

Recenzja rozprawy doktorskiej mgra inż. Roberta STRĄKOWSKIEGO

Tytuł rozprawy: „Analiza dryftu temperaturowego
w bolometrycznych kamerach termowizyjnych”

1. Cel badań i tezy rozprawy

Rozprawa doktorska mgra inż. Roberta Strąkowskiego jest poświęcona analizie pracy kamer termowizyjnych z mikrobolometrycznymi matrycami detektorów podczerwieni wykonanych z tlenku wanadu.

Praca liczy 143 strony, z tego 134 strony obejmuje zasadniczy tekst pracy, natomiast pozostałe strony to literatura oraz lista parametrów pracy kamery.

Głównym celem rozprawy było opracowanie nowej metody korekcji dryftu temperaturowego, która aktualizuje współczynniki korekcji matrycy detektorów w czasie rzeczywistym przez co można wydłużyć czas pomiędzy kolejnymi momentami używania przesłony kalibracyjnej.

Takie sformułowanie celu rozprawy było możliwe przy przyjęciu następującej tezy: **Korekcja dryftu temperaturowego uwzględniająca wpływ promieniowania elementów konstrukcyjnych kamery, niejednorodności resztkowej oraz szumu ustalonego umożliwia pracę metrologicznej, bolometrycznej kamery termowizyjnej z wydłużonym czasem ciągłej rejestracji termogramów.**

Cele i teza rozprawy są określone właściwie, tematyka jest aktualna i potrzebna, gdyż kamery termowizyjne znajdują coraz większe zastosowanie w wielu dziedzinach nauki, medycyny, przemysłu i wojska.

2. Charakter rozprawy (teoretyczny, doświadczalny, konstrukcyjny)

Recenzowana rozprawa ma charakter teoretyczno-doświadczalny. Są w niej również oryginalne rozwiązania konstrukcyjne (np. system czujników monitorujących pracę kamery termowizyjnej) oraz oryginalne procedury badawcze. Na podkreślenie zasługuje również opracowanie algorytmu z zastosowaniem sztucznych sieci neuronowych do estymacji współczynników niezbędnych do korekcji dryftu temperaturowego oraz oprogramowanie do metrologicznej kamery termowizyjnej.

3. Sposób przeprowadzenia analizy źródeł (w tym literatury światowej i stanu zagadnień w przemyśle). Sposób sformułowania wniosków z analizy

W przedstawionej do recenzji rozprawie Doktorant w rozdziale pierwszym przeprowadził analizę stanu wiedzy w zakresie tematyki rozprawy. Autor wykazał się bardzo dobrą znajomością problematyki związanej z analizą, badaniami oraz dotychczas stosowanymi metodami korekcji niejednorodności w matrycowych detektorach podczerwieni.

Sposób przeprowadzenia analizy źródeł odpowiada potrzebom rozprawy i należy uznać go za właściwy. Autor wykorzystał różnorakie źródła: podręczniki, monografie, doniesienia konferencyjne, patenty i dostępne w internecie doniesienia firm.

Wybór pozycji z zakresu poprawy korekcji niejednorodności czułości mikrobolometrycznych matryc detektorów podczerwieni jest trafny i wystarczający dla realizacji celów pracy, a sposób ich wykorzystania odpowiedni, co świadczy o dobrej umiejętności wyciągania wniosków z dostępnej literatury. Poprawnie sformułowane wnioski i wady dotychczasowych metod korekcji (str. 23) pozwoliły na właściwe postawienie celu i tej pracy.

4. Rozwiązanie postawionego zadania; właściwość przyjętych metod i założeń

Udowodnienie tezy rozprawy, która w szczególności zakłada, że można wydłużyć czas ciągłej rejestracji termogramów bez używania przesłony kalibracyjnej poprzez odpowiedni algorytm korekcji uwzględniający wpływ temperatury na pracę kilku najważniejszych zespołów kamery wymagało rozwiązania kilku istotnych problemów badawczych. Autor bez zastrzeżeń opisał wymagane do rozwiązania zadania, wykonał pracochłonne badania eksperymentalne i symulacyjne oraz udowodnił stawianą na wstępie rozprawy tezę.

W rozdziale czwartym pracy Doktorant przedstawił oryginalną metodę korekcji dryftu temperaturowego, a w rozdziale piątym opisał wyniki działania opracowanej metody podając parametry, które zostały uwzględnione i zarejestrowane w badaniach skuteczności działania opracowanej metody.

5. Oryginalność rozprawy; samodzielny dorobek autora; pozycja rozprawy w stosunku do stanu wiedzy prezentowanego w literaturze światowej

Praca stanowi oryginalny wkład Autora do problematyki sterowania i analizy sygnałów z mikrobolometrycznych matryc detektorów podczerwieni oraz projektowania nowoczesnych pomiarowych kamer termowizyjnych.

W szczególności nowe metody korekcji dryftu temperaturowego i korekcji wzmocnienia są oparte na oryginalnych pomysłach Autora i stanowią

podstawowy dorobek rozprawy. Należy podkreślić, że burzliwy rozwój technologii mikromechaniki w połączeniu z rozwojem elektroniki krzemowej dużej skali integracji pozwolił na opanowanie technologii wysokiej jakości matryc bolometrycznych, pracujących najczęściej w długofalowym zakresie widma promieniowania podczerwonego ($8 \div 14 \mu\text{m}$). Detektory te są ciągle modernizowane i od kilku lat są stosowane w przenośnych systemach termowizyjnych – kamerach, celownikach, lornetkach i goglach umieszczanych na hełmie oraz kamerach dla bezzałogowych pojazdów i miniaturowych samolotów. Jednak zastosowania militarne tego rodzaju urządzeń są przyczyną braku doniesień literaturowych na temat metod korekcji wpływu temperatury oraz doniesień dotyczących rozwiązań konstrukcyjnych.

Dotychczas stosowane metody korekcji wpływu temperatury na wartość sygnału wyjściowego z detektora podczerwieni oraz korekcji wzmocnienia wymagają użycia przesłony kalibracyjnej oraz ustalonych współczynników korekcyjnych zapisywanych w kamerze w czasie jej produkcji (najczęściej jest to tzw. dwupunktowa korekcja NUC).

Dużą zaletą proponowanej metody korekcji dryftu temperaturowego jest prowadzenie ciągłej obserwacji obiektów i ciągła rejestracja termogramów, co w przypadku stosowania przesłony stałej nie jest możliwe.

Ponadto za oryginalne osiągnięcie Doktoranta uważam opracowanie modelu niejednorodności resztkowej i dryftu temperaturowego za pomocą którego możliwe jest wyznaczenie wartości przesunięć charakterystyk przejściowych detektorów w funkcji ich położenia na matrycy.

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

Rozprawa zredagowana jest w sposób bardzo staranny, napisana ładnym językiem i posiada logiczny układ. Wyniki analiz teoretycznych i prac doświadczalnych przedstawione zostały w rozprawie w sposób zrozumiały i jasny. Na wyróżnienie zasługuje trójwymiarowa wizualizacja korekcji niejednorodności resztkowej oraz wizualizacja wartości przesunięć charakterystyk przejściowych detektorów matrycy bolometrycznej, które Autor zamieścił w rozdziale 4 pracy.

7. Słabe strony rozprawy, jej główne wady

Praca wykonana jest wręcz wzorowo i trudno doszukiwać się słabych stron rozprawy. Jednak dyskusyjne może być twierdzenie (na str. 27), że cyt.: „sygnał matrycy zależy w głównej mierze od tylnej odległości ogniskowania obiektywu (ang. BFL – Back Focal Length)”, gdyż w rozwiązaniach konstrukcyjnych ogranicza się kąt pola widzenia matrycy detektorów tak aby detektory „widziały” tylko ostatnią (przed matrycą) soczewkę obiektywu a „nie widziały” obudowy (mocowania) soczewki).

W ramach dyskusji, proszę Doktoranta o szczegółowe omówienie wpływu promieniowania obudowy i elementów obiektywu kamery dla rozwiązań konstrukcyjnych z ekranem radiacyjnym i bez ekranu radiacyjnego.

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

Bardzo wysoko oceniam przydatność recenzowanej pracy dla zastosowań technicznych. Praca jest szczególnie przydatna w projektowaniu nowoczesnych pomiarowych kamer termowizyjnych oraz kamer obserwacyjnych do wielu zastosowań w tym zastosowań medycznych, naukowych, przemysłowych oraz do zastosowań specjalnych. Jak podaje Autor w rozprawie i publikacjach, szereg wyników rozprawy zostało już zastosowanych w wykonanej kamerze termowizyjnej oraz zgłoszonych do opatentowania.

9. Zaliczenie rozprawy do jednej z następujących kategorii

- a) *niespełniająca wymagań stawianym rozprawom doktorskim przez obowiązujące przepisy,*
- b) *wymagająca wprowadzenia poprawek i ponownego recenzowania,*
- c) *spełniająca wymagania,*
- d) *spełniająca wymagania z nadmiarem,*
- e) *wybitnie dobra, zasługująca na wyróżnienie.*

Stwierdzam, że recenzowana rozprawa doktorska mgra inż. Roberta Strąkowskiego zawiera wiele ważnych, oryginalnych rezultatów naukowych i spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim sformułowane w Ustawie o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz stopniach i tytule w zakresie sztuki.

Pracę uważam za wybitnie dobrą i proponuję rozważyć wniosek o wyróżnienie Autora rozprawy, jednocześnie wnioskuję o dopuszczenie dysertacji do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

Warszawa, 07 sierpnia 2017 roku



.....
prof. dr hab. inż. Henryk MADURA