągnięcie Autora, stanowiące duży wkład w dyscyplinę.

Przedstawione w dysertacji innowacje i unowocześnienia stanowią podstawę do stwierdzenia, że Doktorant z sukcesem udowodnił poprawność przedstawionych przez siebie tez.

Należy jednak w tym miejscu wspomnieć o pewnym braku w obszarze przedstawiania swoich rozwiązań w postaci publikacji oraz prezentacji naukowych. Autor pracy doktorskiej wskazał tylko na trzy publikacje związane z omawianym w dysertacji zagadnieniem. Jedna z prac jest wyłącznie autorstwa p. mgr. inż. Mariusza NOWAKA, druga – już opublikowana – posiada drugiego autora. W trakcie złożenia omawianej pracy doktorskiej, trzecia publikacja nie miała statusu pracy opublikowanej. Relatywnie niewielka liczba prac, w których Autor przedstawia swoje rozwiązania, to na pewno słabszy aspekt całej pracy.

10. Czy rozprawa doktorska prezentuje ogólną wiedzę teoretyczną Kandydata do stopnia doktora w dyscyplinie oraz umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej?

Dogłębna analiza zaproponowanych w pracy autorskich rozwiązań Kandydata na tle omawianych propozycji znanych z literatury światowej świadczą pozwalają mi na stwierdzenie, że p. mgr inż. Mariusz NOWAK prezentuje wysoki poziom wiedzy ogólnej w omawianej dyscyplinie. Wykorzystana metodologia, zaproponowane nowe metody, przeprowadzone poprawnie badania symulacyjno-eksperymentalne oraz uzyskane wyniki stanowią potwierdzenie umiejętności prowadzenia samodzielnej pracy naukowej. Świadczy o tym pośrednio także fakt jednej autorskiej publikacji naukowej.

KL.65

11. Jaka jest przydatność rozprawy dla nauk technicznych?

Pomimo przedstawionych mankamentów wysoko oceniam przydatność opisywanych w pracy rozwiązań dla nauk technicznych, głównie ze względu na aplikacyjny charakter pracy. Przedstawione metody zastosowania algorytmów sztucznej inteligencji do zagęszczania map głębi zostały przebadane eksperymentalnie. Stanowi to więc istotny wkład w rozwój dyscypliny.

12. 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

Podsumowując swoją recenzję uważam, że praca – choć niepozbawiona pewnych niedociągnięć przedstawionych wcześniej – spełnia z wyraźnym nadmiarem wymagania stawiane rozprawom doktorskim. Stanowi ona istotny wkład w rozwój techniki w ramach dyscypliny „automatyka, elektronika, elektrotechnika i technologie kosmiczne”. Wnoszę także o dopuszczenie do publicznej obrony przedstawionej rozprawy.

Adrian KLIK

Dr hab. inż. Adrian KLIK, prof. PP