Prof. dr hab. inż. Roman Kadaj
Politechnika Rzeszowska
Katedra Geodezji im. K. Weigla
adres prywatny:
ul. Goździkowa 8/1, 35-604 Rzeszów
tel. 501-627-126
e-mail: kadaj@prz.edu.pl

Rzeszów, w lipcu 2017

R e c e n z j a
rozprawy doktorskiej mgr inż. Marka Huberta Zienkiewicza p.t.
„Wybrane, teoretyczne i aplikacyjne własności M_{split} estymacji"
dla Rady Wydziału Geodezji Inżynierii Przestrzennej i Budownictwa
Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego w Olsztynie

Wybór i ranga tematu rozprawy doktorskiej

Recenzowana rozprawa doktorska mgr-a inżyniera *Zienkiewicza* odnosi się do różnych aspektów teoretycznych i praktycznych tzw. M_{split} estymacji, jako nowej metody estymacji, opracowanej przez prof. *Wiśniewskiego* i opublikowanej m.in. w czasopismach notowanych w grupie A – *Journal of Geodesy*, *Journal of Surveying Engineering*. Istotą metody M_{split} estymacji jest zdefiniowanie tzw. rozszczepionych (konkurencyjnych) modeli funkcjonalnych oraz zbudowanie tzw. globalnego potencjału rozszczepienia, który podlega maksymalizacji, podobnie jak w zasadzie największej wiarygodności. W ujęciu tej metodologii każdej obserwacji mogą odpowiadać dwa wzajemnie konkurencyjnie parametry modelu funkcjonalnego, w tym wielkości samych poprawek obserwacyjnych. Niewątpliwie idea metody zmierza do optymalnej identyfikacji (estymacji) szukanych parametrów układu obserwacyjnego i może mieć znaczenie w wielu zagadnieniach specjalnych rachunku wyrównawczego, w szczególności w analizie przemieszczeń na podstawie geodezyjnych pomiarów okresowych, w identyfikacji błędów grubych w układach obserwacyjnych. W geodezji istnieje wiele przykładów, gdzie zbiory obserwacyjne zawierają dane niejednorodne, pochodzące z różnych epok technologicznych, w tym obserwacje klasyczne integrowane z wektorami GNSS. Bardzo często, zwłaszcza jeśli idzie o obserwacje archiwalne pojawia się problem wyboru odpowiednio trafnego modelu stochastycznego (mówiąc prościej, problem poprawnego wagowania). Metoda M_{split} estymacji może się okazać skutecznym narzędziem rozwiązania wielu zadań z zakresu opracowania danych empirycznych w przypadku dysponowania niepełnymi informacjami o modelach stochastycznych zbiorów danych. Podobnie rzecz ma się z tzw. elementami odstającymi, do czego stosuje się zwykle różne metody „odporne". Metoda M_{split} estymacji z natury samej swej genezy powinna wykazywać własności odpornościowe. Kierując się powyższymi stwierdzeniami chciałbym podkreślić rangę tematyki recenzowanej rozprawy.

Teza główna, cel i zakres rozprawy

Główną tezę rozprawy można sformułować jako twierdzenie o istnieniu nowych, użytecznych praktycznie i teoretycznie cech, charakteryzujących klasę metod M_{split} estymacji oraz możliwości udoskonaleń tej metody w różnych elementach. Rozwinięcie głównej tezy zamyka się w siedmiu rozdziałach rozprawy. Doktorant pokazuje przede wszystkim uniwersalność badanej klasy metod w kilku aspektach: Poprzez symulacje ***Monte Carlo*** wykazuje na przykład, że M_{split} estymacje mogą wypełniać funkcje estymatorów mocnych. Szeroki zakres zastosowań metody to zagadnienia geodezyjnych pomiarów i analiz przemieszczeń. Na każdym etapie badań doktoranta wyniki są ilustrowane przykładami liczbowymi. Niezależnie od badania własności metody doktorant dokonuje własnych oryginalnych jej rozszerzeń (uogólnień). Dotyczą one na przykład koncepcji tzw. wirtualnych modeli funkcjonalnych, uogólnień metody na przypadek obserwacji skorelowanych, jak również opracowania wzorów ścisłej analizy dokładności a-posteriori. Podkreślić należy więc, że doktorant wnosi do teorii metody własne, oryginalne elementy. Obrany przez doktoranta zakres badań i ich tezy szczegółowe są wystarczające i adekwatne dla rozprawy doktorskiej w specjalności: metody obliczeń geodezyjnych. Wyniki badań mogą być pomocne dla ewentualnych implementacji metody w programach wyrównania obserwacji geodezyjnych. Promotorem rozprawy doktorskiej jest prof. Zbigniew Wiśniewski – autor metody M_{split} estymacji.

Ocena poziomu wiedzy doktoranta

Jednym z istotnych warunków jaki powinien spełniać doktorant jest wykazanie się wiedzą z przedmiotowej dyscypliny, a przede wszystkim w zakresie tematycznym rozprawy. W tym względzie mogę stwierdzić, że, poczynając od wstępu, rozdziały 1 - 2, zawierające odniesienia do licznych pozycji literatury, świadczą, że doktorant posiadł wystarczającą wiedzę z przedmiotowego zakresu, w tym dotyczącą konstruowania modeli funkcjonalnych, stochastycznych i wyrównawczych układów obserwacyjnych oraz algorytmów estymacji parametrów tych układów, ze szczególnym uwzględnieniem zastosowań geodezyjnych. Potwierdzeniem przygotowania doktoranta mogą być też cytowane w pracy doktorskiej własne publikacje (jedna współautorska) w czasopismach *Survey Review* i *Technical Sciences*.

Dyskusja wyników rozprawy

Doktorant przedstawia w miarę klarownie opis teoretyczny podstawowego wariantu metody M_{split} estymacji (str. 28-29). Ze względu na nieliniową funkcję celu rozwiązanie numeryczne problemu dokonuje się w procesie iteracyjnym Newtona. Doktorant posługuje się wieloma przykładami liczbowymi dowodzącymi empirycznie poprawność teorii. Jakkolwiek nie leżało to w planie doktoratu to dobrze byłoby w przyszłości teorię M_{split} estymacji uzupełnić o dowody zbieżności algorytmów opisanych wzorami (2.3.19). Z informacji podanej z kolei na str 29 (w4g) wynika, że mogą się pojawić problemy gdy już na starcie nastąpi zerowanie gradientów. Ta kwestia nie jest jednak jasna, ponieważ zerowanie gradientu jest właśnie warunkiem koniecznym rozwiązania (czyżby chodziło o inny punkt stacjonarny np. siodłowy, w którym nie ma ekstremum?). Dalej jest mowa o zakończeniu procesu iteracyjnego. W sensie numerycznym liczba iteracji musi być skończona, więc nie wystarczy podać teoretyczny warunek zerowania gradientów; trzeba zastosować jakieś kryterium „bliskości" do wartości granicznych.

Doktorant wykazał się zaawansowaną wiedzą w stosowaniu prawa propagacji wariancji i poszukiwaniu estymatorów „dobrych" w sensie Fishera (nieobciążonych, najefektywniejszych) znajdując macierze kowariancji oraz współczynniki wariancji dla rozszczepionych parametrów modeli funkcjonalnych układu (str 36 – 45). Wzory są następnie bardzo przystępnie ilustrowane przykładami kontrolnymi.

Odnośnie do przykładów wyrównań sieci pomierzonych w dwóch epokach (str. 46-60): Przykład sieci niwelacyjnej jest bardzo dobrą ilustracją elementów metody $\boldsymbol{M_{split}}$. Szkoda tylko, że nie została zarejestrowana zmienność parametrów i poprawek konkurencyjnych (rozszczepionych) modeli funkcjonalnych w kolejnych iteracjach oraz sama ilości wykonanych iteracji (zgodnie z teorią, rozwiązanie jest nieliniowym procesem iteracyjnym - niestacjonarne wagi są kwadratami „konkurencyjnych" poprawek). Uznaję jednak, że - zgodnie z tytułem podrozdziału 3.4 – doktorant skupia się głównie na analizie dokładności wyników estymacji. Na podkreślenie zasługuje więc liczbowe wyznaczenie pełnych macierzy kowariancji dla estymowanych parametrów i poprawek w dwóch rozszczepionych modelach funkcjonalnych. Takie informacje mają zastosowanie w testowaniu istotności przemieszczeń. Drugi przykład to sieć kątowo-liniowa w postaci pojedynczego trójkąta, obserwowana w dwóch epokach pomiarowych. Doktorant przedstawia zlinearyzowaną postać rozszczepionych modeli funkcjonalnych i analogicznie testuje metodę $\boldsymbol{M_{split}}$. Jakkolwiek również tutaj nie podaje wyników obrazujących zbieżność procesu iteracyjnego, to z punktu widzenia założonego celu pracy przedstawia kompletną analizę dokładności wyników, podobnie jak w przykładzie pierwszym.

Oryginalnym osiągnięciem doktoranta jest koncepcja wirtualnych (dodatkowych) modeli funkcjonalnych, które mają reprezentować obserwacje nie pasujące do założonych rozszczepionych modeli (str. 61-76). Opracowana metoda pozwala na zneutralizowanie wskazanych obserwacji nietypowych, aby nie deformowały one wyników estymacji. Takie działanie jest upodobnione do estymacji mocnej. W razie ewentualnej implementacji komputerowej może pojawić się jedynie problem decyzyjny, jak zdefiniować automatycznie sytuację wymagającą zastosowania modeli wirtualnych.

Osiągnięciem doktoranta jest opracowanie wzorów metody dla przypadku zmiennych skorelowanych. Poprzez rozkład spektralny macierzy kowariancji dokonuje przekształcenia wzorów do postaci równoważnej o pseudo-obserwacjach nieskorelowanych. Przykłady liczbowe dokumentują poprawność rozwiązania.

Wielo-rozszczepiona $\boldsymbol{M_{split(q)}}$ estymacja (str 32-35) wydaje się być naturalnym uogólnieniem (rozszerzeniem) standardowego wariantu metody (dla q =1). Nasuwa mi się przy tym pytanie, czy w tak rozszczepionym wielokrotnie modelu możemy być pewni zbieżności procesów iteracyjnych, istnieniu i jednoznaczności rozwiązań?. Czy funkcja celu (2.5.9) nie ma wielu punktów stacjonarnych (minimów lokalnych), w których wypadają konkurencyjne rozwiązania?. Czy konieczne są jakieś kryteria w sensie minimalnych nadwymiarowości układu obserwacyjnego? Oczywiście, na podobne pytania nie da się łatwo odpowiedzieć, nie mieszczą się też ściśle w tezach rozprawy – mogą jednak należeć do zbioru pytań, które stawiamy na przyszłość.

Doktorant sprawdził metodą ***Monte Carlo***, że odporność metody ma cechy porównywalne z kilkoma znanymi metodami estymacji odpornych. Jest to ważny pod względem poznawczym i praktycznym element pracy doktorskiej. Wprawdzie szczególna postać $\boldsymbol{M_{split}}$ estymacji polegająca na minimalizacji sumy czwartych potęg poprawek będzie należeć do klasy estymatorów słabych (nieodpornych na odstawanie) ale ogólna postać metody $\boldsymbol{M_{split}}$, korzystająca z konkurencyjnych modeli funkcjonalnych, jak również opracowana przez doktoranta modyfikacja za pomocą dodatkowych modeli wirtualnych ma cechy odpornościowe, wynikające wprost z samej definicji modeli konkurencyjnych.

Uwagi całkiem szczegółowe

Str. 4. w4g. Jest: „współrzędnych sieci geodezyjnych"
Powinno być: „współrzędnych punktów sieci geodezyjnych"

Str. 5. w1-12d. Jest zdanie: „P.J. Huber w pracach (1964,1981) uogólnił MNW zastępując logarytmy funkcji gęstości innymi, w zasadzie dowolnymi funkcjami (ze względów numerycznych, najlepiej gdy są to funkcje różniczkowalne)" .oraz (w.2-3d), że „MNW jest „praźródłem" klasy M".
Otóż, wprawdzie Huber podaje warunek, gdy M i MNW są równoważne [$\rho(v) = - \log(f(v))$] ale wcale to nie oznacza, że jedna metoda jest „praźródłem" lub naturalnym uogólnieniem drugiej. Ogólny warunek $\Sigma\rho(v) = \min$ lub w sensie jakiejś normy $|| v || = \min$ ma znaczenie uniwersalne (także w teorii aproksymacji dyskretnej) i „sztuczne" wiązanie tego „na stałe" z MNW, a tym samym z jakimś rozkładem (czasami miałby on postać bardzo nietypową) jest pewnym „przegięciem" interpretacyjnym (zgadzam się, że na użytek statystycznych badań własności granicznych estymatorów Huber dokonuje takiego „przegięcia"). Podobnie jak istnieje związek pomiędzy ZWA i MNW (-> Wiśniewski) to wcale nie znaczy, że w ogólności jedna zasada wynika z drugiej (w genezie nie było takiej intencji). Powyższe uwagi dotyczą być może mało istotnych praktycznie kwestii nazewniczych (klasyfikacyjnych). Nie przeszkadzają one bowiem temu, by wykorzystując związki M z MNW, stosować w każdym przypadku te same (analogiczne) algorytmy obliczeniowe.

Str. 6. w. 5-10g. Jest: „ .... obserwacja może być realizacją jednej z dwu (lub więcej) zmiennych losowych różniących się parametrami. Konkretnej obserwacji trudno jest wtedy przyporządkować .... " - w tym miejscu może przydałby się przykład ilustracyjny z pomiarów geodezyjnych

Str. 6. w.13g. Zwrot „.... w zbiorach o nieustalonym zmieszaniu..." chyba zbyt lakoniczny. A jakie to by były zbiory o ustalonym zmieszaniu?

Str. 7. w.17d. Zwrot „W analizie deformacji przedmiotem zainteresowania jest przede wszystkim przesunięcie (**shift**) między zbiorami obserwacji .... " wymaga sprecyzowania, że chodzi o przesunięcie jako wielkość wektorową (nie skalarną), bo w przeciwnym razie to by znaczyło, że np. wszystkie punkty sieci kontrolnej mają jednakowe przesunięcie pionowe. Generalnie w przemieszczeniach 2D lub 3D mamy oprócz translacji także obroty. W dalszej części pracy jednak się wyjaśnia, że przesunięcie jest określone przez wektor o wielu składowych. Tak więc, być może brakowało wcześniej krótkiego objaśnienia.

Str. 8. w. 3g. Stwierdzenie „ .... obserwacje „same wybierają" , która z epok jest dla nich właściwa (...)" wydaje mi się bardzo ryzykowne, wymagające w algorytmie obliczeniowym jakiegoś wzmocnienia (regularyzacji), zwłaszcza jeśli przemieszczenia niewiele wykraczają poza oszacowania ich błędów. Jak stwierdza doktorant, odpowiadająca metoda zwana ***Shift*** $\boldsymbol{M_{split}}$ jako pewna podklasa $\boldsymbol{M_{split}}$ zawodzi w przypadku pojawienia się obserwacji z błędami grubymi. W związku z tym proponuje zarówno we wcześniejszych publikacjach jak też w recenzowanej rozprawie zastosowanie dodatkowych (wirtualnych) modeli funkcjonalnych, absorbujących tego rodzaju obserwacje.

Str. 13. Uwagi do wzorów (1.12), (1.13) , (1.14): Otóż *Huber* (1981) nie definiował ani nie używał wagi w postaci (1.12): $\partial\rho(v)/\partial(v^2)$. Używał natomiast wagę w postaci (1.14), która jak twierdzi *Holland* (1977) została zdefiniowana przez *Beaton i Tukey* (1974). Aby jednak definicja (1.14) nie prowadziła do nieosobliwości potrzeba by do wzoru (1.14) dołączyć warunek, że jeśli v = 0 wtedy waga równa się *lim* $[\psi(v)/(2^*v)]$ $(v\rightarrow 0)$. Proszę to sprawdzić dla funkcji parzystej ale bez argumentu kwadratowego, na przykład: $\rho(v)$=cosh(v)=[exp(v)+exp(-v)]/2 (funkcja o wykresie krzywej łańcuchowej, prowadząca do estymatora słabego) gdzie takie uzupełnienie definicji (1.14) jest konieczne. Aby zachodziła równoważność (1.12) i (1.14) trzeba by ograniczyć się np. do funkcji z argumentem kwadratowym (v^2). Wtedy w (1.14) poprzez uproszczenie ułamka nastąpi wyeliminowanie niewymierności w mianowniku. Chociaż może to być kwestia mało istotna ale bezpośrednia definicja wagi w postaci (1.12) (dla funkcji z argumentem kwadratowym) była zapisana pierwotnie po polsku (1980 (GiK) lub RTN - Prace Mat.-Fiz. Miscellanea 1978).

Str. 16. Przykład rachunkowy jest dobrą ilustracją efektu estymacji mocnej. Jednakże można zapytać, co stanie się z wynikiem estymacji, gdy liczba obserwacji w dwóch grupach będzie porównywalna? Może wtedy należy przyjąć niezależnie dwa rozwiązania jako jednakowo prawdopodobne i dokonać interpretacji przyczynowej takiego wyniku (myślę tu w szczególności o analizie przemieszczeń).

Str. 17. Jeśli np. $Y_{(1)}$ jest zmienną losową to dlaczego jej rozkład nie oznacza się konsekwentnie przez $P_{Y(1)}$ tylko przez $P_{X(1)}$ (przypisuje się wskaźnik parametru odpowiadającej gałęzi modelu funkcjonalnego)? Być może chodzi tu o jakieś precyzyjne oznaczenia pojęć, które nie są dla mnie klarowne?

Str. 18. (podobnie jak na str. 17). Modele probabilistyczne, oznaczone symbolicznie $P_{X(1)}$, $P_{X(2)}$ nie odnoszą się w istocie do parametrów $X_{(1)}$, $X_{(2)}$ (użyte we wskaźnikach dolnych) tylko do obserwacji, czyli do realizacji odpowiadających zmiennych losowych $Y_{(1)}$, $Y_{(2)}$. Podobne oznaczenia są w dalszym ciągu kontynuowane. Ponieważ odbywa się to bez istotnej szkody dla klarowności wykładu więc nie będę już do tego ponownie nawiązywać. Na tej stronie jest podany przykładowo skutek zastosowania metody $\boldsymbol{M_{split}}$ w porównaniu z wynikami ***NK*** dla zbiorów uporządkowanych. Myślę, że jest to bardzo dobre wprowadzenie do teorii metody – ilustruje cel, do którego zmierzamy.

Str 19. Opis teoretyczny metody zawiera pewne „skróty myślowe". W związku z tym pytania:

a) Doktorant używając pojęcia „elementarny potencjał rozszczepiania" powołuje się na oryginalne prace autora metody. Czy ze względu na wagę tego pojęcia dla całej pracy można wskazać jakąś teoretyczną (probabilistyczną) genezę wzoru (2.1.3) na tzw. potencjał elementarny?

b) Czy druga równość we wzorze (2.1.3) jest formalnie twierdzeniem? Dobrze byłoby podać przykład na bazie rozkładu normalnego (po podstawieniu jest ok.).

Str. 22. w. 4d. Jest $p_i /2\sigma_o^2(2\pi)^{1/2}$. Powinno być: $p_i^{\ 1/2} / (\sigma_o \cdot (2\pi)^{1/2})$ lub $1 / (\sigma_o \cdot m_i \cdot (2\pi)^{1/2})$ (pomijam wskaźniki rozszczepienia 1,2) oraz we wzorach (2.2.5) jest $p_i\, v_i^2 / 2\sigma_o^2$ a powinno być $p_i\, v_i^2 /(2\sigma_o^2)$ bo inaczej będzie najpierw dzielenie przez 2, a następnie mnożenie przez σ_o^2.

Str 25. w. 5-6d. Zdanie „Oznacza to, że odpowiadająca im obserwacja y_i nie została zidentyfikowana jako realizacja żadnej ze zmiennych losowych .... Taka sytuacja prowadzi do zaburzeń ***Msplit*** estymatorów, aż do ich radykalnego załamania się". Ok. ale co można wtedy uczynić w sytuacji praktycznej ? Myślę bowiem, by metoda ***M$_{split}$***, wnosząca bardzo interesującą ideę do metod estymacji, nie pozostała tylko w sferze teorii.

Str. 29. p. 2.4 w 13d. W argumentach dystrybuant podano jakoby obserwacje y były rozszczepione, bo przyporządkowano im indeksy (1) (2). Tymczasem z poprzednich wywodów wynika, że rozszczepiony jest tylko model funkcjonalny z parametrami, jak np. w (2.3.12), natomiast wektor obserwacyjny **y** jest w obu rozszczepionych modelach ten sam – składowe tego wektora brane są ze wspólnego zbioru obserwacyjnego $\Omega=\Omega_1\cup\Omega_2$. We wzorach na kolejnej stronie (30) jest już chyba tak jak powinno być. Generalnie, rozwiązania typu „***Shift***" mogą być szczególnie efektywne w zastosowaniach do geodezyjnych pomiarów i analiz przemieszczeń pionowych.

Konkluzja

Pomimo pewnych uwag krytycznych, z całej treści recenzowanej pracy wynoszę, że **jest ona wystarczającym dziełem na poziomie pracy doktorskiej**. Treść pracy dokumentuje wiedzę doktoranta; tezy mają znaczenie naukowe (poznawcze) i praktyczne. Doktorant nakreślił cele badawcze, przedstawił wyniki oraz wnioski dotyczące własności i pozytywnych efektów zastosowania nowej metody estymacji, potwierdzając tym samym tezy pracy. Generalnie więc recenzowana praca spełnia wymogi odpowiednich przepisów prawnych dotyczących rozpraw doktorskich. Drobne kwestie krytyczne lub dyskusyjne wyjaśnią się jak sądzę na obronie.

Biorąc pod uwagę powyższe, wnoszę o przyjęcie tej rozprawy jako spełniającej wymogi prac doktorskich i dopuszczenie doktoranta do publicznej obrony rozprawy, zgodnie z procedurą przewodu doktorskiego.

Roman Kadaj