

Kraków, 15 września 2021 r.

Profesor dr hab. inż. Krystian Pyka
Wydział Geodezji Górniczej i Inżynierii Środowiska
AGH w Krakowie

**Recenzja¹ pracy doktorskiej mgr inż. Magdaleny Pilarskiej-Mazurek
„Opracowanie metodyki korekcji intensywności sygnału
z lotniczego skanowania laserowego
w celu poprawy rozpoznawania pokrycia terenu”**

Ocena układu pracy doktorskiej

Praca doktorska mgr inż. Magdaleny Pilarskiej-Mazurek ma formę książki o formacie A5/C5, razem ze spisem literatury i spisem rycin i tabel zajmuje 145 stron, jest bogato ilustrowana. Dysertacja została podzielona na 8 rozdziałów tematycznych oraz bibliografię liczącą 70 pozycji.

Rozdział 1 obejmuje wprowadzenie, tezę, cel i zakres pracy. W trzech kolejnych rozdziałach Doktorantka przedstawiła tło rozwiązywanego w dysertacji problemu. Autorka wnikliwie przeanalizowała literaturę, opisała zasady skanowania laserowego, główne kierunki wykorzystania intensywności odbicia impulsów laserowych oraz wcześniejsze badania dotyczące korekcji intensywności powracającego sygnału w tym nieliczne skupione na korekcji wielokrotnych odbić, wskazując zalety i wady stosowanych metod.

Rozdział 5 choć najkrótszy to jednak ma kluczowe znaczenie dla dysertacji, gdyż przedstawia zarys proponowanej przez Autorkę metodyki korekcji intensywności wielokrotnych odbić oraz plan i zasady prac badawczych. W następnym rozdziale przedstawiona jest realizacja zaproponowanej metodyki oraz zestawione są wyniki badań. Rozdział 7 stanowi dyskusję uzyskanych wyników, całość merytoryczną zamyka podsumowanie z wnioskami.

Moim zdaniem rozdział 5 i pierwsza część rozdziału 6 mogłyby być połączone, co by wyraźnie oddzieliło metodykę od jej aplikacji na konkretnych danych. Lepiej byłoby też, gdyby w rozdziale 5 były skupione wszystkie informacje związane z koncepcją metody korekcji intensywności odbić wielokrotnych. Część z nich jest podana w rozdziale 4, gdzie przykładowo Autorka podała informację, że metoda korekcji odbić wielokrotnych nie będzie uwzględniała rodzaju drzew.

Te uwagi nie zmieniają mojej ogólnej oceny, że struktura jest przejrzysta, dobrze dostosowana do tematu. Praca charakteryzuje się staranną stroną graficzną - wykresy, diagramy, tabele są informatywne i estetyczne, co rzadko kiedy udaje się osiągnąć jednocześnie.

Tytuł byłby precyzyjniejszy gdyby zawierał informację, że chodzi o korekcję wielokrotnych

¹ Recenzja została wykonana na podstawie uchwały z 6 lipca 2021 Rady Naukowej Dyscypliny Inżynieria Lądowa i Transport Politechniki Warszawskiej

odbić. Zdaję sobie sprawę, że bardzo trudno jest sformułować temat który jest w pełni ścisły i w miarę krótki.

Znaczenie rozwiązywanego problemu naukowego

Dane ze skanowania laserowego są stosowane głównie do modelowania 3D. Skanery wielospektralne (w badaniach był używany skaner 2 kanałowy), rozszerzają zakres wykorzystania danych do analizy rodzaju pokrycia terenu. Należy oczekiwać stopniowego zwiększania liczby rejestrowanych zakresów spektralnych, co pozwoli wykorzystać metody przetwarzania stosowane dla obrazów wielospektralnych.

Tereny pod drzewami są trudno dostępne dla zdalnych metod monitoringu pokrycia terenu. Przewaga skaningu nad fotogrametrią polega m.in. na tym, że sygnał laserowy potrafi w części dotrzeć do terenu pod drzewami, nawet w okresie pokrycia liśćmi. Ta zaleta skaningu jest szeroko znana ale była do tej pory wykorzystywana głównie do pomiarów wysokości pikiet zlokalizowanych na terenie a pod koronami drzew. Natomiast badanie w jakim stopniu traci energię wiązka odbita od korony ale pomimo tego przechodząca dalej jest zagadnieniem wysoce specjalistycznym, niezmiernie złożonym a dostrzeganym przez niewielką część użytkowników danych z lotniczego skanowania laserowego. Ale waga problemu jest ogromna, gdyż wzmacnia potencjał klasyfikacji pokrycia terenu obszarów pod koronami drzew.

Monitoring pokrycia terenu właśnie w obszarach pod drzewami to nie tylko kwestia poprawy jakości map użytkowania i pokrycia terenu. Korzyści należy dostrzegać na innych polach eksploatacji danych przestrzennych, w tym dla potrzeb detekcji powierzchni nieprzepuszczalnych oraz monitoringu rozwoju roślin zacienionych. Te zagadnienia są niezwykle istotne dla działań które mają poprawiać warunki życia w miastach.

Ocena metody badawczej oraz sposobu przeprowadzenia badań i uzyskanych wyników

Badania miały charakter empiryczny, doświadczenia były wykonane na polach testowych zarejestrowanych przez skaner dwukanałowy. Dla zebranych danych analizowana była skuteczność sześciu metod korekcji odbić wielokrotnych. Zostały wykorzystane metody podane przez innych autorów, przy czym w większości przypadków były one wcześniej stosowane do modelowania transmitancji a nie korekcji odbić wiązki laserowej. Doktorantka adoptowała modele tak aby wypełniały potrzeby badanego problemu naukowego.

Eksperyment badawczy został przeprowadzony na polach testowych zlokalizowanych w terenie leśnym i miejskim. Badania rozpoczęły się od sztucznych pól referencyjnych, których powierzchnia została pokryta materiałem o dobrym, wielokierunkowym odbiciu. W założeniu pola testowe miały być zeskanowane w okresie bezlistnym i w czasie ulistnienia. Jednak tak stało się tylko w przypadku danych zebranych dla terenu miejskiego.

Analiza danych polegała na aplikowaniu poszczególnych modeli korekcji i weryfikacji w jakim stopniu skorygowana intensywność odbić wielokrotnych upodobniła się do intensywności

odbicia pojedynczego. Analiza była przeprowadzona dwuetapowo. Wpierw Doktorantka porównała histogramy intensywności przed i po korekcji posiłkując się przy tym szeroką paletą parametrów statystycznych charakteryzujących odbicia. W drugim etapie, dla danych z obszaru miejskiego analizowane były dodatkowo obrazy intensywności oraz wyniki automatycznej klasyfikacji pokrycia terenu pod drzewami. Na tej podstawie Doktorantka opierała szczegółowe obserwacje co do przydatności analizowanych metod w odniesieniu do poszczególnych kanałów spektralnych i terminu skanowania.

Scharakteryzowane powyżej badania mają charakter dobrze zaplanowanego eksperymentu, a wykorzystane dane pochodzą z innowacyjnego skanera. Prawdopodobnie badania nad korekcją odbić wielokrotnych dla takich danych mają charakter pionierski. Brak wcześniejszych doświadczeń spowodował, że Doktorantka kształtowała metodykę rozwiązania zagadnienia badawczego o bardzo wielu niewiadomych, co obarcza modelowanie zjawiska rozległym polem niepewności.

Wykonane badania pozwoliły Doktorantce na wyciągnięcie wielu ciekawych poznawczo wniosków, aczkolwiek nie wszystkie są jednoznaczne. Generalny, dobrze udokumentowany wniosek uzasadnia tezę, że korekcja poprawia sygnał co pozwala podnieść jakość rozpoznania pokrycia terenu pod drzewami. Zaletą dysertacji jest obiektywizm wnioskowania i wskazywanie wykrytych prawidłowości ale też rozbieżności. Pomimo zebrania unikalnego materiału badawczego dane nie pozwalały wyjaśnić dlaczego dla części pól testowych lepsze były jedne modele korekcji a inne dla pozostałych. Najbardziej zaskakujące było wskazanie metody 5 jako najlepszej z punktu widzenia wyników automatycznej klasyfikacji pokrycia, podczas gdy wcześniejsze badania oparte o analizę intensywności odbić nie plasowały tej metody w czołówce.

Mgr inż. Magdalena Pilarska-Mazurek świadomie pominęła wpływ gatunku drzew na zróżnicowanie odbić wielokrotnych. Uwzględnienie gatunków drzew skutkowałoby badaniami których zakres wykracza poza zwyczajowe ramy prac doktorskich. Ale namawiam Doktorantkę do kontynuacji tematyki w przyszłości i przygotowanie wniosku o wsparcie finansowe dalszych badań.

Pięć z sześciu zastosowanych modeli korekcji Doktorantka określiła jako bazujące na transmitancji. Takie określenie może sugerować, że do modelowania odbić wykorzystano zmierzoną transmitancję koron drzew. Wyznaczenie współczynnika Sky View Factor drzew metodą fotograficzną ma wykorzystanie w badaniach klimatu miejskiego. Gdyby Doktorantka wyznaczyła SVF na polach testowych, wówczas punkt wyjścia modelowania przybrałby jeszcze bardziej interesujący naukowo wymiar. Istniała by możliwość opracowania modelu którego współczynniki nie byłyby przyjęte arbitralnie a podlegałyby wyznaczeniu na podstawie danych.

Uwagi szczegółowe

Badania dotyczyły obszarów pokrytych drzewami liściastymi. W pracy znalazłem tylko jedno odniesienie do drzew iglastych. Na str. 34 Autorka napisała: „Przebieg wiązki lasera przez

koronę różni się przede wszystkim w zależności od gatunku drzewa oraz typu. Dla drzew liściastych może występować mniejsza penetracja niż dla drzew iglastych”. Dlaczego Doktorantka nie zajęła się badaniem wielokrotnych odbić od drzew iglastych?

Jak napisałem wcześniej badania pomijały gatunki drzew. Gatunek drzew, prawdopodobnie inny dla poszczególnych pól testowych, mógł wpłynąć na penetrację wiązki przez mógł spowodować szum w analizowanych wynikach. Warto aby Doktorantka ustosunkowała się do tego zagadnienie podczas publicznej obrony.

Wielokrotnie w pracy jest użyty termin „wysoka roślinność”. Prawdopodobnie chodzi o roślinność o wysokości ponad 2 m, zgodnie ze standardem klasyfikacji danych z lotniczego skanowania laserowego. Z punktu widzenia badań zdecydowanie lepiej mówić o drzewach, gdyż to one tworzą swoisty parasol nad przestrzenią użytkowaną przez człowieka.

Mgr inż. Magdalena Pilarska-Mazurek wybrała do badań sześć modeli odbić wielokrotnych. Jeden z modeli bazuje na prawie Beer-Lamberta a pozostałe na transmitancji. O ile w pięciu przypadkach Doktorantka podała w dysertacji autorów poszczególnych modeli to dla jednego, opatrzonego numerem 3 a podanego wzorem (6-9), brak jest informacji, czy taki model był już stosowany i przez kogo.

Piśmiennictwo jest reprezentatywne dla podjętego w dysertacji problemu. Z ważniejszych publikacji z zakresu korekcji intensywności sygnału laserowego brakuje artykułu Wolfganga Wagnera, „Radiometric calibration of small-footprint full-waveform airborne laser scanner measurements: Basic physical concepts”, ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, Volume 65, Issue 6, 2010,

Konkluzja

Uważam, że rozprawa doktorska mgr inż. Magdaleny Pilarskiej-Mazurek zawiera oryginalne rozwiązanie istotnego problemu z zakresu inżynierii lądowej i transportu. Doktorantka udowodniła w rozprawie, że posiada gruntowną wiedzę z tych specjalności i potrafi dobrze ją wykorzystać w planowaniu i realizacji badań naukowych.

W związku z powyższym stwierdzam, że rozprawa doktorska mgr inż. Magdaleny Pilarskiej-Mazurek spełnia warunki określone w art. 13 ust. 1 ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. z 2017 r. poz. 1789).

W konkluzji rekomenduję Radzie dyscypliny inżynieria lądowa i transport Politechniki Warszawskiej dopuszczenie mgr inż. Magdaleny Pilarskiej-Mazurek do publicznej obrony przedłożonej rozprawy doktorskiej.