

Poznań, 15.01.2023 r.

Prof. dr hab. inż. Adam Dąbrowski
Politechnika Poznańska
Wydział Automatyki, Robotyki i Elektrotechniki
Instytut Automatyki i Robotyki
Zakład Układów Elektronicznych
i Przetwarzania Sygnałów

S E K R E T A R I A T
Rady Dyscypliny AEITK
21. 03. 2023
Wpłynęło dnia.....
Zarejestrowano pod nr
Podpis

OCENA

rozprawy doktorskiej pt.: *„Modele matematyczne wybranych komponentów wizyjnych branży motoryzacyjnej i ich badanie w celu rozwoju systemów aktywnego bezpieczeństwa”*,

Doktorant Pan mgr inż. **Kamil Tomasz Lelowicz**

1 Ocena doboru tematu oraz celu i zakresu przeprowadzonych badań

Przedmiotem oceny są wyniki badań przeprowadzonych przez Doktoranta Pana mgr. inż. Kamila Tomasza Lelowicza w formie doktoratu wdrożeniowego, sfinansowanego przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego jako projekt nr 0014/DW/2018/02, wykonany przy współpracy z firmą Aptiv Poland S.A., z Centrum Technologicznym w Krakowie i Wydziałem Elektrotechniki, Automatyki, Informatyki i Inżynierii Biomedycznej Akademii Górniczo-Hutniczej.

Tematem rozprawy jest przegląd, propozycje ulepszeń, badania eksperymentalne oraz poszerzanie zastosowań wielopoziomowych modeli matematycznych wybranych podzespołów wizyjnych systemów ADAS (ang. advanced driver assistance system), w które są wyposażane współczesne pojazdy samochodowe w celu zarówno wspomaganie kierowców jak i poprawy bezpieczeństwa ruchu drogowego.

Celem podjętych prac (jak napisał Autor rozprawy na str. 19) jest:

„Zbadanie wpływu modeli matematycznych czujników wizyjnych na projektowanie systemów ADAS.”

Na stronie 21 Doktorant sformułował także następującą tezę naukową rozprawy:

„Modele matematyczne komponentów wizyjnych systemów ADAS korzystnie wpływają na proces projektowania i testowania ich funkcjonalności, odwzorowują czujniki z oczekiwaną dokładnością, dostarczają wymagane dane oraz spełniają ograniczenia wynikające z działania w reżimie czasu rzeczywistego.”

Temat rozprawy obejmuje ważne i, mimo poświęconego mu już wieloletniego wysiłku zarówno w ośrodkach naukowych jak i w przemyśle, nadal w pełni aktualne zagadnienie naukowe. Doktorant przeanalizował je kompleksowo i skrupulatnie, proponując własne rozwiązania, opracowując oprogramowanie i przeprowadzając badania eksperymentalne.

Zarówno cel pracy jak i tezę naukową oceniam jako zgodne z podjętym tematem i zakresem badań oraz sformułowane jasno i precyzyjnie, chociaż pierwsza część tezy naukowej: „Modele matematyczne komponentów wizyjnych systemów ADAS korzystnie wpływają na proces projektowania i testowania ich funkcjonalności...” wydaje się oczywista i banalna a przy tym zbyt ogólna. Ponadto określenie „działanie w reżimie czasu rzeczywistego” razi mnie ze względu na pejoratywne znaczenie terminu „reżim”, używanego zazwyczaj w ujęciu politologicznym. Można by napisać po prostu „działanie w czasie rzeczywistym” lub „działanie z zachowaniem rygorów czasu rzeczywistego”.

Tytuł rozprawy jest „rozwlekły”, ale dobrze określa zakres podjętych badań, chociaż użyte określenie: „komponenty wizyjne branży motoryzacyjnej” jest błędne. Chodzi bowiem nie o „komponenty wizyjne branży motoryzacyjnej” jako takiej a „komponenty wizyjne systemów ADAS”. Poza tym samo sformułowanie „branża motoryzacyjna” należy raczej do języka nauk gospodarczych a nie nauk technicznych i mogłoby być zastąpione np. określeniem „przemysł motoryzacyjny”.

2 Ocena tekstu rozprawy, analizy źródeł i dorobku publikacyjnego Doktoranta

Recenzowana rozprawa została napisana w języku polskim. Jej tekst zawiera 137 stron. Biorąc pod uwagę dużą liczbę ilustracji i tabel, tekst pracy jest więc zwięzły.

Na trzeciej stronie jest podany jej tytuł w języku angielskim: „Mathematical models of selected vision components of the automotive industry and their study for the development of active safety”. Do tego tytułu mam tę samą uwagę co i do wyżej omówionego tytułu pracy w języku polskim. Chodzi bowiem nie o „vision components of the automotive industry” (co sugeruje monitoring i systemy wizyjne robotów w przemyśle motoryzacyjnym) a o „ADAS vision components”.

Na kolejnych stronach tekstu rozprawy znajdują się: podziękowania Autora dla promotora rozprawy Pana dr. hab. prof. AGH Adama Piłata i innych osób (str. 5), preambuła z informacją o kwalifikacji, przeprowadzeniu i finansowaniu badań (str. 7), streszczenie w języku polskim (str. 9 i 10), streszczenie w języku angielskim (str. 11 i 12).

Na stronach 14, 15 i 16 znajduje się Spis treści a na stronach 17 i 18 Doktorant zamieścił listę używanych w pracy akronimów. Lista ta jest bardzo przydatna, choć nie jest pełna. Brakuje w niej np. skrótu PBRT użytego na stronie 59 oznaczającego „physically based ray tracking”.

W końcowej części tekstu znajduje się jeszcze dodatek A pt.: „Kwaterniony” (str. 113–117), spis literatury zawierający 185 pozycji w tym 9 pozycji głównie współautorskich (jedna jest samodzielna) Doktoranta (str. 119–133), spis rysunków (str. 134–136) i spis tablic (str. 137).

Pierwsze trzy rozdziały mają charakter obszernego wprowadzenia do rozważanych zagadnień oraz zawierają analizę i usystematyzowanie aktualnego stanu wiedzy.

W rozdziale 1, zatytułowanym „Wstęp” Doktorant określił tematykę pracy i zakres badań oraz sformułował cel badawczy i tezę naukową (przytoczone w poprzednim punkcie recenzji).

Rozdział 2 jest poświęcony omówieniu matematycznych modeli czujników wizyjnych w systemach ADAS (o różnych poziomach wierności) i ich roli przy opracowywaniu i walidacji algorytmów ADAS. W tym rozdziale Doktorant omówił także środowiska wirtualne i techniki symulacyjne do projektowania i sprawdzania działania systemów ADAS.

Omówieniu budowy systemów wizyjnych ADAS jest poświęcony rozdział 3. Doktorant omówił w nim podstawowe elementy: obudowy kamer, obiektywy, przetworniki obrazowe, procesory

obrazowe (ISP, ang. image signal processor) i metody przetwarzania sygnałów wizyjnych.

Główną część rozprawy, w której Pan mgr inż. Kamil Tomasz Lelowicz przedstawił wyniki przeprowadzonych badań, stanowią rozdziały 4, 5 i 6. Doktorant zajął się w nich kolejno:

- niskopoziomowym modelowaniem kamery ADAS, nazywanym „modelem wysokiej wierności” (HFSSM, ang. high fidelity sensor model)
- modelowaniem aberracji geometrycznych obiektywu kamery
- kalibrowaniem i identyfikowaniem parametrów modelu kamery z wykorzystaniem obliczeń kwaternionowych
- przekształcaniem przestrzeni barw RGB (red, green, blue) na surowy obraz matrycy ADAS typu RYYC (red, yellow, yellow, cyan)
- analizą i porównaniami modeli MFSSM (ang. medium fidelity sensor model) toru wizyjnego
- opisem modelu czujnika wizyjnego z wykorzystaniem tzw. „śledzenia promieni”
- analizą okluzji pojazdów i pieszych z zastosowaniem obliczeń wielowątkowych
- symulacyjną analizą bezpieczeństwa na przejściu dla pieszych w przypadku zasłonięcia przed nadjeżdżającym pojazdem części przejścia przez drugi pojazd, stojący przed przejściem w sytuacji, gdy przez przejście przechodzi pieszy wraz z psem
- podsumowaniem przeprowadzonych badań i sformułowaniem wynikających z nich wniosków (rozdział 6).

Spis literatury stanowi wyczerpujący przegląd literatury światowej dotyczącej tematyki rozprawy. W tym spisie jest 9 głównie współautorskich, wartościowych publikacji Doktoranta (także z listy JCR) w tym jeden patent USA i dwa zgłoszenia patentowe. Uwzględniając te dane, dorobek naukowy i techniczny Doktoranta oceniam jako bardzo dobry.

Ogólna kompozycja tekstu rozprawy jest poprawna. Omówienie głównych wyników Doktoranta poprzedza obszernie wprowadzenie do przedmiotu i obszaru badań oraz dyskusja dotycząca aktualnego stanu wiedzy (rozdziały 2 i 3). Potem zaś następuje przedstawienie wyników teoretycznych, symulacyjnych i eksperymentalnych (rozdziały 4 i 5) oraz podsumowanie osiągniętych wyników i wnioski (rozdział 6).

Szczegółowa analiza układu i zawartości tekstu rozprawy nie jest niestety już tak pozytywna.

Po pierwsze, praca zawiera nieścisłości i błędy w sformułowaniach matematycznych. Omówiłem je w następnych częściach recenzji.

Po drugie, tekst pracy jest napisany bardzo niestarannie. Zawiera od kilku do nawet kilkunastu błędów językowych (braków liter, niewłaściwych końcówek, niewłaściwych wyrazów, braków wyrazów, powtórzeń wyrazów, określeń żargonowych itd.) na niemalże każdej stronie.

Jednym z ważniejszych błędów jest nagminne używanie określenia „soczewka” w sensie „obiektyw”. W języku polskim, podobnie jak w niemieckim a inaczej niż w angielskim, te dwa określenia są precyzyjnie rozróżniane.

Ważną niedoskonałością tekstu rozprawy jest także stosowanie wyrazów zapożyczonych z języka angielskiego, nie przyswojonych w języku polskim. Przykładem jest określenie „imager” odmieniane przez Doktoranta przez przypadki według domyślnych reguł języka polskiego, używane w znaczeniu „przetwornika obrazowego”. Innym przykładem jest nazwa „model division” zamiast „model ilorazowy”.

Doktorant nagminnie używa niepoprawnie pojęcia „ilość” zamiast „liczba” do określania liczebności obiektów policzalnych.

Autorowi brak jest konsekwencji w odmianie wyrazu „filtr”. W tekście używa, często nawet obok siebie, dwóch form „filtra” i „filtru”, przy czym w znaczeniu stosowanym w pracy powinno być wyłącznie „filtru”. Kolokwialną odmianę „filtra” należy ograniczyć do urządzeń takich jak filtry do kawy, filtry powietrza, paliwa, oleju itp.

3 Ocena opracowanych metod oraz uzyskanych wyników

Do głównych zadań podjętych i opracowanych przez Pana mgr. inż. Kamila Tomasza Lelowicza oraz najważniejszych uzyskanych przez Niego wyników należy, moim zdaniem, zaliczyć:

- zbadanie i porównanie modeli zniekształceń geometrycznych obiektów kamer stosowanych w systemach ADAS (p. 4.2.1)
- opracowanie skutecznego algorytmu kalibracji kamery przy wykorzystaniu kwaternionów (p. 4.2.2 i 4.2.3)
- analizę przekształcania przestrzeni barw uzyskanych za pomocą przetworników obrazowych z matrycami RGGB (klasyczna matryca z mozaiką Bayera) i RYYC (matryca stosowana w systemach ADAS) (4.3)
- opracowanie algorytmu wykrywania w czasie rzeczywistym okluzji pojazdów i pieszych w systemach ADAS (p. 5.2).

Wszystkie uzyskane, wymienione powyżej, wyniki zasługują, moim zdaniem, na pozytywną ocenę.

4 Poprawność przedstawienia uzyskanych wyników

Oceniana praca zawiera dużą liczbę rysunków i tabel, co stanowi znakomitą ilustrację omówionych zagadnień, znacznie podnosi jakość tekstu i ułatwia jego zrozumienie. Praca zawiera niestety także rysunki zbędne i wymagające edycji. Na przykład na rys. 3.10 poziome linie przedzielające zielone pola G mozaiki RGGB i żółte pola Y mozaiki RYYC powinny być usunięte. Rysunek 3.12 jest zbędny a jeśli Autorowi zależało na zilustrowaniu zaszumionego obrazu należało posłużyć się przykładem obrazu z kamery ADAS. Podobnie zbędny i nie dotyczący dziedziny ADAS jest rys. 4.18.

Sam tekst pracy, jak to już wcześniej zaznaczyłem, jest niestety napisany bardzo niestarannie, włączając w to niestaranną a nawet błędną edycję niektórych wyrażeń matematycznych. Wybrane, mniej istotne niedociągnięcia zamieściłem w punkcie pt. „Uwagi szczegółowe”. Ważniejsze są zaś przedstawione poniżej.

Rysunek 3.2, który zamiast „Model otworkowy kamery” powinien mieć podpis „Model kamery otworkowej” i rys. 3.3 nie są, wbrew temu, co napisał Doktorant na str. 43, właściwą ilustracją wyrażenia (3.2.2). Współrzędne X , Y , Z w wyrażeniu (3.2.2) to „współrzędne świata” a nie „współrzędne kamery”, które są z tymi oznaczeniami przedstawione na rys. 3.2 i rys. 3.3.

Jeśli oznaczenia na rys. 3.2 i rys. 3.3 zostałyby zmienione np. na X_c, Y_c, Z_c , to wówczas

$$\begin{bmatrix} X_c \\ Y_c \\ Z_c \end{bmatrix} = \mathbf{E} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{bmatrix},$$

gdzie \mathbf{E} jest podaną tzw. macierzą zewnętrzną (ang. extrinsic matrix) kamery a ponadto

$$\begin{bmatrix} u_u \\ v_u \\ 1 \end{bmatrix} = \frac{1}{Z_c} \mathbf{K} \begin{bmatrix} X_c \\ Y_c \\ Z_c \end{bmatrix},$$

gdzie \mathbf{K} jest podaną tzw. macierzą wewnętrzną (ang. intrinsic matrix) kamery, przy czym oznaczenia na rys. 3.2 z u, v powinny być zmienione na u_u, v_u .

Ponadto we wzorze (3.2.2) nie określono znaczenia i nie podano wartości współczynnika

$$m = \frac{1}{Z_c},$$

a w tekście bezpośrednio po wyrażeniu (3.2.2) nie przypisano parametrów wewnętrznych kamery do macierzy \mathbf{K} i parametrów zewnętrznych do macierzy \mathbf{E} . Zrobiono to dopiero odpowiednio w p. 3.2.1.1 i 3.2.1.2.

Przy tym nie wyjaśniono dlaczego we wzorach (3.2.2) i (3.2.3) występują dwie wartości f_1 i f_2 a na rys. 3.3 — jedna, oznaczona jako f zamiast f_2 .

Na stronie 98 jest podane tzw. prawo Amdahla (przy czym Doktorant przekreślił nazwisko na Amhdal) w postaci wzoru

$$S(s) = \frac{1}{(1-p)\frac{p}{s}}.$$

O ile sam wzór jest poprawny, to podany na str. 98 i 99 opis występujących w nim wielkości jest błędny.

5 Wybrane uwagi szczegółowe

Poniżej zebrałem niektóre uwagi szczegółowe, które nasunęły mi się podczas czytania tekstu rozprawy (pomiąłem jednak większość błędów językowych ze względu na ich ogromną liczbę — tekst rozprawy powinien zostać skrupulatnie przejrzany i poprawiony):

- str. 17 (wiersz 3_d): określenie „Trójwymiarowa zespolona macierz danych” jest nieprawidłowe, ponieważ macierze są wierszowymi zestawami wektorów kolumnowych z pewnej przestrzeni liniowej i jako takie są więc dwuwymiarowymi tablicami liczb; należy więc zastosować np. określenie „Trójwymiarowa zespolona kostka danych”; ten błąd występuje także w innych miejscach, np. na str. 35
- str. 18 (wiersz 4^g): zamiast „Procesora” powinno być „Procesor” — w tekście jest mnóstwo podobnych błędów, informacje o dalszych pomijam
- str. 18 (wiersz 12^g): zamiast „Stały wzorzec szumu” powinno być „Szum o stałym wzorcu”

- str. 18 (wiersz 13^g): zamiast „Iniformity” powinno być „Uniformity” — w tekście jest mnóstwo podobnych błędów, informacje o dalszych pomijam
- str. 18 (wiersz 16^g): zamiast „Tabel” powinno być „Table”
- str. 18 (wiersz 17^g): zamiast „Horyzontalnego” powinno być „Horyzontalne” — w tekście jest mnóstwo podobnych błędów, informacje o dalszych pomijam
- str. 18 (wiersz 18^g): zamiast „Głębokość widzenia pola” powinno być „Głębokość pola widzenia”
- str. 24 (wiersz 4^g): zamiast „z częstotliwością 30 Hz” powinno być „z szybkością 30 obrazów na sekundę, czyli fps lub f/s” (co odpowiada w języku angielskim nazwie „frame rate”)¹
- str. 27 (wiersz 7_d): sformułowanie „są rozwiązaniami komercyjnymi, które są płatne” jest określane jako tzw. „masło maślane”
- str. 30, p. 2.2.3: po tytułach sekcji nie stawia się kropek
- str. 34 (wiersz 6_d): po *p* brak spacji, podobny błąd jest także w ostatniej linii str. 35 — informacje o dalszych podobnych błędach pomijam
- str. 37 (wiersz 3_d): występująca w tekście struktura „W szczególności ich znaczenie oraz właściwości fizyczne.” nie jest zdaniem — informacje o dalszych podobnych błędach pomijam
- str. 39 (wiersz 2^g): sformułowanie „wizualny obraz” jest określane jako tzw. „masło maślane”
- str. 39 (wiersz 6^g i dalsze): na końcu punktów wymienianych po dwukropku nie stawia się żadnych znaków interpunkcyjnych, zwłaszcza kropek; poza tym na trzeciej pozycji listy pojawia się określenie „imagera” zamiast „przetwornika obrazowego”, jak już wspomniałem, nie powinno ono być, moim zdaniem, lansowane w języku polskim zwłaszcza w pracach naukowych i technicznych, należy jeszcze dodać, że Doktorant nie jest przy tym konsekwentny a raczej na tyle niedbały, że na str. 50 w podpisie pod rys. 3.8 użył innej formy a mianowicie „imager’a”
- str. 40 (wiersz 4_d): obiektywy o dużych ogniskowych nie oferują „powiększenia” a „przybliżenie” dalekich obiektów, powiększenie można uzyskać tylko za pomocą makrofotografii

¹Jestem absolutnym przeciwnikiem stosowania nazwy „częstotliwość próbkowania czy akwizycji sygnału” i mierzenia jej w hercach (Hz). Jest to niepoprawne i prowadzi do nieporozumień. Należy bowiem rozróżnić pojęcia: „częstotliwość” (ang. frequency) jako właściwość sygnału i „szybkość” (ang. rate) jako właściwość procesu wykonywanego nad sygnałem (w omawianym przypadku procesu akwizycji obrazów) i powstałego strumienia danych. Dlatego należy wyłącznie stosować określenie „szybkość próbkowania” i należy ją mierzyć w próbkach na sekundę (S/s), podobnie jak szybkość binarnego strumienia danych mierzy się w bitach na sekundę (b/s), a nie w hercach. Dzięki temu można jednoznacznie rozróżniać powszechnie stosowane pojęcia: „częstotliwość Nyquista” i „szybkość Nyquista”. Przez częstotliwość Nyquista rozumie się maksymalną częstotliwość widma sygnału dolnopasmowego, który można próbować z określoną szybkością, a przez szybkość Nyquista — minimalną szybkość, z którą można próbować sygnał dolnopasmowy o określonej maksymalnej częstotliwości widma. Skutkiem stosowania niepoprawnego terminu „częstotliwość próbkowania” jest więc niejednoznaczność pojęcia „częstotliwość Nyquista”.



- str. 47 (wiersz 3_d i 10_d): zamiast odwołań do rys. 3.13a i 3.13b powinny być do ry. 3.7a i 3.7b, poza tym aberracje chromatyczne nie zawsze są fioletowe
- str. 51 w podpisie pod rys. 3.10(a) zamiast „Beyern” co oznacza Bawarię powinno być nazwisko „Bayer”
- str. 52, rys. 3.11: brakuje opisu rysunków (a), (b) i (c); poza tym określenie „blooming” powinno być przetłumaczone na język polski
- str. 52 (wiersz 6_d): zamiast „negatywna” powinno być „ujemna” co jest prawidłowym przeciwieństwem określenia „dodatnia”
- str. 53 (wiersz 5^g): zamiast „Dark Signal Non-Iniformity” powinno być „Dark Signal Non-Uniformity”
- str. 53 (wiersz 8^g): zamiast „białego Gaussa” powinno być „białego szumu Gaussa”
- str. 53, wzór (3.3.6) zamiast I_{noiss} powinno być I_{noise} , poza tym zmienne u , v nie powinny w linii tekstu pod wzorem być zmienione na x , y
- str. 53 (wiersz 3_d): stwierdzenie „Winietowanie obrazu jest charakterystycznym efektem dla kamer cyfrowych” jest błędne, cechą każdego obiektywu jest bowiem wielkość obrazu i winietowanie nie ma nic wspólnego z techniką cyfrową a wynika wyłącznie z niedopasowania wielkości przetwornika obrazowego do wielkości obrazu obiektywu; można by natomiast stwierdzić, że winietowanie jest cechą charakterystyczną kamer systemów ADAS (ze względu na minimalizowanie fizycznych rozmiarów obiektywów)
- str. 56 (wiersz 5_d): zamiast „koordynaty” należy używać określenia „współrzędne”
- str. 61 (wiersz 4^g): stwierdzenie „rzeczywista kamera z powodu niedoskonałości soczewki nie tworzy ostrego obrazu dla wszystkich obiektów znajdujących się w FOV” jest nieprawdziwe, to zjawisko nie wynika z niedoskonałości soczewki czy obiektywu a z samej istoty działania soczewki (obiektywu)
- str. 62 (wiersz 4^g i dalsze): w zdaniu oprócz błędu gramatycznego jest jeszcze wada stylistyczna „kamer szerokokątnych szeroko wykorzystywanych”
- str. 62 i 63, wzory (4.2.2) i (4.2.3): zamiast $f(rd, k_i)$ powinno być $f(r_d, k_i)$
- str. 66 (wiersz 2_d): zamiast „We zorze” powinno być „We wzorze”
- str. 72, rys. 4.11: zamiast oznaczeń x , y , z powinny być X , Y , Z , ten błąd jest tym bardziej znaczący, że jedno i drugie wielkości występują np. we wzorze (4.2.11)
- str. 79, zależność (4.3.4): opisy „for” w języku angielskim powinny być przetłumaczone na język polski
- str. 92 (wiersz 5^g): pojęcie „obiekty 0D” powinno być wyjaśnione
- str. 93, p. 5.2.1.1: przeprowadzone rozważania powinny być zilustrowane rysunkiem
- str. 94, p. 5.2.1.3: przeprowadzone rozważania powinny być zilustrowane rysunkiem



- str. 95 i 96, rys. 5.3 i rys. 5.4: obiekty na obu rysunkach powinny być oznaczone za pomocą tych samych kolorów
- str. 95 (wiersz 5_d): przyjęte kryterium widzenia przez czujnik 70% obiektu powinno być uzasadnione
- str. 96, rys. 5.4(b): rozważana konfiguracja pojazdów na autostradzie wydaje się całkowicie nierealistyczna; jeśli samochody stoją w tzw. „korku”, to jest ich za mało i są ustawione zbyt regularnie, jeśli zaś poruszają się, to odległości między nimi są za małe
- str. 98 (wiersze 11^g, 17^g i 18^g): nieliczne prawidłowe użycia określenia „liczba” są otoczone licznymi nieprawidłowymi określeniami „ilość”
- str. 98 (wiersz 2_d): zamiast „ S teoretyczna poprawa danego czasu wykonywania zadania” powinno być „ $S(s)$ współczynnik wzrostu szybkości obliczeń”
- str. 99 (wiersz 4_d): zamiast „ s ile razy poprawił się czas wykonania części zadania wynikający ze zwiększenia zasobów obliczeniowych” powinno być „ s wskaźnik wzrostu szybkości równoległych obliczeń”
- str. 99 (wiersz 2_d): zamiast „ p część czasu wykonania, którą można poprawić przez zwiększenie zasobów” powinno być „ p względna część (ułamek) obliczeń algorytmu, która podlega zrównolegleniu”
- str. 100 (wiersz 7_d): zamiast „zdobyło pierwsze spośród” powinno być „zdobyło pierwsze miejsce spośród”
- str. 114: nie podano i nie wyjaśniono oznaczeń w wyrażeniach (A.1.6) i (A.1.7); czytelnik musi domyślić się, że np. w wyrażeniu (A.1.6) chodzi o kwaternion $p = p_0 + p_i i + p_j j + p_k k$, podany dopiero na str. 117 po wyrażeniu (A.2.16) — powstaje pytanie po co zamieszanie z innymi oznaczeniami w wyrażeniach na str. 113 i w p. A.1.2 na str. 114?
- str. 114: wyrażenie (A.1.8) jest błędne, zamiast

$$pq = p_0q_0 - \mathbf{p} \cdot \mathbf{q} + p_0\mathbf{q} + q_0\mathbf{p} \times \mathbf{q}$$

powinno być

$$pq = p_0q_0 - \mathbf{p} \cdot \mathbf{q} + p_0\mathbf{q} + q_0\mathbf{p} + \mathbf{p} \times \mathbf{q}$$

- str. 114: w wyrażeniu (A.2.2) zamiast $+-$ powinno być $-$
- str. 114: w wyrażeniu (A.2.3) zamiast równości $\mathbf{p}^4 = -\theta^4$, $\mathbf{p}^5 = \theta^5\mathbf{p}$ powinny być $\mathbf{p}^4 = \theta^4$, $\mathbf{p}^5 = \theta^4\mathbf{p}$
- str. 115: powtórzenie wyrażeń (A.2.7) i (A.2.8) z różnymi oznaczeniami nie ma sensu
- str. 116 (wiersz 7_d): zamiast „obrót o \mathbf{n} przez kąt θ ” powinno być „obrót \mathbf{n} o kąt θ ”
- str. 116 (wiersz 6_d): zamiast „and” powinno być „i”.



6 Konkluzja

Podsumowując powyższą charakterystykę recenzowanej rozprawy doktorskiej stwierdzam, że Pan mgr inż. Kamil Tomasz Lelowicz zamieścił w niej wartościowe i oryginalne wyniki prac przeprowadzonych przez Niego pod kierunkiem Promotora rozprawy Pana Prof. AGH dr. hab. inż. Adama Piłata i Promotora pomocniczego Pana dr. inż. Mateusza Komorkiewicza.

Oceniam, że Doktorant osiągnął zakładany cel badawczy i wykazał prawdziwość postawionej tezy naukowej. Wymienione przeze mnie w poprzednich punktach uwagi krytyczne nie wpływają negatywnie na samą wartość osiągniętych i przedstawionych w rozprawie wyników, chociaż znacznie utrudniają ich zrozumienie i pogarszają ocenę tekstu rozprawy.

Stwierdzam więc, że przedłożona praca spełnia wymagania stawiane przez stosowne przepisy rozprawom doktorskim i uważam, że Pan mgr inż. Kamil Tomasz Lelowicz może być dopuszczony do dalszych etapów procedury doktorskiej i do publicznej obrony ocenionej przeze mnie rozprawy w dyscyplinie Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Adam Piłata', is positioned on the right side of the page.

