

mpi. 10.03.2023
RD/IT

Prof. dr hab. inż. Konrad \ Wojciechowski

Bytom 27.06.2023

Polsko-Japońska Akademia Technik Komputerowych

Wydział Informatyki

Recenzja rozprawy doktorskiej Pana mgr inż. Wojciecha Tomasza Korka

**Research and development of a new touch-screen based
inceptors design for an aircraft control**

Charakterystyka rozprawy i uwagi ogólne. Recenzowana rozprawa liczy 425 stron i napisana jest w języku angielskim. Rozprawa składa się z wprowadzenia, w którym sformułowano trzy hipotezy rozprawy, oraz pięciu głównych fragmentów zatytułowanych kolejno: Literature review, Future Systems Simulator, Methodology, Results and analysis, Summary and conclusions. Ta część rozprawy zamyka się w 196 stronach. Pozostała część rozprawy to wykaz literatury, obejmujący imponującą a jednocześnie ściśle odpowiadającą tematyce rozprawy listę 402 publikacji i adresów stron internetowych. Dodatkowo, ze względu na zastosowany edytor, każda z pozycji została zacytowana w tekście rozprawy. Strony od 279 do 424, nazwane dodatkiem A, zawierają 153 tabele przedstawiające szczegółowe wyniki statystycznych analiz zadań testowych w rozbiciu na podgrupy osób z całej grupy badawczej. Rozmiar dodatku wyjaśnia nietypowy dla rozpraw doktorskich rozmiar rozprawy przedstawionej mi do oceny.

Istotnym, z punktu widzenia Recenzenta, elementem rozprawy są Podziękowania z których wynika, że Doktorant realizował rozprawę w zespole *Dynamics, Simulation and Control Group at Cranfield University*, a jego promotorem, oprócz prof. Joanny Polańskiej z Politechniki Śląskiej, był dr Wen-Chin Li (Ergonomics, Human Factors, Driver Safety), zaś konsultantami byli Dr. Wen-Chin Li (Aeronautical Systems, Aircraft Design) i Dr Mudassir Lone (Autonomous Systems, Computing, Simulation & Modelling, Flight Physics). W nawiasach wymieniam pobrane ze strony *Cranfield University* obszary kompetencji kopromotora i konsultantów, wybrane spośród szerszej listy, po to aby wykazać, że Doktorant miał nadzór merytoryczny we wszystkich fragmentach rozprawy. Podsumowując ten aspekt stwierdzam, że rozprawa była realizowana w warunkach wzorcowych, nie jako wymyślony temat badawczy, a jako badania realizowane w profesjonalnym dla tematyki rozprawy zespole badawczym. Wzorcowe warunki merytoryczne oznaczały równocześnie wysokie wymagania postawione Doktorantowi, które w mojej opinii spełnił z nadmiarem. Promotorzy i konsultanci nie firmowaliby swoimi nazwiskami rozprawy co do której mieliby zastrzeżenia językowe, układu treści czy merytoryczne.

Recenzent jest pilotem szybowcowym z nalotem ok. 300 h (grupa A z punktu 5.4 rozprawy), posiada aktualną licencję UL (Ultra Light) z nalotem ok. 100 h (grupa B z punktu 5.4 rozprawy), obecnie szkoli się do uzyskania licencji LAPL (Light Aircraft Pilot License). Prowadził badania z zakresu nowych nieliniowych algorytmów sterowania a aktualnie realizuje dwa projekty NCBiR: 1. *Innowacyjna technologia tworzenia wydarzeń multimedialnych opartych o walki dronów z synergią między poziomami: wirtualnym, rozszerzonym i fizycznym*. 2. *Opracowanie*

technologii inteligentnego roju rekonfigurowalnych dronów i jej weryfikacja na przykładzie pokazu dronów i inspekcji farm fotowoltaicznych, w ramach którego stworzono symulator roju dronów w koncepcji HIL z fizycznym kontrolerem Pixhawk dla każdego drona. Z wymienionych jak wyżej powodów niektóre zamieszczone w rozprawie uwagi krytyczne wynikają z doświadczeń sterowania szybowcami i małymi samolotami jak również z realizowanych projektów. Uwagi te nie podważają zamieszczonych w rozprawie opinii pilotów samolotów komercyjnych, takich jak choćby *Gulfstream*, z nalotami tysięcy godzin. Mogą otwierać jednak pole do dyskusji lub wyjaśnień.

Układ treści rozprawy oceniam jako przemyślany i właściwy ponieważ rozprawa doktorska ma wykazać, dojrzałość naukową doktoranta wyrażającą się tym, że potrafi On samodzielnie sformułować problem naukowy, sformułować charakteryzujące ten problem hipotezy i, stosując metody naukowe, określić ich wartość logiczną. W takim ujęciu tytuły poszczególnych fragmentów rozprawy mogą być interpretowane wprost jako poszczególne kroki realizowanego w sposób naukowy procesu badawczego. *Future Systems Simulator* to przygotowanie fizycznego środowiska badawczego, pozostałe tytuły jak *Methodology*, *Results and analysis*, *Summary and conclusions* nie wymagają dodatkowej interpretacji. Bardzo drobiazgowo opracowany Rozdział *Literature review* bardziej nadaje się do wydania książki o historii lotnictwa, aczkolwiek rozumiem, że Autor chciał w ten sposób nakreślić tło dla swoich koncepcji sterowników. Mam tu na myśli szczególnie punkt 2.3.

Po zapoznaniu się z całością rozprawy, stwierdzam, że jej tytuł w brzmieniu *Research and development of a new touch-screen based inceptors design for an aircraft control* odpowiada koncepcji w jakiej został zrealizowany symulator FSS (*Future Systems Simulator*), polegającej na zastąpieniu wielu pokręteł i przełączników kabiny pilota przez ekrany konfigurowane odpowiednio do funkcjonalności wymaganej w danej fazie lotu. Elementem takiej koncepcji jest również dopuszczenie interakcji dotykowej w celu wyboru tych funkcjonalności, inceptorami są w takim przypadku ekrany. Taka interpretacja dobrze koresponduje z celem stwierdzeniem z wprowadzenia: *On the other hand, aircraft become more and more automatic, with pilots' role changing, as they only need to set and adjust flight parameters*. Rzeczywiście, szybowcem pilot lata a dużym samolotem komunikacyjnym zarządza. Niestety z treści rozdziału *Methodology* i opisanych w nim zadań testowych wynika, że ekran dotykowy jest również kontrolerem dla powierzchni sterowych co w mojej ocenie nie jest do przyjęcia za wyjątkiem sterowania zdalnego *remonte control* i konfiguracji symulatora przedstawionej na rys. 3.8. Być może to był rzeczywisty cel zrealizowanych badań, uwiarygodniony przez to, że symulator FSS nie ma żadnych stopni swobody.

Problem naukowy badany w rozprawie i jasność jego sformułowania. Problem naukowy badany przez Autora jest bardzo specyficzny i odważny, czego Autor jest świadomy pisząc: *a novel engineering flight simulator helps to streamline the research and validate the results of radically different control methods in an aircraft*. Problem polega na próbie znalezienia odpowiedzi na pytanie **jak** cztery wybrane zadania testowe zostaną zrealizowane z wykorzystaniem trzech różnych kontrolerów (sidestick (SS), gamepad (GP) and touchscreen (TS)) przez grupę testową. Cała grupa liczyła 74 uczestników w wieku od 21 do 63 lat, 55 mężczyzn i 18 kobiet. Grupa zawierała 27 licencjonowanych pilotów, 38 niepilotów posiadających co najmniej 10 godzinne doświadczenie na profesjonalnym symulatorze lotu i 9 osób, co wynika z wielkością grupy, bez doświadczenia. Zadania testowe wybrane do realizacji

są wybranymi aspektami procedury lądowania samolotu takimi jak utrzymanie kierunku i pochylenia samolotu na ścieżce schodzenia do lądowania. W fazie przygotowawczej testów zostały one zrealizowane przez 10 licencjonowanych pilotów a dla potrzeb prac z rozdziału 5 jeden z pilotów stworzył referencyjne realizacje zadań testowych. Pozostałe aspekty procesu lądowania jak ustawieni i klap, otwarcie podwozia, hamulców są realizowane w trybie automatycznym. Wynikało to z koncepcji Autora umożliwienia uczestnikom skupienia się na procesie sterowania powierzchniami. Oczywiście wyznaczone zadania realizowane były w symulatorze, którego Autor był współtwórcą. Jakość realizacji zadań testowych w rozbiciu na poszczególne podgrupy była oceniana za pomocą ogólnie przyjętych testów kwestionariuszowych i opracowanych oryginalnych kryteriów liczbowych. Specyfika wybranego problemu i odwaga jego podjęcia wynika z doskonałego rozeznania Autora w lotnictwie i wynikającej z tego świadomości, że tradycyjne kontrolery jak drążek sterowy, joystick, wolant, są, pomimo upływu czasu, niezmiennym i kluczowym elementem kabiny pilotów. Autor w tym kontekście wspomina, że w filmach sf dotyczących odległej przyszłości statki kosmiczne mają nadal te elementy. Przy pierwszym czytaniu rozprawy, ze względu na zamienne używanie terminu *inceptor* i *controller*, miałem wrażenie, że w przypadku wykorzystania ekranów dotykowych chodzi o tzw. *glass cockpit*, jednak w opisach realizacji zadań testowych chodzi o użycie ekranu dotykowego jako sterownika.

Ocena wiedzy Autora w zakresie obszaru rozprawy. Autor wykazał się szeroką, bardzo szczegółową i głęboką wiedzą nie tylko w wąskim obszarze badanego problemu naukowego kontrolerów lotu ale również znacznie szerszym obszarze, obejmującym symulatory w lotnictwie ich historię, stan aktualny i kierunki przewidywanego rozwoju. Świadczy o tym wykaz literatury obejmujący 402 publikacji i adresów stron internetowych. Tak obszerny wykaz literatury jest wyjątkowy w przypadku rozpraw doktorskich i zasługuje na najwyższą ocenę. Autor odwołuje się do tych publikacji w treści rozprawy w sposób świadczący o ich znajomości - to jest najpierw przedstawia swoje stanowisko w rozpatrywanym problemie a następnie podaje, najczęściej kilka, pozycji uzupełniających. Jest to w znaczeniu pozytywnym odmienne od manieri, w której autorzy odsyłają czytelnika do pozycji literaturowych bez prezentacji własnego stanowiska. O bardzo dobrej znajomości obszaru świadczy również profesjonalne słownictwo i ciekawostki o aktualnych rozwiązaniach technicznych. Przykładowo, pomimo korzystania z lotnictwa komunikacyjnego, nie wiedziałem, że jednocześnie stosowany jest joystick boczny i wolant. W opinii Recenzenta drobiazgową wiedzę Autora oraz „uczciwość” badawczą najlepiej potwierdza punkt 6.3. W konwencji polskich rozpraw doktorskich autorzy podkreślają zazwyczaj jedynie plusy rozprawy.

Ocena przedstawionego przez Autora rozwiązania problemu oraz metodologii prowadzenia badań. Rozwiązanie problemu sformułowanego przez Autora w postaci hipotez H1 do H5 zawiera się w rozdziałach *Future Systems Simulator*, *Methodology*, *Results and analysis*, *Summary and conclusions*. Hipotezy H4 i H5 pojawiły się w rozdziale 5 i dotyczą pilotów. Rozwiązanie problemu jest przedstawione w konwencji nieco innej niż stosowana w rozprawach polskich, w których autorzy przedstawiają rozwiązanie końcowe, pomijając drogę na której zostało osiągnięte. W odróżnieniu, Autor rozprawy przedstawia również pomysły z których z różnych powodów musiał się wycofać, przykładowo dotyczyło to uproszczenia zadania lądowania do lądowanie tylko z prostej. Metodologia prowadzenia badań w zakresie rozprawy jest jej najsilniejszą stroną a w niej analiza danych, przedstawiona

w rozdziale *Results and analysis* wraz z niezbędnymi pomocniczymi skryptami. Spodziewam się, że w fazie doskonalenia opracowanej metodologii Autor opracuje zintegrowany system, w którym algorytmy Matlab'a zostaną zastąpione bardziej zaawansowanymi i zintegrowanymi rozwiązaniami. Podobna uwaga dotyczy modelu matematycznego samolotu. Metodologia zademonstrowana na przykładzie problemu Autora może być użyta również w innych badaniach, co stanowi jej podstawową wartość. Zmiana będzie polegać na innej analizie pozyskanych danych.

Ocena oryginalności rozprawy, w tym samodzielnego i oryginalnego dorobku Autora. Rozprawa jest oryginalna zarówno w aspekcie sformułowanego w nim problemu badawczego i zaprezentowanej metodologii jego rozwiązania, która z powodzeniem może być zastosowana do problemów podobnego typu to jest poszukiwania związku pomiędzy cechami psychofizycznymi pilotów a jakością rozwiązywanych przez nich testów z obszaru lotnictwa. W przypadku rozprawy rozwiązanie sformułowanego przez Autora problemu, aczkolwiek przewidywane intuicyjnie, znalazło potwierdzenie w wyniku analizy zebranych danych liczbowych.

Autor ma dobry dorobek publikacyjny. Stanowią go 2 publikacje w czasopismach, 2 publikacje znajdujące się w procesie recenzyjnym i 4 prace opublikowane w materiałach konferencyjnych.

Ocena umiejętności poprawnego i przekonującego przedstawienia uzyskanych wyników. Wynikami uzyskanymi z realizowanych zadań testowych są dane surowe. Obejmują one odpowiedzi na pytania kwestionariuszowe oraz dane numeryczne zebrane z systemów symulatora. Autor wspomina okazjonalnie o danych z systemu śledzenia kierunku patrzenia ale nie pojawiają się one w fazie analizy danych. Zebrane dane surowe mogą być podstawą do weryfikacji różnych hipotez, w tym tych sformułowanych przez Autora.

W zakresie analizy danych surowych Autor opracował własną procedurę wstępnej agregacji danych zarówno kwestionariuszowych jak i cyfrowych do poziomu wskaźników liczbowych oceniających jakość realizacji zadań testowych. Wysoko oceniam poziom i jakość zastosowanych w tym zakresie algorytmów, aczkolwiek badanie stopnia korelacji pomiędzy RSE i MAE oceniam jako nadmiarowe, natomiast uchwycenie zależności czasowych i przestrzennych w podejściu przedziałowym oceniam jako wartościowe i nowatorskie. Podejście to można prawdopodobnie rozwijać uzależniając przykładowo wartości brzegowe od fazy procesu lub czasu. Ciekawym pytaniem jest jak realizację zadań testowych oceniałby instruktor, myślę, że dość podobnie do koncepcji przyjętej w rozprawie.

W warstwie tekstowej rozprawy Autor wykazał się umiejętnością przekonującego przedstawiania swoich racji. Dotyczy to w szczególności uzasadnienia wprowadzenia ekranu dotykowego jako sterownika. W tym celu Autor wprowadził do rozprawy punkt 2.3 Human-system interaction z podpunktami: Video games and simulation, Rotorcraft, Land transport, Maritime transport, Mobile phones, Industrial, agriculture and medical industry. Zgadzam się, że w wymienionych obszarach stosowane są ekrany dotykowe jako sterowniki jednak nie implikuje to ich zastosowania do sterowania samolotu.

Słabe strony rozprawy i uwagi dyskusyjne. W mojej ocenie dzięki nakładowi, pracy który był nieodzowny do jej stworzenia w takim zakresie, nawet w warstwie technicznej (literatura i cytowania) rozprawa nie ma słabych stron. O merytorycznym poziomie i naukowej świadomości Autora świadczy punkt 6.3 rozdziału 6, w którym antycypuje istotne pytania i uwagi zarówno Recenzenta jak i ewentualnego czytelnika. Zagadnienia poruszone w ramach tego punktu są ważne i jednoznacznie świadczą o doskonałej znajomości uwarunkowań przy których realizowana była rozprawa. Akceptuję je z uznaniem jako odpowiedzi na moje niezadane pytania.

W rozdziale 1 Introduction w podpunkcie 1.4 Motivation and hypotheses Autor sformułował następujące hipotezy: H1. The introduction of alternative inceptors as flight controllers, including a touchscreen, can potentially improve the pilots performance, H2. A novel engineering flight simulator helps to streamline the research and validate the results of radically different control methods in an aircraft. H3. Demographic, occupational, and personal characteristics have a significant effect on the subjective experience and objective performance in the flight simulator.

W punkcie 6.2 rozdziału 6 Autor zamieścił obszerną opisową weryfikację hipotez badawczych sformułowanych w rozdziale 1. Hipotezy sformułowane są bardzo miękko stąd dyskusyjna jest ich weryfikacja. W opinii Autora wszystkie zostały pozytywnie zweryfikowane. W opinii Recenzenta hipoteza H1 nie została potwierdzona w przypadku pilotów. Hipoteza H2 została potwierdzona przez cały proces badawczy, potwierdzenie hipotezy H3 jest dyskusyjne ponieważ proces szkolenia pilota ma właśnie na celu wyeliminowanie wymienionych w hipotezie uwarunkowań, natomiast w przypadku niepilotów uwarunkowania te będą miały oczywiście znaczenie.

W podsumowaniu Autor podkreśla niewielkie różnice pomiędzy *joystickiem* bocznym a *gamepadem* szczególnie w zadaniach utrzymywania pochylenia i kierunku pomija jednak fakt, że pilot nie może angażować obydwu rąk.

Przedstawiona w punkcie 4.2.2 charakterystyka opisowa uczestników grupy badawczej nie jest jasna ponieważ poszczególne podzbiory osób tej grupy przekrywają się. Częściowo porządkuje to tab. 4.1 ale nadal przykładowo nie wiadomo ile osób z grupy pilotów gra w gry typu FPS. Bardziej czytelna byłoby charakterystyka w postaci drzewa lub przyporządkowanie każdej osobie z grupy badawczej wektora atrybutów. Analogiczna charakterystyka opisowa pilotów przedstawiona w punkcie 5.1 jest jasna.

W opinii Recenzenta jakość realizacji testu zależy również od stanu psychofizycznego pilota (pogoda, wypoczynek, problemy osobiste). Otwarty jest problem jak badać ten aspekt i na podstawie wyniku badania standaryzować wyniki testu.

Wartości przyspieszenia podane w ostatnim akapicie strony 87 wydają się wysokie, nie jest jasne jakiej fazy lądowania dotyczą i czy odnoszą się do kierunku wektora przyspieszenia czy tylko jego wartości chwilowej i tylko w momencie przyziemienia.

Przykładem dobrej usterki logicznej jest sformułowanie: *The two formed hypotheses (H4) and (H5) were checked against the results and confirmed to be true in most cases.*

Przydatność rozprawy. W mojej ocenie przydatność rozprawy można oceniać w dwóch różnych wymiarach. W wymiarze ograniczonym do hipotez sformułowanych w rozprawie Autor wykazał, stosując podejście naukowe, że przydatność joysticka bocznego, gamepada i ekranu dotykowego do sterownia samolotem jest uporządkowana według kolejności w której zostały powyżej wymienione. Wyniku takiego można było się spodziewać jednak ważnym jest stwierdzenie, że uzyskany został przez zastosowanie metodologii opracowanej i zastosowanej do tego problemu. W mojej ocenie doskonale opracowana metodologia decyduje o przydatności rozprawy i jest jej najważniejszym praktycznym wynikiem. Fizyczny symulator FSS, zadania testowe które mogą być tworzone odpowiednio do badanego problemu, dane surowe, opracowane indeksy i formularze oraz oprogramowanie do statystycznej analizy danych mogą być użyte w badaniu bardziej subtelnych problemów decydujących o bezpieczeństwie lotów. Przykładowo, jak jakość realizacji zadań testowych zależy od stopnia zmęczenia pilota albo jak obniża się jakość realizacji zadań testowych w funkcji stopnia zmęczenia w zależności od doświadczenia pilota.

Wnioski końcowe. Stwierdzam, że przedstawiony w rozprawie problem badawczy został rozwiązany. Autor wykazał się doskonałym opanowaniem warsztatu naukowego zarówno w zakresie znajomości stanu aktualnego jak i metodologii prowadzenia badań naukowych. W zakresie metodologii najsilniejszym jej elementem jest analiza pozyskanych danych kwestionariuszowych i numerycznych, ich agregacja oraz wieloaspektowa interpretacja opisowa zagregowanych wyników. Autora cechuje na każdym etapie prowadzonych badań dbałość o szczegóły i wieloaspektowość analiz. Metodologia i uzyskane na jej podstawie wyniki stanowią własny i istotny wkład Doktoranta w rozwój dyscypliny naukowej Informatyka Techniczna i Telekomunikacja. Recenzowaną rozprawę oceniam jako najlepszą wśród ponad 30 recenzowanych do tej pory i spełniającą z nadmiarem wymagania stawiane rozprawom doktorskim. Wniosuję o jej przyjęcie i dopuszczenie do publicznej obrony. Jednocześnie stawiam wniosek o wyróżnienie rozprawy.