

Kraków, 22 kwietnia 2023 r.

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

Recenzja¹ pracy doktorskiej mgr inż. Wojciecha Ostrowskiego „Analiza możliwości pomiarowych lotniczych zdjęć ukośnych”

Zawartość pracy doktorskiej i ogólna ocena

Praca doktorska mgr inż. Wojciecha Ostrowskiego ma formę książki, zawiera sześć rozdziałów tematycznych, poprzedzonych wstępem, zakończonych podsumowaniem oraz typowymi otoczeniami (bibliografia, załącznik, wykaz rysunków i tabel), co zajmuje sumarycznie 216 stron.

Rozdział 1 jest poświęcony historii i teraźniejszości zdjęć ukośnych z punktu widzenia fotogrametrii. Autor zawarł w rozdziale nie tylko wnikliwy przegląd literatury ale też ujawnił pasję z jaką podchodzi do zdjęć ukośnych. Pokazał czym różni się planowanie bloków ukośnych w stosunku do klasycznych zdjęć pionowych oraz, posługując się przykładami, udokumentował jak znacznie bardziej złożony od strony logistycznej i organizacyjnej jest problem stosowania zdjęć ukośnych.

Rozdział 2 przedstawia doświadczenia i problemy fotogrametrycznego opracowania zdjęć ukośnych. Doktorant omówił szczegółowo opublikowane metody dedykowane zespołom zdjęć ukośnych wraz z pionowymi. Analizując dotychczasowe doświadczenia w zakresie orientacji zdjęć ukośnych dokonał ich systematyzacji. Następnie wskazał cztery elementy które uznał za niewystarczające rozpoznane i rozwiązane. Każdy z tych elementów: punkty wiążące, model kamery, kalibracja i wagowanie obserwacji poddał dalszej wnikliwej analizie, nie tylko na podstawie prac innych autorów ale też z uwzględnieniem własnych publikacji. Szczegółowa analiza wskazanych czterech słabszych ogniw procesu orientacji zdjęć ukośnych pomogła Doktorantowi w zaplanowaniu badań.

Rozdział 3 „Plan badań i projekt eksperymentu” jest bardzo ogólnym wprowadzeniem do eksperymentów na których zasadzają się badania. Sądzę, że w zamierzeniu Doktoranta rozdział miał charakteryzować autorską metodykę rozwiązania problemu orientacji zdjęć ukośnych, jednak treść rozdziału jest w tym zakresie skrajnie lakoniczna.

Eksperymenty badawcze opisane w kolejnych dwóch rozdziałach zostały skoncentrowane na

¹ Recenzja została wykonana na podstawie uchwały z 7 marca 2023 Rady Naukowej Dyscypliny Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport Politechniki Warszawskiej

dwóch problemach: wpływie rozkładu punktów wiążących oraz doborze parametrów kalibracji na wyniki estymacji orientacji zewnętrznej zdjęć. Materiałem badawczym były dwa bloki zdjęć ukośnych pokrywające podobny obszar ale pozyskane różnymi systemami wielokamerowymi, z których jeden używał kamer średnioformatowych Hasselblad a drugi małoobrazkowych Nikon. Obie rejestracje były jednymi z pierwszych wykonanych w Polsce, co obarczały je konsekwencjami typowymi dla rozwiązań prototypowych. Z drugiej strony pewne niedostatki techniczne systemów rejestracji tworzyły znakomity poligon badawczy dla Doktoranta, który przecierał szlak dojścia do celu, jakim było uzyskanie dokładności podpikselowej dla zdjęć ukośnych. Szczegółową relację z eksperymentów badawczych zawierają rozdziały 4 i 5. W rozdziale 4 analizowany jest skutek redukcji liczby punktów wiążących dwiema metodami, poprzez równoważenie kątów wcinających i na drodze zachowywania połączeń punktów wiążących. Rozdział 5 jest skoncentrowany na badaniu wpływu samokalibracji na wynik estymacji orientacji zewnętrznej zdjęć. W badaniach Doktorant używał środowiska narzędziowego opartego na komercyjnym programie Pix4D oraz na uniwersyteckim rozwiązaniu OrientAL. Pierwszy z tych programów służył do automatycznej detekcji punktów wiążących metodą Structure from Motion, drugi do wyrównania sieci zdjęć metodą niezależnych wiązek. Łącznikiem pomiędzy programami były skrypty opracowane przez Doktoranta. Z badań wypłynęły dwa wnioski wykorzystane w kolejnej fazie badawczej. Pierwszy to możliwość radykalnej redukcji liczby wiązań, do poziomu 2%, bez straty dokładności aerotriangulacji, mierzonej błędami średniokwadratowymi (RMSE) na fotopunktach kontrolnych. Drugi wniosek dotyczący modelu samokalibracji wskazywał pozytywny skutek uwzględnienia afinizmu oraz zalecał stosowanie samokalibracji w sytuacji gdy w czasie lotów fotogrametrycznych prowadzony był pomiar georeferencji zdjęć technikami GNSS/INS.

Rozdział 6 przedstawia autorską metodykę orientacji zdjęć ukośnych. W tej fazie badań następuje zmiana środowiska do wyrównania sieci zdjęć, Doktorant wybrał program Agisoft estymujący EOZ zdjęć metodą SfM i umożliwiający rozszerzanie funkcjonalności poprzez skrypty Python. Kluczowymi osiami autorskiej metody Doktoranta są dwie ingerencje w linię metodyczną Agisoft-u, jedna polega na nadzorowaniu preselekcji par do wiązania zdjęć a druga na redukcji punktów wiążących. Skuteczność swojej metody Doktorant sprawdził na sześciu blokach zdjęć ukośnych, w tym dwóch blokach wykorzystanych w pierwszej fazie badań, oraz czterech nowych. Wśród nowych danych pojawiły się dwa bloki wykonane zestawami do rejestracji zdjęć ukośnych reprezentującymi najwyższą półkę technologiczną, w których zastosowano kompensację rozmazu obrazu z tytułu ruchu statku powietrznego w trakcie naświetlania. Bloki różniły się też wielkością, od umiarkowanej do wręcz gigantycznej, bo obejmującej 145 tys. zdjęć. Poza klasyczną oceną dokładności opartą o błędy średniokwadratowe na fotopunktach kontrolnych, wykonaną dla wszystkich bloków, dla jednego bloku Doktorant dokonał analizy jakości gęstej chmury punktów poprzez porównanie ze

skanowaniem naziemnym. Zwięźczeniem rozdziału 6 są wnioski syntezujące wyniki dla wszystkich sześciu bloków.

Dysertację zamykają: podsumowanie, opis funkcjonalności skryptów tworzonych przez Doktoranta lub na podstawie Jego algorytmów a wykorzystywanych na różnych etapach badań, bibliografia zawierająca 166 pozycji oraz wykaz rysunków i tabel. Układ pracy jest czytelny a zawartość kompletna z punktu widzenia tematu.

Znaczenie rozwiązywanego problemu naukowego

Zdjęcia ukośne były przez długi czas traktowane tylko jako rozpoznawczo-krajobrazowe. Fotogrametria stroniła od zdjęć ukośnych, gdyż komplikowały proces pozyskania, potem przetworzenia a dla potrzeb klasycznego mapowania nie wносиły wielu zalet. Z punktu widzenia opracowania klasycznej ortofotomapy, produktu dominującego w fotogrametrii, zwłaszcza od czasu transformacji fotogrametrii analogowej na cyfrową, zdjęcia ukośne też nie są konieczne. Dopiero problemy ortofotomapy prawdziwej, a jeszcze w większym stopniu popyt na modele 3D, spowodowały wzrost zainteresowania lotniczymi zdjęciami ukośnymi. Doktorant ponad dziesięć lat temu zajął się zdjęciami ukośnymi z pułapu realizowanego statkami załogowymi. Doceniam Jego wyczucie nowego trendu w fotogrametrii, który obecnie przechodzi do etapu wdrożeniowego. Jak pokazała dysertacja oraz zebrana w niej bibliografia, problem zdjęć ukośnych, których opracowanie jest nierozzerwalnie związane z pełną automatyzacją, jest rozwiązywany prawie wyłącznie na drodze eksperymentalnej z zastosowaniem procedur łączących metody wypracowane dla fotogrametrii opartej na zdjęciach prawie pionowych z metodami dostosowanymi dla zdjęć o dowolnej orientacji przestrzennej ale zmieniającej się sukcesywnie a nie skokowo (metoda SfM). Takie podejście jest znamienne dla dyscyplin technicznych przy realizacji eksperymentalnych prac rozwojowych zorientowanych na wdrożenia.

Ocena metody badawczej oraz sposobu przeprowadzenia badań i uzyskanych wyników

Poszukiwanie optymalnej metody orientacji zdjęć ukośnych opisane w dysertacji mgr inż. Wojciecha Ostrowskiego jest oparte na eksperymentach na materiale rzeczywistym. Poprzedziły je symulacje relacji przestrzennej pomiędzy zdjęciami ukośnymi, tworzącymi, wraz centralnym zdjęciem pionowym, wzór krzyża maltańskiego. Pomogło to Autorowi lepiej poznać specyfikę zdjęć ukośnych w tym głównie zmienność skali i pokryć. Materiał badawczy wykorzystany do eksperymentów obliczeniowych w pierwszej fazie badań był praktycznie jedyny jaki był w zasięgu krajowym. Został wykonany przez firmy fotolotnicze w ramach przygotowań do rozpoznania nowego asortymentu prac, przy czym przez kilka pierwszych lat firmy nie stosowały zdjęć ukośnych dla celów pomiarowych, zadowolili się opracowywaniem

ortofotomap kierunkowych o charakterze pogładowym (chyba taki stan trwa do dzisiaj). Ten fakt dokumentuje odmiennosć zasad fotogrametrycznego opracowania zdjeć ukośnych, dalekich od know how wypracowanego dla zdjeć pionowych.

Doktorant zdecydował się w pierwszej fazie badawczej na wykonywanie eksperymentów obliczeniowych z wykorzystaniem programu OrientAL i narzędzia Pix4D, czyli na mariaż narzędzia zorientowanego na potrzeby badań naukowych (ale nie rozwijanego od pewnego czasu), z programem komercyjnym, niezwykle dynamicznie się rozwijającym. Uważam że wybór programu Orient, niezależnie od wielu jego zalet, nie był optymalnie dostosowany do potrzeb Doktoranta, zwłaszcza w kontekście ukierunkowania na eksperymenty na dużych blokach. W drugiej fazie Doktorant zmienił środowisko obliczeniowe, wybrał drogę w pełni opartą na metodzie SfM. To rozwiązanie też było ryzykowne, gdyż zamysłem twórców programu Agisoft-Metashape było opracowanie narzędzia dedykowanego zdjećom z BSP i fotogrametrii naziemnej aplikowanej dla modelowania niewielkich obiektów. Uważam że opisana ścieżka przebyta przez Doktoranta z wyraźnym zwrotem po pierwszej fazie nie jest Jego błędem, raczej pokazuje konsekwencje ryzyka jakie podjął zajmując się zdjećami ukośnymi w czasie, gdy były one dopiero przymierzane do zastosowań fotogrametrycznych.

Najwyżej z dokonań Doktoranta cenię metodę preselekcji par zdjeć do detekcji punktów wiążących, opartą na zasięgach terenowych zdjeć. Wiąże się z tym oryginalna strategia orientacji zdjeć, zaczynająca się od pionowych a potem włączająca zdjęcia kierunkowe. Uzyskane dokładności są wysokie, uważam że brak pełnej satysfakcji Doktoranta z uzyskanych rezultatów wynika ze zbyt wygórowanych oczekiwań w stosunku do zdjeć ukośnych. W tym miejscu przywołałam cytowane w dysertacji słowa Profesora Wilczkiewicza z 1930, o „rażącej oko perspektywie zdjeć pochylnych”. Moim zdaniem współczesne odczytanie słów Profesora wskazuje na zbyt dużą zmianę perspektywy pomiędzy zdjećami ukośnymi a zdjećem pionowym w stosowanych systemach wielokamerowych. Gdy inklinacje kamer są różne o kilkakilkanaście stopni a nie o 45, wówczas jakoś wiązań wykrytych przez algorytm SIFT będący podstawą SfM jest zdecydowanie lepsza.

Zastosowana przez Doktoranta redukcja liczby punktów wiążących jest też warta pochwały, gdyż prowadzi do podniesienia jakości orientacji zdjeć. Jednak trzeba w tym miejscu podkreślić, czego nie czyni Doktorant, że charakterystyczna dla SfM strategia wiązania zdjeć na bazie tysięcy punktów wiążących prowadzi w przypadku kamer o znanej orientacji wewnętrznej i dystorsji do bardzo wysokiej redundancji danych. Wiązanie zdjeć ukośnych, przy usuniętej dystorsji wymaga teoretycznie 7-8 punktów wiążących na pokrycie. Problem w tym, że muszą to być punkty bardzo dobrej jakości a duża liczba zdjeć w bloku praktycznie przekreśla manualny ich pomiar. Automatyzacja detekcji wiązań jest nieunikniona, kluczowy jest problem wyboru najlepszych punktów, co było przedmiotem badań Doktoranta.

Doktorant analizował różne modele samokalibracji. Moim zdaniem zabrakło ustosunkowania się do modelu dodatkowych parametrów opartych o dwudzielny szereg Fouriera. Taki model został zaproponowany w publikacji: Tang, R., Fritsch, D., Cramer, M., *New rigorous and flexible Fourier self-calibration models for airborne camera calibration*, ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. 71 (2012). Co prawda w publikacjach nie ma wielu doniesień o przydatności tego modelu, jednak został on zaimplementowany w programie Agisoft-Metashape, który Doktorant wykorzystywał w finalnym etapie badań. Nadto żałuję, że Doktorant nie ujawnił swojego stosunku do metod redukcji wiązań zaimplementowanych w tym programie. Proszę Doktoranta o ustosunkowanie się do tych kwestii w czasie publicznej obrony.

Subiektywna uwaga specjalna

Praca napisana jest w stronie biernej, stosowanej powszechnie w dysertacjach. Obserwuję w publikacjach naukowych coraz częstsze odstępowanie od tej formy, co przyjmuję z dużym zadowoleniem. Moim zdaniem dobrze byłoby aby ta tendencja dotyczyła też rozpraw doktorskich. Rozdziały 3-6 dysertacji mgr inż. Wojciecha Ostrowskiego napisane w formie osobowej zyskałyby na czytelności. Forma bezosobowa zmuszała Doktoranta do stosowania wielu ekwilibrystycznych zabiegów językowych. Uwaga nie wpływa na moją ocenę, że praca została zredagowana poprawnie.

Konkluzja

Uważam, że rozprawa doktorska mgr inż. Wojciecha Ostrowskiego zawiera oryginalne rozwiązanie istotnego problemu z zakresu dyscypliny inżynieria lądowa, geodezja i transport. Doktorant udowodnił w rozprawie, że posiada gruntowną wiedzę z fotogrametrii i potrafi dobrze ją wykorzystać w planowaniu i realizacji badań naukowych w szczególności zorientowanych na wdrożenie.

W związku z powyższym stwierdzam, że rozprawa doktorska mgr inż. Wojciecha Ostrowskiego 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 wnioskuję do Rady Naukowej Dyscypliny Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport Politechniki Warszawskiej o dopuszczenie mgr inż. Wojciecha Ostrowskiego do dalszych etapów przewodu doktorskiego.



