

Kraków 18.05.2021 r.

**Katedra Geoinformatyki i Informatyki Stosowanej**

Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska

Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica

**Rozprawa doktorska**

**Zastosowanie metod optymalizacji globalnej w rozwiązaniu łączonego zagadnienia odwrotnego w wariancie Pareto dla wybranych danych geofizycznych**

Autor: mgr inż. Katarzyna Miernik

Promotor: dr hab. inż. Tomasz Danek, prof. AGH

Celem rozprawy doktorskiej było rozwiązanie problemu łączonej inwersji w wariancie Pareto dla danych geofizycznych pochodzących z co najmniej dwóch źródeł z zastosowaniem wybranych metod optymalizacji globalnej. Aby zrealizować ten cel stworzone zostało oprogramowanie MARIA (*Modular Approach Robust Inversion Algoritm*), będące na tyle elastyczne, żeby możliwa była podmiana zarówno silnika optymalizacyjnego jak i samych modułów realizujących zagadnienie proste dla poszczególnych metod geofizycznych.

Implementacja została podzielona na trzy etapy. Pierwszy obejmował stworzenie narzędzia rozwiązującego problem inwersji łączonej Pareto dla danych grawimetrycznych i magnetotellurycznych z wykorzystaniem silnika optymalizacyjnego opartego o algorytm PSO (*Particle Swarm Optimization*) i z możliwością zadania więzów oraz wprowadzenia modelu w wariancie ostrych granic (*SBI - ang. Sharp Boundary Interfaces*).

Moduł grawimetryczny zaimplementowano uwzględniając zasadę superpozycji, gdzie każde oczko siatki obliczeniowej traktowane jest jako prostokąt z przypisaną wartością gęstości, a za wynik końcowy uznaje się sumę wartości efektu grawitacyjnego wszystkich oczek siatki. Moduł magnetotelluryczny został oparty o rozwiązanie uprzednio zaprogramowane w języku FORTRAN, bazujące na różnicowej metodzie aproksymacji równań Helmholtza z zastosowaniem warunków brzegowych Dirichleta.

Problem regularyzacji rozwiązano dzięki zdefiniowaniu modelu w wariancie ostrych granic jako zbioru poligonów, co znacznie go upraszcza. Dzięki temu podejściu uzyskano znaczną redukcję wymiarowości rozwiązania oraz zapewniono ułatwienie użycia algorytmów stochastycznych. Zastosowane podejście Pareto wykluczyło konieczność skalowania i wagowania, zakładając, że propozycja nowego rozwiązania może być przyjęta jedynie

w przypadku, w którym ulepsza ono przynajmniej jedną funkcję celu bez pogorszenia żadnej innej.

Implementacja pierwszego etapu została zrealizowana w ramach projektu pt. „*Innowacyjna technologia estymacji parametrów petrofizycznych ośrodka geologicznego z zastosowaniem algorytmów joint inversion*”, przez firmę Geopartner Sp. Z o. o. we współpracy z Akademią Górniczo- Hutniczą im. S. Staszica w Krakowie i współfinansowanego przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju, pod numerem POIG.01.04.00-12-279/13. Implementacji dokonano w języku C z użyciem biblioteki *gsl* do obliczeń numerycznych oraz *GTK* dla interfejsu graficznego. Obliczenia zrównoleglono na CPU wykorzystując bibliotekę *OpenMP*. Po implementacji przeprowadzono testy na danych syntetycznych i rzeczywistych, aby wykazać poprawność przebiegu inwersji.

W drugim etapie wymieniono moduł modelowania magnetotellurycznego na magnetometryczny. Wykonano dwa testy na danych syntetycznych potwierdzające poprawność działania oprogramowania.

Trzecim etapem było uruchomienie inwersji w środowisku R korzystając z wybranego wbudowanego algorytmu optymalizacyjnego oraz odpowiednio przygotowanych modułów rozwiązujących zagadnienia proste z poprzedniego etapu. W tym celu wyodrębniono *forward solvers* grawimetryczny i magnetometryczny oraz zintegrowano je ze środowiskiem R. Następnie przeprowadzono optymalizację multykryterialną w wariancie szeregowym oraz równoległym korzystając z algorytmu optymalizacyjnego *NSGA2* z pakietu *mco*. Zrównoleglenie dało 40-krotne przyspieszenie. Testy na danych syntetycznych wykazały poprawność działania rozwiązania.

Inwersja połączona danych geofizycznych w wariancie Pareto umożliwiła odzyskanie parametrów modelu takich jak współrzędne geometryczne ciała zaburzającego/warstwy oraz gęstość, oporność i podatność magnetyczną ciała zaburzającego/warstwy oraz tła bez konieczności wagowania i skalowania funkcji celu.

W pracy wykazano, że wykorzystując metody potencjalne do odzyskiwania informacji o geometrii ciała zalegającego na niewielkiej głębokości o wiele lepiej sprawdza się analiza całego zestawu uzyskanych modeli zamiast pojedynczego. Z uwagi na możliwość ograniczenia negatywnych efektów multimodalności i ekwiwalencji takie podejście wydaje się być obiecujące.

Dekompozycja funkcjonalna i domenowa w algorytmie inwersji Pareto znacząco skraca czas obliczeń, co umożliwia praktyczne wykorzystanie kodu w kompleksowej interpretacji danych geofizycznych.

Mając na uwadze widoczny w ostatnich latach znaczący wzrost liczby oraz popularności algorytmów optymalizacji globalnej, rozwiązanie przedstawione w niniejszej pracy wydaje się być perspektywiczne. MARIA 1.0 została stworzona jako oprogramowanie komercyjne, ale jej wersja 3.0, przeniesiona do środowiska R jest ogólnie dostępna na repozytorium GIT pod linkiem [https://github.com/kamiernik/maria\\_3.0.git](https://github.com/kamiernik/maria_3.0.git)