

Dr hab. inż. Cezary Rzymkowski, prof. PW
Politechnika Warszawska
Wydział Mechaniczny Energetyki i Lotnictwa
Instytut Techniki Lotniczej i Mechaniki Stosowanej
ul. Nowowiejska 24, 00-665 Warszawa

Warszawa, 2 grudnia 2017 r.

Recenzja

**rozprawy doktorskiej mgr inż. Jarosława Władysława Jankowskiego
pt. *Badanie interakcji człowiek-maszyna w rzeczywistości wirtualnej w zakresie
bezpieczeństwa pracy na przykładzie zdalnego sterowania manipulatorem***

wykonana na zlecenie

Centralnego Instytutu Ochrony Pracy – Państwowego Instytutu Badawczego,
ul. Czerniakowska 16, 00-701 Warszawa

Uwagi ogólne

W Polsce, w ciągu jednego roku, dochodzi do około 90 tysięcy wypadków przy pracy a główną przyczynę stanowią nieprawidłowe zachowania pracowników. Roczny koszt wypłacanych poszkodowanym świadczeń finansowych kształtuje się na poziomie 5 mld zł. Uczestnikami około połowy wypadków przy pracy są pracownicy o krótkim stażu (do 3 lat). Wskazuje to na znaczenie skutecznego przekazywania wiedzy i kształtowania odpowiednich nawyków z zakresu bezpieczeństwa i higieny pracy w trakcie szkoleń, szczególnie pracowników nowo zatrudnionych.

Wykorzystanie narzędzi rzeczywistości wirtualnej (VR), w tym teleobecności, stwarza możliwości zwiększenia efektywności szkoleń, m.in. dzięki możliwości skrócenia szkoleń prowadzących w warunkach rzeczywistych. Będąca przedmiotem recenzji rozprawa doktorska wpisuje się w nurt badań mających na celu opracowanie metod i narzędzi zapewniających zwiększenie skuteczności technik VR w obszarze poprawy bezpieczeństwa i higieny pracy.

Treść i ocena rozprawy

Cel pracy Doktorant określił w sposób następujący:

„Celem pracy jest opracowanie modelu naturalnej interakcji człowieka z maszyną z wykorzystaniem technik rzeczywistości wirtualnej umożliwiającego tworzenie użytecznych aplikacji szkoleniowych w obszarze poprawy bezpieczeństwa pracy na przykładach zdalnie sterowanej suwnicy (sterowanej z poziomu roboczego) w środowisku o dużych rozmiarach oraz sterowania manipulatorem mobilnego robota inspekcyjno-interwencyjnego.”

Przeprowadzone przez Doktoranta badania, uzyskane wyniki z ich analizą i dyskusją oraz wynikające z przeprowadzonych prac wnioski, zostały szczegółowo opisane w kolejnych rozdziałach recenzowanej pracy.

CM

Przedstawiona na 102 stronach rozprawa składa się z 8 rozdziałów, w tym liczącego 75 pozycji spisu piśmiennictwa.

We wstępie (rozdział pierwszy) Autor podkreśla znaczenie konieczności poszukiwania bardziej efektywnych metod przekazywania wiedzy z zakresu BHP. Przedstawia – na podstawie materiałów źródłowych, jak też własnej wiedzy – istotne informacje ogólne z zakresu metod i narzędzi (w tym złożonych systemów komercyjnych) technik VR, ze szczególnym uwzględnieniem oddziaływań niezbędnych w interakcji człowieka ze środowiskiem wirtualnym.

Rozdział drugi zawiera sformułowanie przedstawionego już wyżej celu pracy oraz specyfikację zaplanowanych i wykonanych zadań, wynikających z postawionego celu. Znajduje się tu również informacja o publikacjach części wyników w 7 artykułach (w tym dwóch w pismach z listy JCR).

W kolejnym rozdziale zostały zaprezentowane trzy, sformułowane przez Autora, hipotezy pracy:

1. Stosowanie naturalnych interfejsów człowiek – maszyna bazujących na technice rzeczywistości wirtualnej zmniejsza czas wykonywania zadań względem interfejsów wykorzystujących joysticki.
2. Stosowanie naturalnych interfejsów człowiek – maszyna bazujących na technice rzeczywistości wirtualnej zwiększa ocenę poziomu obecności przestrzennej względem interfejsów wykorzystujących joysticki.
3. Stosowanie naturalnych interfejsów człowiek – maszyna w aplikacjach szkoleniowych wykorzystujących techniki rzeczywistości wirtualnej umożliwia tworzenie użytecznych form szkoleniowych z zakresu bezpieczeństwa i higieny pracy.

Rozdział czwarty poświęcony jest badaniom porównawczym skuteczności/efektywności trzech, opracowanych przez Doktoranta, interfejsów teleoperacji (zdalnego sterowania manipulatorem rzeczywistego robota mobilnego przy wykorzystaniu obrazu z kamer znajdujących się na wyposażeniu robota):

1. VR – okulary VR, rękawica VR, system śledzenia ruchu głowy oraz joystick (wykorzystywany do zadawania przemieszczeń robota przenoszącego manipulator),
2. STEREO – monitor LCD z wyświetlanym obrazem z kamer robota w trybie stereo (+ odpowiednie okulary),
3. MONO – monitor LCD z wyświetlanym obrazem z kamer robota w trybie mono.

Po przedstawieniu szczegółowego opisu wykorzystanego w badaniach robota mobilnego oraz opracowanego interfejsu dla operatora, w rozdziale czwartym znajduje się opis przeprowadzonych badań z udziałem 30 ochotników (jednorodna grupa, mężczyźni, studenci w wieku 20-25 lat). Wynikiem przeprowadzonych badań były wskaźniki obiektywne (czas wykonania zadania i liczba popełnianych błędów) oraz wskaźniki subiektywne w postaci ankiet wypełnianych przez uczestników badań po zakończeniu prób (kwestionariusz obecności przestrzennej, ocena użyteczności, intuicyjności oraz komfortu użytkowania poszczególnych interfejsów, ...). Zgromadzone wyniki zostały opracowane przy wykorzystaniu typowych metod/narzędzi statystycznych. Do testowania statystycznego wykorzystano kilka testów, zakładając we wszystkich przypadkach poziom istotności 0,05.

Uzyskane wyniki potwierdziły – dla omawianego zadania – poprawność wszystkich trzech postulowanych hipotez. Na przykład, wydajność operatorów wykorzystanego w badaniu robota inspekcyjnego przy użyciu interfejsu VR była ok. 1,8 razy większa niż przy użyciu interfejsu MONO.

Przedmiotem rozdziału piątego jest opis badań interakcji człowiek – maszyna (interfejsu sterowania suwnicą) w środowisku VR z wykorzystaniem metody przekierowania kroku. Istotnym elementem tej części badań było sprawdzenie możliwości wykorzystania metody przekierowania kroku w procesie sterowania maszyną w środowisku wirtualnym o dużych rozmiarach, gdy operator musi przemieszczać się (np. wraz z ruchem suwnicy).

Istotą metody jest modyfikacja obrazu odbieranego przez operatora, w taki sposób aby realizując zadanie wymagające przemieszczania się na duże odległości, w rzeczywistości poruszał się po odpowiednio zmodyfikowanej trajektorii na znacznie ograniczonym obszarze.

W pierwszym etapie badań, w którym wykorzystano uproszczone środowisko wirtualne, wyznaczano właściwe dla docelowego zadania parametry metody przekierowania kroku (uwzględniając, m.in. wpływ kąta widzenia okularów VR).

Na potrzeby badań właściwych (etap II i III) zbudowano, na podstawie uproszczonej dokumentacji technicznej istniejącego obiektu, wirtualne środowisko obsługi suwnicy pracującej w hali produkcyjno-magazynowej o rozmiarach 26×36 m. W badaniach, w których uczestniczyło 30 ochotników, sprawdzono i porównano efektywność sterowania suwnicą w środowisku wirtualnym przy wykorzystaniu „interfejsu standardowego¹” i interfejsu VR².

Zadaniem badanych było przenoszenie – w wirtualnej hali – na paletę wskazanych arkuszy blachy (przy wykorzystaniu suwnicy), w wymagany sposób. W trakcie badań mierzono wskaźniki obiektywne (dokładności wykonania poszczególnych elementów zadania oraz czas). Podobnie, jak w przypadku badań interfejsów dla robota mobilnego (opisanych w rozdziale czwartym) istotne uzupełnienie stanowiły badania ankietowe. Przeprowadzenie obszernych analiz statystycznych pozwoliło Doktorantowi na sformułowanie wniosku, że w przypadku tego zadania, postulowane hipotezy 1 i 3 są prawdziwe, poprawność hipotezy drugiej nie została potwierdzona.

W rozdziale szóstym przedstawiono wyniki wykorzystania w praktyce aplikacji opracowanej do pilotażowego szkolenia górników. W badaniach wzięło udział 21 osób zatrudnionych w górnictwie. Oceny uczestników były wysokie – uznali system za użyteczny.

Rozdział siódmy zawiera podsumowanie uzyskanych wyników. Doktorant słusznie stwierdza, że cel pracy został osiągnięty a poprawność przyjętych hipotez, poza hipotezą drugą w przypadku zadania z suwnicą, potwierdzona.

¹ Operator w pozycji stojącej, bez przemieszczania się, obserwując za pomocą HMD obraz z wirtualnej hali z suwnicą, steruje ruchem suwnicy wykorzystując joysticki kontrolerów trzymanyh w dłoniach; ruch głowy (dzięki bezprzewodowemu czujnikowi) przenoszony jest do środowiska wirtualnego (operator może „rozglądać się”).

² Operator przemieszcza się, podążając za ruchem suwnicy (dzięki wykorzystaniu metody przekierowania kroku po znacznie mniejszym obszarze), wyposażony w HDM, rękawice VR i markery wizyjnego systemu śledzenia ruchu.

Liczące 75 pozycji piśmiennictwo zostało dobrane prawidłowo i dobrze reprezentuje aktualny stan wiedzy w dziedzinie będącej przedmiotem recenzowanej rozprawy.

Podsumowanie — znaczące elementy rozprawy

Praca dotyczy istotnego zagadnienia opracowanie metod i narzędzi zapewniających zwiększenie skuteczności technik VR w obszarze poprawy bezpieczeństwa i higieny pracy, co powinno przyczynić się do zmniejszenia liczby wypadków przy pracy, ich skutków dla poszkodowanych i kosztów z wypadkami związanych.

Wyniki pracy, oprócz walorów naukowych, mogą być wykorzystane w praktyce do budowy aplikacji szkoleniowych dla różnych środowisk pracy (czego przykładem jest aplikacja „górnicza” przedstawiona już przez Doktoranta w rozdziale szóstym).

Cel pracy został osiągnięty a poprawność przyjętych hipotez, poza hipotezą drugą w przypadku zadania z suwnicą, potwierdzona.

Sposób sformułowania celu, opracowania planu badań, przygotowanie złożonych, wymagających wiedzy i umiejętności z różnych dziedzin (technik VR, informatyki, mechaniki, elektroniki, ergonomii, organizacji badań naukowych z udziałem ochotników,...) stanowisk/środowisk badawczych, przeprowadzenie oraz analiza uzyskanych wyników i formułowanie wniosków świadczą o tym, że Doktorant, mgr inż. Jarosław Władysław Jankowski, posiada umiejętności samodzielnego prowadzenia pracy naukowej, a także ogólną wiedzę w dyscyplinie naukowej inżynieria środowiska.

Uwagi krytyczne

Praca napisana i zredagowana jest bardzo starannie. Pewne zastrzeżenia może budzić, w niektórych fragmentach, styl typowy dla raportów z konkretnych prac, odbiegający od typowych prac naukowych.

Dla poszczególnych badań z udziałem ochotników przeprowadzono tylko jedną serię dla każdego z przyjętych scenariuszy. Ograniczeniem były zapewne koszty związane z takimi badaniami, jak też potrzebny do ich przeprowadzenia i analizy czas.

Praca zyskałaby na wartości, gdyby te same badania, z udziałem tych samych ochotników, powtórzono wielokrotnie. Umożliwiłoby to sprawdzenie wpływu czasu uczenia na skuteczność poszczególnych rozwiązań. Nie można wykluczyć, że dłuższy proces uczenia się uczestników badania mógłby np. zmienić na pozytywną ocenę poprawności hipotezy drugiej w przypadku sterowania suwnicą, w którym wykorzystuje się metodę przekierowania kroku (adaptacja badanego do sytuacji pewnego rodzaju konfliktu między wrażeniami wzrokowymi a realnym ruchem).

Wniosek końcowy

Przedstawione uwagi krytyczne nie mają istotnego znaczenia dla pozytywnej oceny rozprawy jako całości.

Doktorant zaprezentował oryginalne, nowatorskie podejście do rozwiązania ważnego zagadnienia dotyczącego poprawy bezpieczeństwa na stanowisku pracy. Wykazał się dużą sprawnością w zakresie właściwego planowania, organizacji i prowadzenia badań naukowych z udziałem ochotników, przygotowania złożonych, wymagających wiedzy i umiejętności z różnych dziedzin stanowisk/środowisk badawczych oraz opracowania i analizy/dyskusji uzyskanych wyników.

Stwierdzam, że recenzowana rozprawa spełnia wymagania Ustawy z dnia 14 marca 2003 o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz stopniach i tytule w zakresie sztuki (tekst jednolity Dz. U. z 2017, poz. 1789, z późn. zm.) oraz wnoszę o dopuszczenie rozprawy mgra inż. Jarosława Władysława Jankowskiego pt. *Badanie interakcji człowiek-maszyna w rzeczywistości wirtualnej w zakresie bezpieczeństwa pracy na przykładzie zdalnego sterowania manipulatorem do publicznej obrony.*



/Cezary Rzymkowski/