

Warszawa, 15.09.2023

dr hab. inż. Piotr Sameczyński, prof. uczelni
Instytut Systemów Elektronicznych
Wydział Elektroniki i Technik Informatycznych
Politechniki Warszawskiej
ul. Nowowiejska 15/19
00-665 Warszawa

*RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ
DLA RADY DYSCYPLINY „AUTOMATYKA, ELEKTRONIKA I
ELEKTROTECHNIKA” WOJSKOWEJ AKADEMII TECHNICZNEJ*

Tytuł rozprawy: *Metoda Estymacji Położenia Anteny Ręcznego Radaru Penetracji Gruntu.*

Autor rozprawy: ppłk mgr inż. Tomasz Kraszewski

1. Cel badań (w odniesieniu do tej rozprawy).

W ramach rozprawy doktorskiej mgr inż. Tomasz Kraszewski postawił dwie tezy, które brzmią odpowiednio:

- 1. Zastosowanie ultraszerokopasmowych modułów radiowych w lokalnym systemie pozycjonującym umożliwia estymację położenia i parametrów ruchu anteny ręcznego radaru GPR z wysoką dokładnością, z błędami pozycjonowania nieprzekraczającymi pojedynczych centymetrów.*
- 2. Zastosowanie w algorytmach filtracji Kalmana, służących do estymacji położenia i parametrów ruchu anteny ręcznego radaru GPR, modelu dynamiki opartego na zmodyfikowanym modelu ruchu wahadła matematycznego umożliwia znaczne zwiększenie dokładności estymacji położenia w porównaniu z filtrami Kalmana wykorzystującymi kinematyczne modele ruchu obiektu.*

Na podstawie treści postawionych tez doktorant zrealizował szereg zadań badawczych, takich jak:

- opracowanie koncepcji lokalnego radiotechnicznego systemu pozycjonującego, zawierającego ultraszerokopasmowe moduły radiowe, umożliwiającego estymację położenia i parametrów ruchu anteny ręcznego radaru GPR,
- opracowanie modeli dynamiki opisujących ruch anteny radaru HH-GPR, w tym autorskiego modelu dynamiki, opartego na zmodyfikowanym modelu ruchu wahadła matematycznego,

- opracowanie modeli obserwacji systemu pozycjonującego antenę radaru HH-GPR,
- opracowanie i implementację programową algorytmów estymacji położenia i parametrów ruchu anteny radaru HH-GPR, opartych na opracowanych przez autora modelach dynamiki i obserwacji,
- opracowanie i implementację programową zmodyfikowanej, sekwencyjnej wersji algorytmu estymacji położenia i parametrów ruchu anteny radaru HH-GPR, możliwej do zastosowania w rzeczywistym systemie pozycjonującym, w którym pomiary pochodzące z różnych par modułów ultraszerokopasmowych występują niejednocześnie i ze zmiennymi odstępami czasowymi,
- przeprowadzenie badań symulacyjnych opracowanego systemu pozycjonującego oraz algorytmów estymacji położenia i parametrów ruchu anteny radaru HH-GPR oraz dokonanie analizy ich wyników,
- przeprowadzenie badań opracowanego systemu pozycjonującego oraz algorytmów estymacji położenia i parametrów ruchu anteny radaru HH-GPR z wykorzystaniem rzeczywistych danych pomiarowych oraz dokonanie analizy ich wyników.

Celem wyżej wymienionych badań, było potwierdzenie postawionych tez.

W ramach prac nad dysertacją doktorant przeprowadził szczegółowy przegląd źródeł pierwotnych oraz pozycji literaturowych z nich korzystających na podstawie których wykazał lukę w obecnym stanie wiedzy dotyczącym pozycjonowania i wyznaczania położenia anten w georadarach ręcznych z wykorzystaniem precyzyjnych ultraszerokopasmowych modułów radiowych, które mogłyby też znaleźć zastosowanie w systemach pozycjonujących radaru HH-GPR (ang. *Hand-Held Ground Penetrating Radar*). Szczegółowe studia literaturowe przedstawione zostały w rozdziale 1 pt. „Analiza stanu wiedzy w dziedzinie rozprawy”. Dodatkowo, w ramach przeprowadzonych studiów literaturowych, Autor dostrzegł, że z racji ograniczonych opisów modelowania ruchu anteny nie znaleziono do tej pory informacji o modelu wykorzystującym podejście zaproponowane przez Autora, czyli modelu ruchu opartym na zmodyfikowanym modelu ruchu wahadła matematycznego. Na podstawie tej analizy autor zaproponował autorskie rozwiązanie problemu estymacji położenia anteny ręcznego radaru penetracji gruntu, które opisał szczegółowo w rozdziałach 3-5. Zaproponowana metoda została przetestowana symulacyjnie i z wykorzystaniem pomiarów w warunkach zbliżonych do rzeczywistych opisanych odpowiednio w rozdziałach 6 i 7, co potwierdziło określony przez Autora na początku cel pracy badawczej na podstawie postawionych dwóch przytoczonych w niniejszej recenzji tez rozprawy.

2. Charakter rozprawy.

W pracy autor przedstawił usystematyzowany stan wiedzy dotyczącej radarów do penetracji gruntu typu HH-GPR wraz ze szczegółowym opisem zaproponowanej metody estymacji położenia i parametrów ruchu anteny dla takiego sensora, realizowanej w systemie pozycjonującym wykorzystującym radiowe moduły ultraszerokopasmowe UWB (ang. *Ultra-*

Wide Band). W rozprawie przedstawiono koncepcję systemu, wykorzystującą cztery stacje bazowe, rozmieszczone w sąsiedztwie badanego terenu, wraz z modułami UWB umieszczonymi na dwóch elementach mobilnych systemu. W rozprawie pracy zaproponowano zastosowanie zmodyfikowanych równań opisujących ruch radaru HH-GPR do modelowania sposobu przemieszczania anteny podczas każdego pojedynczego skanowania. Wynikało to z faktu specyficznego kształtu trajektorii skanowania za pomocą radaru HH-GPR, który można przybliżyć fragmentem łuku, wykazującym analogię do ruchu wahadła matematycznego, Model ten został wykorzystany przez Autora do opracowania dwóch algorytmów filtracji sygnału, tj. rozszerzonego i bezśladowego filtru Kalmana. Działanie opracowanego systemu pozycjonowania z różnymi algorytmami filtracji Autor zbadał symulacyjnie oraz eksperymentalnie w warunkach zbliżonych do rzeczywistych. Na tej podstawie można określić charakter rozprawy, którą zaliczyć można do prac implementacyjno-doświadczalnych.

3. Sposób przeprowadzenia analizy źródeł. Sposób formułowania wniosków wynikających z analizy źródeł.

W pracy zamieszczono odwołania do 130 pozycji literaturowych opublikowanych w kraju i za granicą, w tym 8 artykułów naukowego autorstwa lub współautorstwa autora rozprawy. Stanowią one obszerne źródło informacji o zagadnieniach poruszanych w rozprawie. Z przeprowadzonej w rozprawie analizy literatury wynika, iż istnieje wiele rozwiązań obejmujących różne urządzenia i systemy nawigacyjne wykorzystywane do określania położenia anteny radaru GPR, niezbędnego w celu poprawnego obrazowania skanowanego obszaru. Większość rozwiązań dostępnych na rynku i tych opisanych w pracach badawczych przytoczonych przez Autora w analizie źródeł to rozwiązania dedykowane dla radarów GPR montowanych na większych mobilnych platformach lądowych, a ich zastosowanie w ręcznych kompaktowych radarach GPR byłoby problematyczne, ze względu na rozmiary, ciężar, pobór mocy, wymagania instalacyjne itp.

Informacje dostępne w literaturze światowej do których odniósł się Autor rozprawy opisującą w większości urządzenia i systemy georadarowe obejmujące zazwyczaj ich ogólną budowę, parametry, sposoby wykorzystania oraz ewentualnie wyniki dokonywanych z ich użyciem pomiarów. Pomimo szerokiego wykorzystania techniki georadarowej opisy wspierających pracę GPR systemów pozycjonujących są bardzo ograniczone, zwłaszcza jeżeli dotyczy to zagadnień ich modelowania oraz zastosowanych algorytmów estymacji położenia i parametrów opisujących ruch anteny radaru GPR. W związku z tym, wyniki badań takich algorytmów są również bardzo rzadko prezentowane w literaturze. Zagadnienie wyznaczania położenia anten w georadarach ręcznych w czasie rzeczywistym jest poruszane w nielicznych publikacjach i w bardzo ograniczonym zakresie. Tymczasem opracowanie takich systemów, posiadających cechy predestynujące je do zastosowania w radarach HH-GPR pozwoliłoby na zwiększenie bezpieczeństwa i skuteczności pracy operatora takiego urządzenia.

W analizowanych przez Autora artykułach naukowych nie znaleziono publikacji użycia ultraszerokopasmowych modułów radiowych, które zdaniem Autora mogłyby się bardzo dobrze sprawdzić w systemie pozycjonującym radaru HH-GPR. Dodatkowo, z racji

ograniczonych opisów modelowania ruchu anteny nie znaleziono informacji o modelu wykorzystującym podejście zaproponowane przez Autora, czyli modelu ruchu opartym na zmodyfikowanym modelu ruchu wahadła matematycznego.

Podsumowując, przeprowadzona w pracy analiza źródeł wykonana została poprawnie. W pierwszym rozdziale pracy, Autor bardzo skrupulatnie przeprowadził analizę stanu wiedzy w dziedzinie rozprawy, która jest dosyć szeroka. W analizie tej dokładnie opisane zostały przedstawione w literaturze rozwiązania dając tym samym klarowny obraz aktualnego stanu wiedzy na świecie i jednocześnie odniesienie do rozwiązań zaproponowanych przez Autora w pracy. Praktycznie wszystkie odwołania zawarte w literaturze to publikacje z ostatnich dwudziestu lat, przy czym duża część to najnowsze doniesienia z ostatnich 2-3 lat.

4. Rozwiązanie przedstawionego zadania, właściwości przyjętych metod i założeń.

Zaproponowane w dysertacji nowatorskie zastosowanie w algorytmach filtracji Kalmana, służących do estymacji położenia i parametrów ruchu anteny ręcznego radaru GPR, modelu dynamiki opartego na zmodyfikowanym modelu ruchu wahadła matematycznego umożliwia znaczne zwiększenie dokładności estymacji położenia w porównaniu z filtrami Kalmana wykorzystującymi kinematyczne modele ruchu obiektu, co zostało wykazane przez Autora poprzez wykonane symulacje, jak również przeprowadzone w warunkach zbliżonych do rzeczywistych pomiarach. Uzyskane wyniki przemawiają za słusznością przyjętych założeń projektowych oraz poprawnością zastosowanych metod modelowania ruchu anteny ręcznego radaru GPR.

5. Oryginalność rozprawy, samodzielny dorobek autora, pozycja rozprawy w stosunku do stanu wiedzy (poziom techniki) prezentowanego w literaturze światowej.

W rozprawie mgr inż. Tomasz Kraszewski zaproponował oryginalne podejście wykorzystania modelu dynamiki opartego na zmodyfikowanym modelu ruchu wahadła matematycznego w algorytmach filtracji Kalmana do estymacji położenia i parametrów ruchu anteny ręcznego radaru GPR.

Do najważniejszych elementów stanowiących oryginalny i twórczy wkład autora rozprawy zaliczyć należy:

- opracowanie modeli dynamiki opisujących ruch anteny radaru HH-GPR, w tym autorskiego modelu dynamiki, opartego na zmodyfikowanym modelu ruchu wahadła matematycznego,
- opracowanie modeli obserwacji systemu pozycjonującego antenę radaru HH-GPR,
- opracowanie i implementację programową algorytmów estymacji położenia i parametrów ruchu anteny radaru HH-GPR, opartych na opracowanych przez autora modelach dynamiki i obserwacji,
- opracowanie i implementację programową zmodyfikowanej, sekwencyjnej wersji algorytmu estymacji położenia i parametrów ruchu anteny radaru HH-GPR,

możliwej do zastosowania w rzeczywistym systemie pozycjonującym, w którym pomiary pochodzące z różnych par modułów ultraszerokopasmowych występują niejednocześnie i ze zmiennymi odstępami czasowymi,

- przeprowadzenie badań symulacyjnych opracowanego systemu pozycjonującego oraz algorytmów estymacji położenia i parametrów ruchu anteny radaru HH-GPR oraz dokonanie analizy ich wyników,
- przeprowadzenie badań opracowanego systemu pozycjonującego oraz algorytmów estymacji położenia i parametrów ruchu anteny radaru HH-GPR z wykorzystaniem rzeczywistych danych pomiarowych oraz dokonanie analizy ich wyników.

Samodzielny dorobek autora jest znaczący jak na doktoranta. Łączna liczba publikacji to aż 60, w tym:

- 2 publikacje w czasopismach naukowych i recenzowanych materiałach z konferencji międzynarodowych,
- 13 publikacji w recenzowanych czasopismach krajowych (Lista B MNiSW),
- 4 referaty i komunikaty prezentowane na konferencjach indeksowanych w bazie Web of Science
- 5 referaty i komunikaty prezentowane na konferencjach międzynarodowych
- 3 rozdziały w monografii
- 33 referaty i komunikaty prezentowane na konferencjach krajowych

Przy czym do 8 publikacji autor odwołał się w bibliografii swojej rozprawy. Zestawienie publikacji Autora potwierdza wysoką dojrzałość badacza którą mgr inż. Tomasz Kraszewski wykazał się w trakcie swoich studiów doktoranckich i zasługuje na wyróżnienie.

6. Poprawność przedstawienia uzyskanych wyników (zwięzłość, jasność, umiejętność przekonywania, poprawność redakcyjna).

Dysertacja w języku polskim wraz z bibliografią, wykazem ważniejszych oznaczeń, zastosowanych akronimów i dodatkami ma objętość łącznie 117 stron i jest napisana w sposób zwięzły i jasny. Układ pracy jest prawidłowy i tożsamy ze strukturą artykułów naukowych publikowanych w czasopismach o zasięgu międzynarodowym, indeksowanych na liście filadelfijskiej.

Praca została napisana starannie pod względem redakcyjnym i ciężko w niej znaleźć błędy redakcyjne. Wszystkie zaprezentowane w pracy rysunki i wykresy przedstawiające wyniki badań są bardzo czytelne i staranne.

7. Słabe strony rozprawy, jej główne wady.

Praca charakteryzuje się logicznym tokiem wywodu i trudno wskazać w niej istotne wady.

Jednym tylko z punktów, który jest dyskusyjny, to sformułowanie pierwszej z dwóch tez rozprawy, która brzmi: „*Zastosowanie ultraszerokopasmowych modułów radiowych w lokalnym systemie pozycjonującym umożliwia estymację położenia i parametrów ruchu anteny ręcznego radaru GPR z wysoką dokładnością, z błędami pozycjonowania nieprzekraczającymi pojedynczych centymetrów*”. Teza ta dla inżynierów pracujących z ultraszerokopasmowymi modułami radiowymi może wydawać się oczywistą. Systemy UWB powszechnie stosowane są do precyzyjnej lokalizacji tag'ów w wielu aplikacjach, takich jak monitoring ludzi w pomieszczeniach, monitoring pojazdów poruszających się na terenie monitorowanym, jak np. pojazdy autonomiczne w fabrykach czy magazynach, czy nawet monitoring zwierząt w ogrodach zoologicznych. Nowym rozwiązaniem jest zastosowanie znanej techniki UWB do precyzyjnej estymacji położenia radaru GPR. Natomiast, patrząc na szereg innych aplikacji, gdzie te rozwiązania są szeroko stosowane i sprawdzone jest ich działanie i też autor odnosił się do innych aplikacji lokalizacji w swoich innych pracach naukowych. Samo zaproponowanie użycia tej techniki do estymacji położenia radaru GPR jest bardziej problemem inżynierskim, niż naukowym. Praktycznie, tylko nową aplikacją wykorzystania znanej powszechnie techniki. Także w mojej ocenie postawienie tego problemu w tezie rozprawy doktorskiej jest trochę nadmiarowe. Wystarczyłoby postawienie tylko drugiej tezy rozprawy, która w mojej ocenie jest dużo większym problemem badawczym, niż pierwsza.

Powyżej wymieniona słaba strony rozprawy nie zmienia mojej pozytywnej opinii o wartości całej pracy, którą oceniam w kategorii bardzo dobrych prac implementacyjno-doświadczalnych.

8. Przydatność rozprawy dla nauk technicznych, przemysłu, obronności kraju, itp.

Rozprawa wnosi istotny wkład w stan wiedzy dotyczącej radarów do penetracji gruntu i ma duże znaczenie praktyczne i użytkowe w dziedzinie. Pierwszym z obszarów użyteczności są nauki techniczne, albowiem zawartość dysertacji rozszerza możliwości precyzyjnej lokalizacji dla systemów HH-GPR. Drugim obszarem użyteczności rozprawy w mojej ocenie obronność kraju, w szczególności potencjał zastosowania tej techniki w radarach do detekcji ładunków improwizowanych i min ukrytych w ziemi. Praca ma też wysoki potencjał wdrożeniowy. Jej wyniki mogłyby być zaimplementowane we współcześnie produkowanych produktach radarów HH-GPR.

9. Podsumowanie (czy rozprawa spełnia wymagania przez obowiązujące przepisy).

Przedstawiona przez mgr inż. Tomasza Kraszewskiego rozprawa doktorska pt. „*Metoda Estymacji Położenia Anteny Ręcznego Radaru Penetracji Gruntu*” spełnia wszystkie wymagania stawiane przez aktualnie obowiązującą ustawę o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki.

Rozprawę zaliczam do kategorii spełniająca wymagania z wyraźnym nadmiarem. Ocenę tę uzasadniam:

- wysokim poziomem merytorycznym rozprawy i wzorowej redakcji pracy,

- zaproponowaniem przez Autora nowego rozwiązania w postaci opracowania modelu dynamiki opisujących ruch anteny radaru HH-GPR, w tym autorskiego modelu dynamiki, opartego na zmodyfikowanym modelu ruchu wahadła matematycznego,
- opracowaniem modeli obserwacji systemu pozycjonującego antenę radaru HH-GPR,
- opracowaniem i implementacją programową algorytmów estymacji położenia i parametrów ruchu anteny radaru HH-GPR, opartych na opracowanych przez autora modelach dynamiki i obserwacji,
- opracowaniem i implementacją programową zmodyfikowanej, sekwencyjnej wersji algorytmu estymacji położenia i parametrów ruchu anteny radaru HH-GPR, możliwej do zastosowania w rzeczywistym systemie pozycjonującym, w którym pomiary pochodzące z różnych par modułów ultraszerokopasmowych występują niejednocześnie i ze zmiennymi odstępami czasowymi,
- przeprowadzeniem badań symulacyjnych i w warunkach zbliżonych do rzeczywistych opracowanego systemu pozycjonującego oraz algorytmów estymacji położenia i parametrów ruchu anteny radaru HH-GPR oraz dokonanie analizy ich wyników,
- wsparciem rozprawy dorobkiem publikacyjnym Autora w temacie rozprawy, na który składa się 8 publikacji, do których odwołał się w bibliografii. Ponadto, Autor w swoim dorobku naukowym opublikował 60 prac co jest bardzo znaczącym dorobkiem jak na doktoranta i zasługuje na szczególne wyróżnienie.

Na podstawie analizy pracy można stwierdzić, że doktorant posiada bardzo duży zasób wiedzy w tematyce rozprawy, który spełnia wymagania stawiane kandydatom do stopnia naukowego doktora nauk technicznych. W związku z powyższym wnioskuję o dopuszczenie rozprawy ppłk. mgr inż. Tomasza Kraszewskiego do publicznej obrony.



/podpis/

