

## RECENZJA

### **Rozprawy doktorskiej mgr inż. Marka Huberta Zienkiewicza nt. Wybrane, teoretyczne i aplikacyjne własności $M_{SPLIT}$ estymacji”**

#### **1. Istotność problematyki badawczej**

Podjęta przez Doktoranta problematyka badawcza osadzona jest, ogólnie mówiąc, w teorii estymacji, a ściślej – w teorii  $M_{SPLIT}$  estymacji opracowanej przez Prof. dr hab. Zbigniewa Wiśniewskiego i rozmaitych jej odmianach i rozwinięciach. Teoria ta stanowi nie tylko oryginalne rozszerzenie dotychczasowej metodologii opracowania geodezyjnych układów obserwacyjnych, ale także niezaprzeczalny wkład myśli geodezyjnej do ogólnego dorobku statystyki matematycznej. Przed dyscypliną geodezyjną stawiane są coraz to bardziej złożone zadania pomiarowe, wymagające posługiwania się coraz bardziej skomplikowanymi modelami funkcjonalnymi i stochastycznymi oraz dokonywania związanych z nimi analiz. Jest zatem potrzebne dalsze rozwijanie i doskonalenie teorii  $M_{SPLIT}$  estymacji i uaktualnianie obszaru jej zastosowań.

Podjęta problematyka jest więc aktualna i ma duże znaczenie dla rozwoju metod opracowania wyników pomiaru, tak pod względem pojęciowym jak i aplikacyjnym.

#### **2. Krótka charakterystyka rozprawy**

##### Statystyka rozprawy

Liczba stron – 113, liczba tablic - 14, liczba rysunków – 22, liczba pozycji bibliograficznych - 122, w tym własnych -2 (1 pozycja w Survey Review, 1 pozycja w Acta Geodynamica et Geomaterialia), współautorskich – 2 (1 pozycja w Journal of Surveying Engineering, 1 pozycja w Technical Sciences). Journal of Surveying Engineering, Acta Geodynamica et Geomaterialia oraz Survey Review są czasopismami posiadającymi współczynnik wpływu (impact factor IF) i wpisane zostały do bazy Journal Citation Reports. Technical Sciences (UWM) jest czasopismem o zasięgu międzynarodowym.

## Syntetyczny zarys rozprawy

Po wprowadzeniu do problematyki  $M_{SPLIT}$  estymacji Doktorant przedstawia w Rozdziale 1  $M$ -estymację jako uogólnienie Metody Największej Wiarygodności (MNW). Omawia przy tym istotne w projektowaniu  $M$ -estymatorów funkcje teoretycznych poprawek  $v_i$ , tj. funkcję wpływu i funkcję wagową, oraz zachodzące między nimi związki. Rozdział 2 poświęcony jest przedstawieniu podstaw teoretycznych  $M_{SPLIT}$  estymacji oraz jej rozwinięć (kwadratowa  $M_{SPLIT}$ ,  $M_{SPLIT(q)}$ , Shift- $M_{SPLIT}$ ). W Rozdziale 3 Doktorant omawia zaproponowany przezeń sposób oceny dokładności estymatorów w kwadratowej  $M_{SHIFT}$  umożliwiający ocenę dokładności poprawek wyrównawczych i wyrównanych obserwacji. W Rozdziale 4 przedstawiona jest analiza estymacji  $M_{SPLIT}$  i Shift- $M_{SPLIT}$ , uzupełnionych o wirtualne modele funkcjonalne mające podnieść odporność tych estymacji. Modele te stanowią własną koncepcję Doktoranta zaprezentowaną już w Jego wcześniejszych publikacjach. Rozdział 5 poświęcony jest numerycznej analizie porównawczej odporności na błędy grube  $M_{SPLIT}$  estymacji i wybranych odpornych  $M$ -estymacji. W Rozdziale 6 Doktorant dokonuje uogólnienia kwadratowej  $M_{SPLIT}$  estymacji na przypadek obserwacji zależnych. Rozdział 7 „Wnioski” zawiera podsumowanie całości dokonań oraz zasygnalizowanie kierunku możliwych dalszych badań.

## **2. Podstawowe cele rozprawy i ocena ich realizacji**

Doktorant formułuje następujące cele badawcze (cyt.) :

- I. uzupełnienie  $M_{SPLIT}$  estymacji o statystyczny model obserwacji;
- II. opracowanie zasad oceny dokładności  $M_{SPLIT}$  estymatorów, w tym zasad estymacji rozszczerzonych współczynników wariancji;
- III. rozwinięcie teorii i analiza odpornej estymacji przesunięcia w rozszczerzonym modelu funkcjonalnym;
- IV. analiza  $M_{SPLIT}$  estymacji jako alternatywy dla odpornych  $M$ -estymacji;
- V. uogólnienie metody  $M_{SPLIT}$  estymacji na przypadek zmiennych zależnych.

Ad I. Doktorant pokazał, iż w uzupełnieniu do definicyjnej  $M_{SPLIT}$  estymacji tj. estymacji realizowanej dla rozszczerzonych modeli funkcjonalnych możliwe jest też jej rozszerzenie o rozszczerzone modele stochastyczne. Ściśle rzecz biorąc, w rozszerzeniu tym przy wspólnej macierzy kofaktorów rozszczerzeniu podlegają jedynie współczynniki wariancji. Wartościowe jest wyprowadzenie estymatorów tych współczynników przy zastosowaniu metod estymacji kwadratowej i zbadanie właściwości tychże estymatorów.

Ad II. Ocena dokładności estymatorów parametrów modelu jest elementem niezbędnym w każdym rodzaju estymacji. Powinna być więc także możliwa w  $M_{SPLIT}$  estymacji. Stąd też wyprowadzenia w tym rozdziale stanowią cenne uzupełnienie podstawowej funkcji  $M_{SPLIT}$  estymacji jaką jest samo wyznaczanie estymatorów parametrów modelu.

Z uwagi na nieunikniony przybliżony charakter wyznaczonych konkurencyjnych macierzy kowariancji, wszelkie dalsze wyprowadzenia dokładnościowe będą obarczone pewnym stopniem przybliżenia. Zgodności oszacowań (wyrażone w postaci zapisu symbolicznego) dla  $q = 1$  z oszacowaniami według MNK stanowią jedynie częściowe potwierdzenie poprawności oszacowań dla  $q > 1$ . Zamieszczone przykłady numeryczne pozwalają stwierdzić praktyczną porównywalność oszacowań dokładnościowych dla parametrów modelu, poprawek wyrównawczych oraz wyrównanych obserwacji między  $M_{SPLIT}$  estymacją a MNK. Według Recenzenta spostrzeżenie zawarte w ostatnich dwóch zdaniach wymagałoby skrupulatnych rozważań i sprawdzeń. Poza odwołaniem się bowiem do wirtualnych modeli funkcjonalnych podnoszących niewatpliwie odporność  $M_{SPLIT}$  estymacji, niezbędne byłoby także uwzględnienie możliwości użycia bazujących na MNK zaawansowanych sposobów analizy deformacji sieci geodezyjnych o wysokich parametrach odpornościowych.

Ad III. Wyprowadzono sposób wyznaczenia estymatorów przesunięcia oraz parametrów wirtualnego modelu funkcjonalnego mający przebieg o charakterze iteracyjnym. Pokazano jego zgodność z formułą iteracyjną stosowaną w klasycznej Shift- $M_{SPLIT}$  estymacji, gdzie nie występuje wirtualny model funkcjonalny. W przykładzie numerycznym Doktorant prezentuje korzyści odpornościowe z tytułu zastosowania wirtualnego modelu funkcjonalnego. Przydałoby się poświęcenie nieco więcej uwagi wynikom dla wariantu V, gdzie każda z trzech obserwacji dochodzących do p-tu referencyjnego została obarczona błędem grubym wynikającym z przemieszczenia się tego punktu. Należałoby tu zbadać czy łączny wektor błędów grubych nie należy przypadkiem do przestrzeni zaburzeń niedostrzegalnych modelu wyrównawczego.

Ad IV. Na podstawie wykonanych testów numerycznych bazujących na metodzie Monte Carlo Doktorant stwierdza, iż, w ogólności,  $M_{SPLIT}$  estymacja wykazuje porównywalne własności odpornościowe jak metody zaliczane do klasy odpornych M-estymacji. W szczególności, przy niewielkiej liczbie błędów grubych o niedużej wielkości, odporność  $M_{SPLIT}$  wykazuje nawet przewagę. *Ważne jest spostrzeżenie Doktoranta, iż odporność  $M_{SPLIT}$  estymatorów nie jest zależna od subiektywnie ustalanych parametrów sterujących.* Trudno jest jednakże analizować wyniki testów celem zweryfikowania słuszności sformułowanych na ich podstawie wniosków z racji braku szczegółowych informacji o sposobie realizowania  $M_{SPLIT}$  estymacji w warunkach występowania kilku błędów grubych.

Ad V. Zastosowany został jeden z możliwych sposobów dekorelowania układu obserwacyjnego. Jednakże każdy użyty sposób powoduje, iż w wyniku przekształcenia dekorelującego otrzymujemy zamiast oryginalnych obserwacji wielkości stanowiące ich liniowe funkcje. Takie przekształcenie w znacznym stopniu utrudnia detekcję i identyfikację obserwacji odstających.

Dlatego też w badaniach nad efektywnością tzw. outlier detection według MNK zrezygnowano z przekształcenia dekorelującego na rzecz statystyk funkcjonujących w zbiorze oryginalnych obserwacji skorelowanych. Jak dotąd Recenzent nie spotkał się z terminem uogólnionej metody najmniejszych kwadratów (UMNK) użytym w odniesieniu do postępowania estymacyjnego dla przypadku obserwacji skorelowanych.

Przykład pojedynczego błędu grubego nie jest reprezentatywny dla oceny efektywności postępowania identyfikacyjnego.

Dowód na zgodność estymacji  $M_{SPLIT}$  rozszerzonej na przypadek obserwacji skorelowanych z UMNK można by nieco uprościć odwołując się do formalnego zapisu kryteriów optymalizacyjnych obydwu tych estymacji (w tym – funkcji celu dla kwadratowej  $M_{SPLIT}$  estymacji).

Niczym nie poparte jest stwierdzenie zawarte w 2 i 3 wierszu na str. 99, podsumowujące wyniki badań w wariacie II. Nie jest bowiem jasne skąd biorą się tego typu przewidywania.

*Mimo zgłoszonych pewnych zastrzeżeń, ułożonych głównie w warstwie interpretacyjnej i opisowej wyników przykładów numerycznych a nie teoretycznej, stwierdzam, iż wszystkie ww. cele zostały pomyślnie zrealizowane.*

### **3. Uwagi polemiczne**

#### **a. sformułowanie tematu rozprawy**

Przyjęte sformułowanie tematu rozprawy nie uwypukla zadań, jakie ma Doktorant do wykonania. Byłby ono bardziej odpowiednie jako tytuł podręcznika omawiającego pewne własności  $M_{SPLIT}$  estymacji. W moim odczuciu znacznie właściwszy byłby temat sformułowany np. jako „Próba uzupełnienia i poszerzenia teorii  $M_{SPLIT}$  estymacji z uwzględnieniem zakresu jej zastosowań”.

Niezależnie od dyskusji nad odpowiednością sformułowania tematu, ocenę rozprawy odnoszę do wyszczególnionych klarownie przez Doktoranta celów badawczych, odpowiadających zasugerowanej wyżej modyfikacji sformułowania tematu.

b) termin *funkcja gęstości prawdopodobieństwa* można spotkać w starszych opracowaniach z zakresu teorii prawdopodobieństwa i statystyki matematycznej. W nowszych opracowaniach stosowany jest termin *gęstość prawdopodobieństwa*. W języku angielskim mamy też rozróżnienie *probability density* i *density function* (pełniej – *probabilisty density function (pdf)*), przy czym ten drugi termin oznacza funkcję reprezentującą gęstość a nie funkcję gęstości, czyli w rozumieniu dosłownym funkcję, której argumentem jest gęstość.

c) Estymacja  $M_{\text{SPLIT}}$  jest wywiedzioną matematycznie, spójną teorią estymacyjną o dużym potencjale pojęciowym i aplikacyjnym. Świadczą o tym dokonane już jej rozwinięcia takie jak kwadratowa  $M_{\text{SPLIT}}$ ,  $M_{\text{SPLIT}(q)}$ ,  $M_{\text{SHIFT}}$  a także możliwość operowania modelami wirtualnymi, w czym istotny wkład twórczy miał Doktorant. Do własności aplikacyjnych Recenzent zalicza też tzw. własności diagnostyczne dotyczące detekcji oraz identyfikacji błędów grubych w obserwacjach. Własności te mają istotne znaczenie dla ostatecznych wyników estymacji, zważywszy, że na ogół wiedza użytkownika o możliwej liczbie błędów grubych jest znikoma. Stosowane w praktyce metody estymacji (NK, metody odporne) realizowane są według pewnej iteracyjnej strategii identyfikacyjnej, umożliwiającej identyfikację kilku obserwacji zawierających błędy grube. W przypadku estymacji  $M_{\text{SPLIT}}$  w różnych jej rozwinięciach, rozszerzonej o możliwość operowania modelami wirtualnymi, wystąpiłaby trudność w skonstruowaniu strategii identyfikacyjnej. O refleksje w tej kwestii chciałbym prosić Doktoranta w trakcie publicznej obrony rozprawy. Zaznaczam przy tym, iż problematyka ta wykracza nieco poza ramy rozprawy.

d) Przydałyby się jakieś praktyczne zasady stosowania modeli wirtualnych (kiedy powinny być użyte, a kiedy nie są potrzebne) oraz ustalania liczby konkurujących modeli funkcjonalnych ( $q$ ). Doktorant mógłby rozważyć celowość uszczegółowienia terminu *modele wirtualne*, tak by na przykład brzmiał *wirtualne modele absorpcyjne*. Bowiem już w przypadku 2 obserwacji nie pasujących do wyróżnionych konkurujących ze sobą modeli funkcjonalnych, nie mamy możliwości dokonania jakiegokolwiek identyfikacji stopnia obciążenia każdej z nich błędem grubym.

d) przypadek zmiennych zależnych można by zastąpić zwrotem „przypadek obserwacji zależnych”, gdyż w gruncie rzeczy rozpatrywana jest w rozprawie jedynie zależność zachodząca między obserwacjami.

Powyższe uwagi są spostrzeżeniami o charakterze dyskusyjnym, wynikającymi z nieco odmiennego spojrzenia recenzenta na kwestie natury terminologicznej, definicyjnej i metodologicznej. Uwagi te nie kwestionują poprawności rozumowania i nie obniżają wysokiej oceny rozprawy.

### Uwagi szczegółowe

- str. 19, wiersz nad wzorem (2.1.3); obserwacja  $y_i$  jest elementem zbioru  $\Omega$ , a nie nim samym;
- str. 40, wzory (3.2.12) i (3.2.13); po lewostronnym i prawostronnym pomnożeniu 1-go równania, w otrzymanym w ten sposób równaniu 2-gim występuje składnik z przestawionymi czynnikami. Z racji struktury tego składnika przestawienie to nie ma zapewne znaczenia dla poprawności wzoru końcowego. Patrząc jednakże od strony formalnej, tego przestawienia nie powinno być.
- nie wyszczególniam kilku drobnych usterek natury redakcyjnej. .

### 4. Wniosek końcowy

Na podstawie szczegółowej analizy przedstawionej mi do recenzji rozprawy doktorskiej bardzo wysoko oceniam wkład Doktoranta w doskonalenie  $M_{SPLIT}$  estymacji w sferze teoretycznej a także dostarczenie cennych informacji o jej funkcjonowaniu w warunkach występowania zakłóceń w informacji wejściowej w postaci błędów grubych w obserwacjach. Szczególnie wartościowe jest zastosowanie Jego własnej koncepcji wirtualnych modeli funkcjonalnych, podnoszące poziom odporności  $M_{SPLIT}$ , oraz Shift- $M_{SPLIT}$  estymacji.

Stwierdzam, że mgr inż. Marek Hubert Zienkiewicz wykazał się umiejętnością samodzielnej pracy naukowej, swobodnym poruszaniem się w algebrze macierzy, metodach estymacji i metodach odpornej M-estymacji, a w szczególności w różnych odmianach  $M_{SPLIT}$  estymacji. Duże uznanie pragnę wyrazić Doktorantowi z racji konstruktywnego wykorzystania przezeń bogatej literatury przedmiotu a także Jego wcześniejszych publikacji.

W mojej opinii, recenzowana rozprawa doktorska zasługuje na wyróżnienie.

Rozprawa spełnia warunki stawiane rozprawom doktorskim, określone w art. 13 ustawy z dnia 14 marca 2003 roku o stopniach i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz.U. z 2003 r. nr 65 poz. 595 ze zmianą w Dz. U. z 20005 r. nr 164, poz. 1365).

Wnoszę zatem do Rady Wydziału Geodezji, Inżynierii Przestrzennej i Budownictwa Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego w Olsztynie o dopuszczenie rozprawy doktorskiej mgr inż. Marka Huberta Zienkiewicza do publicznej obrony.

Warszawa, 31 lipca 2017 r.

