

Prof. dr hab. inż. Waldemar Minkina
Politechnika Częstochowska
Wydział Elektryczny
Al. Armii Krajowej 17
42-200 Częstochowa

Częstochowa, dnia 21.05.2020 r.

e-mail: waldemar.minkina@pcz.pl
Tel. +48 608-018-803, +48-34 32-50-819

RECENZJA

rozprawy doktorskiej autorstwa mgr inż. Sławomira Goglera pod tytułem:
„Metoda wykrywania obiektów za pomocą analizy spolaryzowanego promieniowania w zakresie dalekiej podczerwieni”

Uwagi wstępne

Promotorem rozprawy jest dr hab. Jacek Świdorski, promotorem pomocniczym dr inż. Grzegorz Bieszczad. Przewód doktorski jest prowadzony przez Radę Wydziału Elektroniki Wojskowej Akademii Technicznej. Recenzja została opracowana na zlecenie Przewodniczącego Rady Dyscypliny Naukowej „Automatyka, Elektronika i Elektrotechnika” Wydziału Elektroniki WAT prof. dr hab. inż. Andrzeja P. Dobrowolskiego pismem zlecającym recenzję (WYCH/N/00209/2020) z dnia 22.04.2020 r.

Na podstawie § 3 ust. 1 pkt 2 rozporządzenia Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 19 stycznia 2018 r. „W sprawie szczegółowego trybu i warunków przeprowadzania czynności w przewodzie doktorskim, w postępowaniu habilitacyjnym oraz w postępowaniu o nadanie tytułu profesora” (Dz. U. z 2017 r. poz. 1789) oraz art. 179 ust. 1 ustawy z dnia 3 lipca 2018 r. „Przepisy wprowadzające ustawę – prawo o szkolnictwie wyższym i nauce” (Dz. U. z dnia 30 sierpnia 2018 r. poz. 1669) praca recenzowana jest zgodnie z zapisami art. 13 ust. 1 i 2 „Ustawy o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki” z dnia 14 marca 2003 r. (Dz. U. 2003 nr 65 poz. 595, z późn. zmianami), zaś ocena dotyczy dyscypliny: *elektronika*.

Opiniowana praca liczy 117 stron, składa się ze wstępu, 7 rozdziałów oraz wykazu literatury.

Bardzo szeroki zakres tematyczny rozprawy z konieczności zawężono do problematyki opisu ilościowego stanu polaryzacji oraz opracowania uproszczonego modelu atmosfery, uwzględniającego mechanizmy absorpcji oraz rozpraszania i umożliwiającego porównanie zakresów widmowych pod względem przepuszczalności atmosfery. Ograniczenia pracy polegały na pominięciu lub skrótowym opisanie problemów związanych z propagacją sygnału optycznego oraz zjawiska interferencji i odbić światła od obiektów terenowych. Doktorant skupił się na analizie sygnału rejestrowanego za pomocą polarymetru obrazowego z podziałem czasu z zastosowaniem regresji liniowej oraz na konstrukcji urządzenia umożliwiającego wykrywanie obiektów za pomocą opracowanej metody.

Praca dotyczy sytuacji, gdy w przypadku, gdy sama wartość radiancji nie jest wystarczająca do spełniania kryterium detekcji obiektu, stosuje się metody, dzięki którym można uzyskać dodatkowe informacje o stanie promieniowania docierającego do urządzenia detekcyjnego. Są to metody spektralne oraz polarymetryczne:

- w metodach spektralnych analizie podlega zawartość częstotliwościowa w paśmie detekcji, tj. rejestracji podlega nie tylko wartość średnia radiancji w zakresie detekcji, ale również zawartość poszczególnych częstotliwości w tym zakresie, lub wartość średnia w wybranych podpasmach zakresu detekcji.

- w metodach polarymetrycznych analizie podlega stan polaryzacji promieniowania; w przypadku odbicia promieniowania od niektórych obiektów promieniowanie ulega częściowej polaryzacji.

W pracy przeanalizowano zagadnienia związane z mechanizmami polaryzacji promieniowania, propagacją promieniowania w ziemskiej atmosferze, ze szczególnym naciskiem na zagadnienie rozpraszania. Przeprowadzono również obliczenia mające na celu porównanie zakresów widmowych, widzialnego, średniej i dalekiej podczerwieni, pod względem intensywności rozpraszania i pochłaniania promieniowania. Przegląd stanu techniki obejmuje urządzenia wyznaczające stan polaryzacji działające w zakresie dalekiej podczerwieni. Ponadto opracowano polarymetr z podziałem czasu a następnie użyto go do detekcji wybranych obiektów z zastosowaniem opracowanej metody przetwarzania sygnału.

W rozdziale *pierwszym* przedstawiono wady i zalety spotykanych praktycznych rozwiązań polarymetrów co zestawiono w odnośnej tabeli 1.1. W tym miejscu brakuje mi opisu stanu dotychczasowej wiedzy w zakresie tematyki pracy. Czego do tej pory nie zrobiono i dlaczego zajęto się tą tematyką? Rozdział *drugi* zawiera podstawy teoretyczne dotyczące elektromagnetyzmu i propagacji promieniowania elektromagnetycznego. Opis podstawowych mechanizmów oddziaływania promieniowania elektromagnetycznego z materią przedstawiono w rozdziale *trzecim*. Przedstawiono tutaj mechanizmy absorpcji oraz rozpraszania, umożliwiające porównanie zakresów widmowych pod względem przepuszczania atmosfery dla promieniowania elektromagnetycznego. Rozdział *czwarty* poświęcono opisowi konstrukcji zaprojektowanego polarymetru z podziałem czasu, realizującego proponowaną metodę analizy stanu polaryzacji. Rozdział *piąty* zawiera opis kalibracji urządzenia, polegającej na wyznaczeniu macierzy Müllera urządzenia. Przedstawiono standardową metodę kalibracji opisywaną w literaturze oraz zaproponowano nową metodę kalibracji w dużym stopniu nieczułą na wpływ warunków otoczenia. W rozdziale *szóstym* przedstawiono uzyskane wyniki pomiarów oraz przykłady detekcji obiektów z zastosowaniem proponowanej metody. Porównano tutaj standardowy termogram oraz obrazy z oznaczonym stanem polaryzacji. Przedstawiona została również metoda filtracji adekwatna dla proponowanej metody analizy sygnału. Filtracja ta zwiększa kontrast obrazu i ułatwia detekcję obiektów. Rozdział *siódmy* zawiera dyskusję i podsumowanie wyników rozprawy.

Struktura pracy jest poprawna. Praca nie jest rozwlekła. Strona formalna pracy jest właściwa. Praca napisana jest dobrym językiem naukowo – technicznym. Należy stwierdzić na tej podstawie, że Autor rozprawy wykazał się dobrą umiejętnością pisania prac o charakterze naukowym.

Ocena tematyki rozprawy

W interdyscyplinarnej tematyce pracy mieszczącej się w obszarze elektroniki przenikają się zagadnienia z zakresu optoelektroniki i fotoniki, spektrometrii i metrologii temperatury oraz technologii i inżynierii materiałowej.

Odpowiadając nasilającym się trendom dotyczącym rozwoju urządzeń elektronicznych i optoelektronicznych na potrzeby zaawansowanych zastosowań, tematyka podjęta przez doktoranta jest nowoczesna, aktualna i wysoce perspektywiczna. Tematyka rozprawy jest zbieżna z badaniami realizowanymi na potrzeby najbardziej zaawansowanych technicznie armii na świecie.

Ogólna charakterystyka rozprawy, jej celów oraz tez

Autor jako główny cel pracy przyjął opracowanie metody przetwarzania sygnału z polarymetru obrazowego pozwalającej na wykrycie w zakresie dalekiej podczerwieni obiektów zamaskowanych w sposób naturalny lub sztuczny. Opracowana metoda uwzględnia błąd

związany z obrotem elementu polaryzacyjnego w trakcie odczytu ramki obrazu oraz umożliwia działanie urządzenia bez konieczności stosowania sprzężenia zwrotnego. W ramach pracy zaprojektowano i wykonano model urządzenia, który posłużył do weryfikacji opracowanej metody. Celem pracy było też wyznaczenie podstawowych zasad i kryteriów dotyczących projektowania i budowy optoelektronicznych, pasywnych systemów wykrywania obiektów.

Cele te wynikają z przeprowadzonych badań literaturowych oraz doświadczeń własnych Autora. W pracy postawiono następującą tezę:

„Możliwe jest wykrywanie obiektów w zakresie widmowym dalekiej podczerwieni za pomocą polarymetru obrazowego z podziałem czasu realizującego przetwarzanie zarejestrowanego sygnału z zastosowaniem regresji liniowej”.

Tezę sformułowano poprawnie pod względem merytorycznym. Rozwiązane przez Doktoranta zadania umożliwiły udowodnienie tej tezy i dostarczyły oryginalnych wyników w rozpatrywanym obszarze. Przyjęty cel pracy i postawiona teza są ważne z teoretycznego punktu widzenia, ale na szczególną uwagę zasługują cechujące je walory użyteczne.

Bibliografię stanowi zbiór 55 cytowanych przez Autora pozycji, w którym jest 5 współautorskich publikacji Doktoranta. Są to publikacje opublikowane w dobrych czasopismach (Measurement Automation Monitoring – dawny PAK) oraz w materiałach uznanych konferencji międzynarodowych (Proceedings of SPIE, ang. Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers) oraz krajowych (TTP - Termografia i Termometria w Podczerwieni) tematycznie związanych z tematyką pracy doktorskiej. Można więc sądzić, że zdobyte przez Doktoranta rozeznanie w uprawianej tematyce jest wystarczająco rozległe i obejmuje najnowszy stan wiedzy. W związku z faktem, że publikacje Doktoranta są nowe, dlatego nie są one jeszcze notowane w bazach Scopus, Google Scholar czy Web of Science oraz Doktorant nie ma jeszcze obliczonego indeksu Hirscha.

Rozwiązanie postawionego problemu naukowego

Zastosowane metody badawcze, tj. analiza teoretyczna, badania symulacyjne z wykorzystaniem autorskich modeli wykonanych w środowisku Matlab'a są adekwatne do zakresu zadań podjętych w rozprawie.

Przedstawione wyniki badań analitycznych i eksperymentalnych dowodzą, że postawione w pracy zadania zostały osiągnięte w założonym zakresie, a postawiona teza – udowodniona. Liczne fragmenty pracy mają oryginalny charakter, dowodząc umiejętności zaplanowania zrealizowania przez Doktoranta złożonych zadań analitycznych, technologicznych i doświadczalnych. Do zalet pracy należą w szczególności użyteczne aspekty uzyskanych rezultatów, które mogą mieć dużą wartość użytkową. W rzetelny sposób przedstawiono kolejne etapy analiz i eksperymentów, podsumowując ich wyniki formułowanymi szczegółowymi wnioskami. Udokumentowaniem rezultatów są zamieszczone w pracy liczne zestawienia tabelaryczne i wykresy. Wykorzystanie cytowanych źródeł jest poprawne, a wnioski z ich analizy wyciągane są i formułowane w prawidłowy sposób.

Oryginalność pracy oraz jej znaczenie poznawcze

Do wartościowych wyników pracy można przede wszystkim zaliczyć:

1. Opracowanie oryginalnej, zweryfikowanej podczas badań poligonowych, metody przetwarzania sygnału z polarymetru obrazowego umożliwiającej wykrycie obiektu. Opracowana metoda analizy numerycznej sygnału z polarymetru obrazowego umożliwia detekcję różnych obiektów niezależnie od ich zamaskowania i wielkości, także w przypadku braku kontrastu termicznego obiekt – tło. Opracowana metoda przetwarzania sygnału z polarymetru obrazowego cechuje się krótkim czasem wykonania i nie ogranicza znacząco często-

- tliwości odświeżania obrazu, co umożliwia jej zastosowanie w systemach czasu rzeczywistego.
2. Opracowanie projektu i praktyczne wykonanie polarymetru obrazowego z podziałem czasu z zastosowaniem regresji liniowej, działającego bez zastosowania pętli synchronizacji fazy i zbudowanego na bazie matrycy detektorów mikrobolometrycznych.
 3. Opracowanie nowej metody kalibracji polarymetrycznej w dużej mierze nieczułej na zmianę warunków środowiskowych, która w przyszłości może stanowić podstawę do opracowania metody kalibracji radiometrycznej.
 4. Implementację opracowanej metody przetwarzania poprzez wykonanie oprogramowania z zastosowaniem obliczeń stałoprzecinkowych i macierzy małych rozmiarów, przystosowanego do przetwarzania silnie zrównoległego i potokowego.
 5. Zastosowanie specjalnej metody filtracji sygnału i zobrazowania, opartej na analizie statystycznej, zmniejszającej szumy oraz umożliwiającej poprawę jakości uzyskiwanego obrazu i łatwiejszą jego interpretację.
 6. Praktyczne osiągnięcie częstotliwości wyznaczania obrazu polarymetrycznego wynoszącej 5,45 Hz z możliwością zwiększenia częstotliwości poprzez zastosowanie napędu polaryzatora o większej mocy.
 7. Przeprowadzenie rejestracji sygnału z polarymetru obrazowego dla kilku typów obiektów i specjalnie opracowanego zestawu testów znajdujących się w różnych odległościach w stosunku do położenia polarymetru, z maskowaniem i bez maskowania badanego obiektu

Uwagi ogólne, pytania i kwestie dyskusyjne

Na podstawie wnikliwej analizy pracy stwierdzam, że nie nasuwają się zasadnicze uwagi krytyczne o charakterze merytorycznym. Z punktu widzenia celu i postawionej tezy, przedstawiona do recenzji rozprawa została zrealizowana poprawnie i ma nieliczne słabe strony.

Układ pracy jest właściwy. Nasuwają się jednak pewne pytania i uwagi dyskusyjne:

1. Jak przedstawiona w pracy analiza właściwości transmisyjnych atmosfery ma się do analizy podanej np. w programach: FASCODE, HITRAN, LOWTRAN, MODTRAN, PcModWin, SENTRAN, WATRA czy innych modelach transmisji atmosfery opracowanych np. przez Firmę FLIR podanych w tzw. TOOLKIT IC2 Dig 16 „Developers Guide” 1.00 AGEMA 550/570? Sam napisałem kiedyś na ten temat artykuł: Minkina W., Klecha D.: „Atmospheric transmission coefficient modelling in the infrared for thermovision measurements” Journal of Sensors and Sensor Systems, Vol. 5 (2016) Nr 1, pp. 17-23, <http://www.j-sens-sens-syst.net/5/17/2016/>, doi:10.5194/jsss-5-17-2016.

Wiem, że tym tematem zajmował się także prof. Więcek, co od strony 131 opisał w swojej monografii:

Więcek B., De Mey G.: „Termowizja w podczerwieni – podstawy i zastosowania” Wydawnictwo Agendy Pomiaru Automatyka Kontrola (PAK), Warszawa 2011, ISBN: 978-83-926319-7-2.

Czy można w tym przypadku dokonywać jakichś porównań wpływu poszczególnych aerozoli, np. dla zakresu widzialnego, MWIR czy nawet LWIR?

2. Jaka aparaturę zastosowano w stanowisku badawczym? Jaka była jej dokładność? W jakim stopniu dokładność zastosowanej aparatury pomiarowej upoważnia do prowadzenia wnioskowania na podstawie uzyskanych wyników pomiarów?
3. Jak miałyby się zaprezentowana technika obrazowania z wykorzystaniem spolaryzowanego promieniowania w zakresie dalekiej podczerwieni w odniesieniu do techniki obrazowania wykorzystującej promieniowanie terahertzowe – np. w odniesieniu do rys. 6.7 (i innych, przedstawionych dalej w pracy) dotyczącego maskowania karabinu za pomocą karimaty czy innych obiektów?

4. W zakresie podanych w pracy ograniczeń, Doktorant powinien napisać, że widzi jeszcze inne problemy w swoim obszarze badawczym, ale nimi się nie zajmuje, gdyż Sugerowałbym, aby podczas publicznej obrony Doktorant powiedział krótko o tych innych problemach.

Uwagi szczegółowe i edytorskie

W trakcie studiowania rozprawy doktorskiej nasunęły mi się także pytania i komentarze, szczegółowe i edytorskie. W związku z powyższym celowe byłoby jednak zwrócenie uwagi na następujące kwestie:

1. Na podkreślenie zasługuje staranność wykonania licznych, w większości barwnych, rysunków i wykresów, ich właściwe rozmiary i czytelność opisów. Jednakże, zarówno w przypadku tekstu, jak i rysunków, tabel i wzorów matematycznych często zastosowano w pracy niejednolity zapis niektórych oznaczeń. Zalecenia dotyczące formy oraz zasad stosowania symboli i oznaczeń literowych wielkości i jednostek oraz symboli matematycznych są znormalizowane. Przykładowo:

- Str. 31, 5 wg „Na mocy międzynarodowej umowy ...” – powinno być: zgodnie z normami międzynarodowymi, tutaj podać te normy. Nie podaje się książki [31], która także te normy cytuje.

- Str. 53 i inne: nie stosuje się zapisu w postaci $25[^\circ\text{C}]$, $1[\text{atm}]$ czy $V_m = 0.024465 \left[\frac{\text{m}^3}{\text{mol}} \right]$

itd, tylko 25°C , 1 atm , $V_m = 0.024465 \frac{\text{m}^3}{\text{mol}}$ - koniecznie ze spacją między wartością a

jednostką. Międzynarodowe normy edytorskie: ani IEC, ani ISO nie przewidują takiego zapisu. Elementarne „Zasady zapisu wielkości wyrażonych w jednostkach SI”, w postaci jednostronicowej ulotki *.pdf, opublikował Główny Urząd Miar.

- Str. 53 i inne: zupełnie niezrozumiały jest zapis wzoru (3.38), gdzie w jednym wzorze

$$k_{a,s} = \sigma_{a,s} [\text{m}^2] N \left[\frac{1}{\text{m}^3} \right],$$

podano dwie jednostki:

- Str. 58 – dobrze by było dopisać, że wzór (3.46) wynika z prawa Bouguera-Beera, zwanego również prawem Lamberta.
- Str. 74, rys. 4.8 nie oznaczono zespołu silnika (5).
- Str. 105, rys. 6.6 – na obrazie polaryzacyjnym także znacznie lepiej widać niż na termogramie samochód osobowy znajdujący się na tylnym planie sceny pomiarowej.

2. Kolejne zagadnienie dotyczy tzw. „cyfr znaczących”. Z zapisu dotyczącego objętości mo-

lowej $V_m = 0.024465 \frac{\text{m}^3}{\text{mol}}$ podanego przykładowo na stronie 53 można wnioskować, że

objętość ta została wyznaczona z 5-ciomą cyframi znaczącymi, co świadczyło by o niebywalej wręcz dokładności wyznaczenia tej wielkości zawartej w przedziale od 0,001 % do 0,01 %. Takie przypadki wadliwego zapisu wyniku pomiaru występują w pracy bardzo często. Po co pisać nadmierną ilość cyfr znaczących, skoro one nie mają żadnego uzasadnienia w dokładności pomiaru, a więc, jak sama nazwa wskazuje, nie mają żadnego znaczenia metrologicznego.

Pomiary i ich ocenę wykonuje się prawie we wszystkich dziedzinach i dyscyplinach naukowych, niekoniecznie związanych z metrologią, np. nauki techniczne, chemia, fizyka, medycyna a nawet ekonomia. Nie oznacza to jednak, że nie należy prawidłowo, zgodnie z międzynarodowymi zasadami, zapisywać wyniki pomiarów i dokonywać oceny tych wyników.

Ponadto, wnioskowanie na podstawie analizy wyników zawierających cyfry nieuzasadnione dokładnością pomiaru, szczególnie z uwzględnieniem tych cyfr, może prowadzić do wyciągnięcia błędnych wyników. Jeszcze gorsza sytuacja będzie w sytuacji, gdy to wnioskowanie w przypadku pomiaru pośredniego będzie dotyczyło np. odejmowania wielkości zbliżonych do siebie. Na takie sytuacje trzeba bardzo uważać.

3. Rozprawa zawiera nieliczne pomyłki edytorskie oraz błędy stylistyczne. Poniżej podano tylko niektóre z nich:

- Str. 48, 14 wd: „widzialnym i dalekiej podczerwieni przedstawiają zostały przedstawione na Rys. 3.10”
- Str. 48, 11,12 wd: „Wynika to z faktu, że woda w zakresie widzialnym posiada znikomą wartość części urojona współczynnika załamania.”

oraz niekiedy niepoprawnie zapisaną literaturę, której zapis nie odpowiada przyjętym standardom. Przykładowo, nie opisuje się pozycji literaturowej w postaci:

[28] M. W. Kudenov, N. A. Hagen, E. L. Dereniak i G. R. Gerhart, „Fourier transform channeled spectropolarimetry,” *Optics Express* Vol. 15, No. 20, pp. 12792-12805, 1 Października 2007 – co to za zapis?.

Takich przypadków jest więcej. Przyjąłem tutaj oznaczenie, że wg, wd – oznacza odpowiednio wiersz od góry (wg) lub od dołu (wd).

Wymienione usterki oraz zauważone niejasności i nasuwające się wątpliwości są raczej drugiego rzędu i nie wpływają w znaczący sposób na ogólne bardzo pozytywne wrażenie z lektury rozprawy. Jej merytoryczny zakres dowodzi, że Autor wykazał się umiejętnością samodzielnego prowadzenia pracy naukowej w rozpatrywanym interdyscyplinarnym obszarze badań, do którego wniósł swój wkład. Przedstawiona rozprawa ma charakter poznawczy i utylitarny, i stanowi bardzo wartościowe opracowanie. W zakresie rozpatrywanych zagadnień Autor wykazał się odpowiednią wiedzą i umiejętnościami, które pretendują go do uzyskania stopnia naukowego doktora.

Wniosek końcowy

Przedstawione uwagi krytyczne mają na celu inspirację i zachęcenie doktoranta do kontynuowania prac w tej dziedzinie. Samą pracę doktorską oceniam bowiem jako bardzo dobrą. Autor w sposób rzeczowy i wyczerpujący przedstawił podstawy teoretyczne i wyniki badania. W większości są to pionierskie badania w skali kraju, ale i wartościowy wkład w stan wiedzy globalnej. Praca napisana jest jasno, precyzyjnie, dobrym językiem. Doktorant wykazał się:

- dogłębną wiedzą w zakresie opracowywanego zagadnienia,
- znajomością najnowszej literatury przedmiotu,
- swobodnym posługiwaniem się nowoczesnymi narzędziami matematycznymi,
- umiejętnością sformułowania problemu badawczego,
- swobodnym operowaniem nowoczesnymi narzędziami badawczymi,
- umiejętnością wyciągania poprawnych wniosków z wyników badań eksperymentalnych.

Podsumowując, stwierdzam, że recenzowana praca doktorska reprezentuje wysoki poziom naukowy, ma istotne walory nowatorskie i ma istotne znaczenie utylitarne. W moim przekonaniu rozprawa spełnia wymagania odnośnych ustaw dla oceny prac doktorskich, wymienionych na początku mojej recenzji. Stawiam więc wniosek o dopuszczenie jej do publicznej obrony.

Włodzisław Miniewicz