

dr hab. inż. Ryszard Szpnuar
Politechnika Warszawska
Katedra Geodezji i Astronomii Geodezyjnej

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr inż. Jakuba Kality pt: ***Analysis of factors that influence the quality of precise point positioning method***

Promotor rozprawy: dr hab. inż. Zofia Rzepecka Prof. UWM

Podstawa formalna recenzji: uchwała nr 129 Rady Wydziału Geodezji, Inżynierii Przestrzennej i Budownictwa Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego w Olsztynie z dnia 9 maja 2017 r. o wyznaczeniu recenzentów wskazanej w tytule rozprawy doktorskiej oraz związane z tym pismo Dziekana Wydziału Geodezji, Inżynierii Przestrzennej i Budownictwa Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego w Olsztynie zawierające zlecenie sporządzenia recenzji

1. Informacje podstawowe o recenzowanej rozprawie

Praca doktorska magistra inżyniera Jakuba Kality obejmuje łącznie 183 strony tekstu. Główna część dysertacji zawiera dziesięć rozdziałów napisanych na 161 stronach. W dalszej części załączony został alfabetyczny spis literatury (strony 162 do 173), spis źródeł internetowych (strony 173 do 174), wykaz rysunków i tabel (174-180) oraz spis opracowanych przez doktoranta skryptów (180-181) Dwie ostatnie strony tekstu to streszczenia pracy oraz słowa kluczowe w języku polskim i angielskim.

Zestawienie literatury jest obszerne i obejmuje 147 pozycji publikacyjnych wyłącznie anglojęzycznych. Z punktu widzenia tematyki podjętej w pracy doktorant wybrał aktualne istotne i właściwe publikacje - w tym pięć których jest współautorem.

We wstępie Autor krótko i w sposób ogólny scharakteryzował metodę precyzyjnego pozycjonowania punktu (ang. PPP) oraz postawił główną tezę dysertacji wyrażającą się w twierdzeniu, że przeprowadzone analizy pozwolą dobrać odpowiednie parametry oraz modele błędów dla, bardziej efektywnego przeprowadzenia processingu metodą PPP oraz

podniesienia dokładności wyznaczanego punktu. Dla zweryfikowania postawionej tezy doktorant wykonał jako główny cel recenzowanej rozprawy analizy czynników wpływających na jakość – dokładność pozycjonowania metodą GNSS – PPP. W celu zweryfikowania tezy Doktorant zaproponował w pięciu podpunktach szczegółowe etapy prowadzenia badań.

2. Krótkie omówienie dysertacji

Rozdział pierwszy, bardzo krótki, rozprawy jest przedstawieniem zasady wyznaczenia pozycji przy użyciu obserwacji pseudoodległości do satelitów.

Drugi rozdział jest przeglądem czynników wpływających na jakość pozycjonowania metodą PPP. Autor relacjonuje sposób wykorzystania produktów takich jak precyzyjne orbity czy poprawki zegarów dla poszczególnych satelitów, dostępnych w serwisach internetowych (np. IGS). Dalej omawia problemy związane z centrami fazowymi anten satelitów, efektem związanym ze zmianami względnego położenia satelity i odbiornika spowodowanymi obrotem satelitów w kierunku promieniowania słonecznego, wpływami atmosfery na propagację sygnału oraz modelowaniem tych efektów, zmianą orientacji satelity względem odbiornika, zmianą przestrzennego położenia satelitów i odbiornika podczas propagacji sygnału. Kolejne omawiane zagadnienia to efekty relatywistyczne oraz związane z geodynamiką Ziemi. W końcowej części tego rozdziału Doktorant zestawia budżet błędów mierzonej pomiędzy satelitą a odbiornikiem pseudoodległości.

W kolejnym rozdziale Doktorant przedstawia filtr Kalmana oraz jego wykorzystanie do wyznaczania pozycji metodą PPP. Zwraca uwagę na problemy doboru odpowiednich parametrów początkowych takich jak przybliżone współrzędne punktów czy modele wpływów atmosfery na obserwacje. Zaprezentował schematy przepływu danych podczas obliczeń, które wykonywał w pakiecie o otwartym dostępie do kodu źródłowego g-Lab .W tym rozdziale w tabeli 3.2 zostały pokazane warianty opracowania i analizowania obserwacji, które w dalszej części pracy są omawiane.

Głównym celem, wyeksponowanym w rozdziale czwartym jest omówienie sposobów testowania metody PPP z zaimplementowanymi własnymi algorytmami w odniesieniu do serwisów umożliwiających wykonanie processingu PPP. Pokazuje przykłady wyników obliczeń dla wybranych serwisów. Dalej w oparciu o dokumentację pakietu g-Lab Doktorant przedstawia schemat processingu PPP w tym oprogramowaniu. Istotną częścią tego rozdziału są zamieszczone skrypty automatyzujące proces obliczeń oraz wyniki

przeprowadzonych testów dla wybranych siedmiu stacji permanentnych. Jako odniesienie porównań Doktorant przyjął współrzędne stacji w układzie ITRF2008. Uzyskane wyniki pokazują podobne dokładności co serwisy on-line. Doktorant w podsumowaniu stwierdza, że pewną wadą pakietu g-Lab jest brak modeli i schematów dla tego typu opracowań co wymaga napisania własnych modyfikacji oprogramowania.

W piątym rozdziale zostały przedstawione analizy oparte o implementację filtra Kalmana do wyznaczania współrzędnych techniką PPP dla obserwacji z roku 2014 dla stacji BOR1. Autor wykazał, że residua po zastosowaniu filtrowania są na poziomie: odpowiednio dla obserwacji kodowych ok 1 m a dla obserwacji fazowych 1 cm. Wskazał też, że korelacja pomiędzy składową wysokości, opóźnieniem troposferycznym, nieoznaczonością i zegarem powoduje powolną zbieżność filtra, a dokładność kinematycznego modelu przetwarzania jest na poziomie 10 cm.

Wyznaczenia pozycji, które mają charakter absolutny podlegają również wpływom związanym z geodynamiką skorupy ziemskiej wynikającą z działania sił pochodzących od słońca i księżyca. Wiadomo, że efekty te mają generalnie dobowy i półdobowy charakter. Wystarczająco długie obserwacje pozwalają zredukować ten efekt podczas uśredniania np. w okresie 24 godzin. W rozdziale szóstym autor dysertacji podjął rozważania tak zwanego wtórnego efektu pływowego polegającego na deformacji dna morskiego i przemieszczeniu powierzchni terenu blisko położonego oraz wdrożenia modelu pływów (OTL) do rozwiązania PPP. Analizy prowadził dla dwóch stacji o maksymalnej i minimalnej podatności na wpływy oceanu (BOR1 i GUAM). Analiza wyników opiera się na porównaniu wartości finalnych i zbieżności średniego i standardowego odchylenia dla dobowych obserwacji. W celu wyeksponowania wpływu efektu Doktorant przeprowadził analizę dla 12-godzinnych zestawów obserwacyjnych. Doktorant w podsumowaniu wysunął słuszny wniosek, że wpływ sił pływowych jest istotny dla składowej pionowej natomiast nie przekracza 1 cm dla składowych poziomych. Wskazał że w okresach 1-5 godzin zastosowanie modelu OTL odgrywa ważną rolę podnosząc jakość rozwiązania PPP.

Kolejne dwa rozdziały dotyczą problemu oddziaływania refrakcji troposferycznej na pomiar pseudoodległości zarówno kodowej jak i fazowej. W rozdziale siódmym mgr Jakub Kalita dyskutuje problem, jak dokładność modelu opóźnienia troposferycznego wpływa na jakość metody PPP. Jako odniesienie przyjęty został finalny model opóźnienia troposferycznego opracowany przez IGS. Przedstawione tabele i wykresy pokazują, że krzywe odchylen

standardowych między rozwiązaniem odniesienia a rozwiązaniem w oparciu o określony model zbiegają się ze sobą podczas pierwszych 10-30 minut przetwarzania PPP. Jeśli chodzi o wysokość, różnica między modelem VMF1 a empirycznym GPT2w / MOPS jest podobna do różnicy pomiędzy modelami empirycznymi a wariantem, w którym nie jest stosowany model a priori (ZERO-WET). Doktorant wskazuje, że korzystanie z modelu VMF1 zamiast GPT2w lub MOPS w pierwszych epokach może dwukrotnie zwiększyć dokładność składowej pionowej w rozwiązaniu PPP. W dalszej części dysertacji – rozdziale ósmym doktorant analizuje jakość modeli i zestawów danych troposferycznych, które mogą być stosowane w czasie rzeczywistym w metodzie PPP. Analizy doprowadziły do opracowania modelu opóźnienia troposferycznego o lepszej jakości niż modele empiryczne, które uwzględniają jedynie długookresowe zmiany opóźnienia. Doktorant przeprowadził analizy częstotliwościowe opóźnienia troposferycznego dla dwóch stacji: LAMA i WROC dla okresu pięciu lat obserwacji. Uzyskane wyniki pozwoliły na stwierdzenie, że błędy predykcji opóźnienia po usunięciu rocznych i półrocznych trendów są na poziomie kilku mm.

W rozdziale dziewiątym Doktorant wykonał analizę wpływu błędu zegara odbiornika na pozycjonowanie kinematyczne PPP. Przedstawił sposób korekcji zegara odbiornika która jest traktowana jako biały szum. Analizy przeprowadził dla odbiornika NetRS ze standardowym kwarcowym generatorem częstotliwości pracującym na stacji BOR1. Na wykresach mgr inż. Jakub Kalita przedstawił błędy wyznaczenia pozycji w odniesieniu do znanych współrzędnych stacji, oraz zaprezentował zmiany wskazań zegara postępujące w czasie trwania obserwacji. W celu wygładzenia rozwiązania zaimplementował filtr Kalmana.. Wykazał przede wszystkim poprawę wyznaczenia wysokości. Doktorant stwierdził, że takie podejście nadaje się do pomiarów statycznych.

Ostatni dziesiąty rozdział dysertacji jest podsumowaniem prowadzonych badań.

3. Istotność i aktualność badań podjętych w dysertacji

Precyzyjne pozycjonowanie z wykorzystaniem sygnałów sztucznych satelitów Ziemi jest od lat przedmiotem badań w wielu instytucjach naukowych. Właściwie od momentu wystrzelenia pierwszych satelitów nastąpił gwałtowny rozwój technologii, metod i algorytmów precyzyjnego pozycjonowania. Przez ostatnie dekady badania w tym obszarze koncentrowały się głównie nad względnymi technologiami pomiarowymi. Rozwinęły się zarówno globalne jak i regionalne systemy stacji referencyjnych oferując usługi

pozycjonowania z błędami nieprzekraczającymi pojedynczych centymetrów w czasie rzeczywistym. Wiadomo, że uzyskanie takich dokładności wiąże się z dostępem do danych ze stacji umieszczonych stosunkowo blisko miejsca pomiarów. Stąd też wraz z kolejnymi systemami nawigacyjnymi oraz z coraz nowocześniejszymi satelitami zaczęto rozwijać metody pomiarowe o charakterze absolutnym - nie różnicowym. Wykorzystując precyzyjne orbity, poprawki zegarów satelitów oraz modele błędów pomiarowych można uzyskać wysokodokładne wyznaczenia współrzędnych mierzonych punktów – w czasie rzeczywistym z błędami rzędu decymetrów a w postprocessingu ze stosunkowo długich obserwacji z błędami na poziomie pojedynczych centymetrów. Niewątpliwymi zaletami tej metody jest to, że współrzędne wyznaczone są w globalnym układzie odniesienia, oraz, że w zasadzie do pozycjonowania wystarczyłoby kilkadziesiąt stacji referencyjnych rozmieszczonych na całej Ziemi. Natomiast wadą tej metody jest jednak stosunkowo długi czas obserwacji dla uzyskania centymetrowych dokładności wyznaczenia współrzędnych.

Jak wiadomo metoda PPP jest również wrażliwa na liczbę obserwowanych satelitów.

Podjęta w rozprawie doktorskiej magistra inżyniera Jakuba Kality tematyka związana z analizą wpływów różnych czynników na jakość pozycjonowania metodą PPP jest zatem aktualna i istotna również w zastosowaniach praktycznych. Wpisuje się w aktualne trendy rozwojowe tego obszaru wiedzy. Za szczególnie interesujące w mojej opinii należy uznać analizy, których wyniki mogą być wykorzystane w pozycjonowaniu w czasie rzeczywistym. Dotyczy to przede wszystkim modelowania i przewidywania opóźnienia troposferycznego

4. Ocena metody badawczej, i uzyskanych wyników

Magister inżynier Jakub Kalita w swojej rozprawie doktorskiej postawił zasadniczy cel badawczy związany z analizą czynników wpływających na jakość pozycjonowania metodą PPP. Na kartach dysertacji w kolejnych rozdziałach definiował składniki wpływające na dokładność wyznaczenia pozycji, a następnie przeprowadzał analizy z wykorzystaniem istniejących stacji permanentnych. Uważam że przeprowadzone badania są wartościowe, a niektóre z zaproponowanych rozwiązań można uznać za nowatorskie.

Autor broni postawionej tezy, wyrażającej się w twierdzeniu, że wykonane analizy pozwolą dobrać odpowiednie parametry oraz modele błędów dla bardziej efektywnego przeprowadzenia processingu metodą PPP oraz podniesienia dokładności wyznaczanego punktu.

W moim przekonaniu badania opisane w pracy doktorskiej magistra inżyniera Jakuba Kality przeprowadzone były zgodnie z przyjętą w świecie nauki metodyką. Został postawiony problem zdefiniowany tezą rozprawy.. Następnie doktorant podjął wieloetapowe działania, które prowadziły do obiektywnego i krytycznego dowodzenia tezy. Zostały prawidłowo przyjęte założenia, wybrane punkty przeznaczone do testowania zaproponowanych rozwiązań. Doktorant zdefiniował sposób walidacji uzyskanych wyników poprzez porównania do innych wyznaczeń oraz do znanych współrzędnych stacji. Zastosował elementy statystycznego opisu wyników pomiaru. W końcu wnioskuje w oparciu o przeprowadzone eksperymenty. W poszczególnych rozdziałach skupił się na szczegółowych efektach wpływających na pozycjonowanie techniką PPP.

Doktorant dobrze porusza się w przestrzeni informatycznej. Wykazał się samodzielnością w rozwijaniu algorytmów i tworzeniu skryptów w narzędziu o otwartym kodzie źródłowym. Jest to cenna umiejętność, która dalszej pracy naukowej będzie bardzo przydatna.

Przeprowadzone badania opierają się na dobrej znajomości aktualnej literatury z zakresu precyzyjnego pozycjonowania z wykorzystaniem systemów GNSS. Doktorant prawidłowo zaplanował badania oraz konsekwentnie je realizował.

Uważam w końcu, że mgr inż. Jakub Kalita udowodnił postawioną we wstępie tezę.

5. Podsumowanie

Stwierdzam, że rozprawa doktorska Pana mgr inż. Jakuba Kality pt.: *Analysis of factors that influence the quality of precise point positioning method* spełnia warunki określone w art. 13 ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. z 2003r. nr 65 poz. 595, z późn. zm.), co stanowi podstawę do przedłożenia Radzie Wydziału Geodezji, Inżynierii Przestrzennej i Budownictwa Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego w Olsztynie wniosku o przyjęcie rozprawy doktorskiej i dopuszczenie jej do publicznej obrony.



Ryszard Szpunar

Warszawa, 5.09.2017 r.