Olsztyn, 2.12.2024

Dr hab. Leszek Błaszkiewicz, prof. UWM

Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie

Centrum Diagnostyki Radiowej Środowiska Kosmicznego

# Opinia promotorska na temat pracy doktorskiej mgr inż. Pawła Fliska „Monitoring nieregularności jonosferycznych w oparciu o obserwacje astrofizyczne systemu LOFAR”

Pan mgr inż. Paweł Flisek w ramach pracy doktorskiej, realizowanej pod moją promotorską opieką, prowadził szereg prac i badań, które dotyczyły opracowania i stworzenia nowych narzędzi do analizy danych otrzymywanych dzięki radioteleskopowi LOFAR pod kątem ich wykorzystania do monitorowania zjawisk zachodzących w obrębie jonosfery. Instrument radioastronomiczny LOFAR pozwala na detekcję fal radiowych w zakresie 10-250 MHz, a co za tym idzie sygnały od obiektów spoza ziemskiej atmosfery narażone są na zniekształcenia wywołane jej wpływem poprzez zjawiska takie jak scyntylacje. W obserwacjach astrofizycznych zjawiska te jako niepożądane zakłócenia są eliminowane w fazie redukcji danych obserwacyjnych. Jednakże z punktu widzenia znajomości stanu i dynamiki jonosfery, biorąc pod uwagę czułość i rozdzielczość systemu LOFAR, wnoszą niezwykły wkład w możliwość monitorowania pewnych jej parametrów.

Przedstawiona przez doktoranta rozprawa doktorska obejmuje, w klasycznym formacie, część literaturową i doświadczalną, które są poprzedzone krótkim wstępem oraz przedstawieniem celów pracy i przede wszystkim postawieniem hipotezy badawczej.

Część literaturowa zawiera się w rozdziałach od 1 do 3 i zawiera szczegółowy opis propagacji fal radiowych przez obszary zjonizowane, zasadę działania systemu LOFAR, co jest kluczowe dla pracy oraz opis jonosfery ze szczególnym uwzględnieniem nieregularności. Ponadto w rozdziale 3 przedstawione zostały też klasyczne metody badania niejednorodności w jonosferze. Rozdziały 1, 2 i 3 obejmują opis zagadnień badanych w części eksperymentalnej, na co składają się też opisy źródeł promieniowania radiowego monitorowanych przez Autora.

Część wprowadzająca do przedstawienia wyników badań została ona napisana poprawnie merytorycznie oraz stylistycznie w zakresie niezbędnym do poprawnego zrozumienia i interpretacji wyników zawartych w części doświadczalnej pracy.

Rozdziały 4 i 5 to już bardzo szczegółowe przedstawienie metodologii zaimplementowanej do analizy danych obserwacyjnych uzyskanych w obserwacjach scyntylacyjnych systemem LOFAR. Przede wszystkim pokazano nowatorskie zastosowanie indeksu $S_4$ do

wielowymiarowej analizy niejednorodności w jonosferze. W rozdziale 4, który jest zasadniczym doświadczalnym elementem pracy, realizującym weryfikację postawionej we wstępie hipotezy badawczej mówiącej o szczególnej roli radioteleskopu LOFAR w badaniach jonosfery, przedstawiono szczegółowo wiele przypadków obserwacji tym radioteleskopem, także z odniesieniem do danych związanych ze stanem jonosfery, uzyskiwanych z obserwacji sygnałów satelitów systemu GNSS.

Powyższe analizy i wnioski, bazujące na stworzonym przez doktoranta autorskim oprogramowaniu, zaowocowało stworzeniem metodologii automatyzującej procedury przetwarzania danych, nazywanej Pipeline $S_4$.

Wreszcie w rozdziale 5 pracy zaprezentowane zostały wyników analizy obserwacji bardzo szczególnych źródeł promieniowania radiowego pochodzenia astrofizycznego, a mianowicie pulsarów. Przy analizie danych zaobserwowano bardzo charakterystyczne struktury w widmach dynamicznych, które są bardzo podobne do obrazu scyntylacji jonosferycznych szczegółowo badanych w rozdziale 4 źródeł Cas A i Cyg A. Autor postawił hipotezę, że jest to wprost związane z propagacją sygnały przez jonosferę, co jest bardzo prawdopodobne. I w tym wypadku doktorant opracował nowe metody przetwarzania danych z systemu LOFAR i wydatnie je zautomatyzował. Ponadto zaplanował i przeprowadził wspólne obserwacje ze stacją LOFAR PL611 w Łazach, a potem dokonał analizy wyników celem weryfikacji postawionej hipotezy.

Praca składa się ponadto ze szczegółowego opisu zespołu programów do przetwarzania i wizualizacji danych obserwacyjnych w radioteleskopu LOFAR, Solar and Scintillation LOFAR Utilisation Tool, który jako bardzo ważny aplikacyjny aspekt pracy doktoranta został dołączony w formie załącznika.

Reasumując, wśród najistotniejszych osiągnięć badawczych mgr inż. Pawła Fliska uzyskanych w ramach pracy doktorskiej można wymienić: (1) Opracowanie metodologii dla systemu przetwarzania danych astrofizycznych z radioteleskopu LOFAR, Pipeline S4 i wykonanie tego systemu; (2) pokazanie na licznych przykładach przydatności swoich prac poprzez wielowymiarową analizę danych obserwacyjnych oraz analizę porównawczą z danymi GNSS; (3) pokazano wyniki dla konkretnych niejednorodności jonosferycznych zaobserwowanych w danych z systemu LOFAR; (4) przedstawiono opracowaną przez doktoranta metodologię tworzenia widm dynamicznych pulsarów i pokazano wyniki analiz dla kilku przykładów.

Generalnie warto zauważyć, że analiza danych w pracy została przeprowadzona z dużą precyzją. Autor starannie opisuje metody kalibracji oraz uwzględnia potencjalne błędy, takie jak wpływ zegarów czy polaryzacji. Porównanie wyników uzyskanych z wykorzystaniem LOFAR z tradycyjnymi metodami monitorowania jonosfery, np. systemem GNSS, pozwala na wyciągnięcie kompleksowych wniosków dotyczących mechanizmów powstawania nieregularności i ich szczegółowych charakterystyk. Doktorant wykazał się umiejętnością planowania i prowadzenia pracy badawczej na wysokim poziomie, właściwego doboru technik badawczych i wyciągania rzetelnych wniosków na podstawie uzyskanych wyników badań.

Rozprawa doktorska Pana mgr inż. Pawła Fliska została napisana przejrzyście, a wyniki badań zostały przedstawione w sposób systematyczny. Autor posługuje się precyzyjnym

językiem naukowym, jednocześnie unikając zbędnego żargonu, co sprawia, że praca jest przystępna również dla czytelników spoza wąskiego grona specjalistów.

Moja ocena całkowita pracy doktorskiej Pana mgr inż. Pawła Fliska jest bardzo wysoka. Autor udowodnił swoje kompetencje badawcze i umiejętność rozwiązywania złożonych problemów naukowych, co czyni jego pracę istotnym wkładem w rozwój wiedzy nie tylko o ziemskiej jonosferze, ale także o metodach przetwarzania i analizy danych z systemu LOFAR. Ponadto uzyskane wyniki mogą przyczynić się do zwiększenia naszej wiedzy o propagacji sygnałów, a przez to wpłynąć na polepszenie dokładności pomiarów wykorzystywanych w lokalizacji, geoznakowaniu czy nawigacji.

Oceniając pozytywnie recenzowaną pracę stwierdzam, że spełnia ona wymogi stawiane rozprawom doktorskim.

Wnoszę, zatem do **Rady Naukowej Dyscypliny** *inżynieria lądowa, geodezja i transport* o przyjęcie rozprawy i dopuszczenie pana mgr inż. Pawła Fliska do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

Leszek Błaszkiewicz

