

# Stanowisko badawcze do prowadzenia badań w aspekcie symulowania wrażenia dotyku

## The Position for experimental research to simulate sense of touch

DARIUSZ KALWASIŃSKI \*

Materiały z XX SKWPPWiE, Jurata 2016 r.  
DOI: 10.17814/mechanik.2016.7.142

W artykule przedstawiono stanowisko badawcze do porównania dwóch metod symulowania wrażenia dotyku. Opisano główne elementy składowe tego stanowiska, a w szczególności symulator wyposażony w rzeczywisty i wirtualny pulpit sterowniczy oraz rękawicę z siłowym sprzężeniem zwrotnym. Przeprowadzone badania na tym stanowisku pozwolą na uzyskanie odpowiedzi, która z metod symulowania wrażenia dotyku wpływa na większy realizm podczas prowadzenia czynności sterowniczych związanych z symulacją procesu skrawania.  
**SŁOWA KLUCZOWE:** symulator, wrażenie dotyku, rzeczywistość wirtualna (VR)

*The article presents a research position designed to comparative research on two methods of haptic simulation. Main elements of the position were described, especially a simulator equipped with real as well as virtual steering panels and a cyber glove. Research conducted and the position will allow an answer to a question of which of the methods of haptic simulation impacts more realism to conducting steering activities connected with simulation of the process of machining.*  
**KEYWORDS:** simulator, sense of touch, virtual reality (VR)

Technika rzeczywistości wirtualnej (*virtual reality*) VR jest dziedziną nauki, która bardzo szybko się rozwija i jest coraz powszechniej stosowana jako narzędzie badawcze, dydaktyczne, konsultingowe. Wykorzystywana jest także w branży rozrywkowej, filmowej czy też artystycznej. Technika ta pozwala na zanurzenie osoby w środowisku wirtualnym i na osobiste uczestniczenie w interaktywnych symulacjach. Całkowite zanurzenie człowieka w środowisku wirtualnym [1] jest możliwe poprzez zastosowanie hełmu HMD, inforękawic i systemu śledzenia. Urządzenia te umożliwiają osobie zanurzonej w stereoskopowym obserwowaniu obrazu z wirtualnego środowiska poruszanie obiektów w tym środowisku. Natomiast system śledzenia pozwala na prawidłowe funkcjonowanie prowadzonej symulacji poprzez przekształcenie ruchu wykonywanego przez osobę w świecie realnym na ruch w środowisku wirtualnym.

Wyświetlanie obrazu stereoskopowego za pomocą hełmu HMD pozwala użytkownikowi na odczuwanie środowiska wirtualnego w sposób bardzo realistyczny. Potwierdziły to badania przeprowadzone przez zespół badawczy pod kierunkiem J.R. Juanga [2] oraz badania własne z użyciem symulatora surnicy [3].

Interakcja ze środowiskiem wirtualnym za pomocą inforękawic pozwala na manipulowanie obiektami znajdującymi się w tym środowisku. Ponadto rozwój technologiczny tych urządzeń pozwala na odczuwanie wirtualnych obiektów podczas ich „dotykania”. Taka forma interakcji pozwala uzyskać bardzo realistyczne doznania. Symulowanie wrażenia dotyku może być prowadzone na różne sposoby. Jednym ze sposobów odczuwania wrażenia dotyku podczas prowadzenia interaktywnej symulacji jest wykorzystanie rzeczywistych obiektów

zintegrowanych z ich odpowiednikami w środowisku wirtualnym. Rozwiązanie to jest dość często stosowane w różnego rodzaju symulatorach, np.: do doskonalenia umiejętności w zakresie użytkowania pojazdów kołowych i maszyn budowlanych [4÷6], wózków jezdniowych podnośnikowych [7, 8], lokomotyw, statków powietrznych, czy też operatorów tokarek [9], frezarek [10], automatów spawalniczych [11] oraz żurawi i dźwignic [3, 12]. Innym sposobem odczuwania wrażenia dotyku podczas procesu symulacji jest wykorzystanie odpowiednich urządzeń z siłowym sprzężeniem zwrotnym. Urządzenia te pozwalają na interakcję [13, 14] z wirtualnym środowiskiem, w tym manipulowanie obiektami oraz ich odczuwanie, bez konieczności stosowania rzeczywistych obiektów lub elementów. Przykładem mogą tu być rękawice CyberGrasp [15], DexmoF2 [16], rękawice HIRO III [17] i Rutgers Master II-ND glove [18] umożliwiające odczuwanie przez dotyk widzianych na ekranie wirtualnych obiektów.

W artykule przedstawiono stanowisko do prowadzenia badań porównawczych dwóch metod symulowania wrażenia dotyku oraz opisano elementy składowe tego stanowiska. Szczególną uwagę zwrócono na główne jego elementy obejmujące symulator wyposażony w rzeczywisty i wirtualny pulpit sterowniczy oraz rękawicę z siłowym sprzężeniem zwrotnym.

### Stanowisko do prowadzenia badania

Na poprzedniej konferencji zaprezentowano wytyczne i koncepcję prowadzenia badań eksperymentalnych mających na celu określenie, które czynności sterownicze związane z symulacją procesu użytkowania maszyn można realizować z wykorzystaniem uproszczonej metody symulowania wrażenia dotyku (przy zastosowaniu rękawicy z siłowym sprzężeniem zwrotnym), a dla których niezbędne jest wykorzystanie symulatora wyposażonego w rzeczywiste elementy sterownicze [19]. Badania przeprowadzone zostaną na specjalnie wykonanym do tego celu stanowisku badawczym.

Aby jednak można było prawidłowo wykonać te badania, na początku przeprowadzono analizę wybranych maszyn w aspekcie określenia typowych czynności (zadań sterowniczych) wykonywanych podczas ich użytkowania. Na jej podstawie wytypowano najczęściej występujące zadania sterownicze i rodzaje elementów sterowniczych stosowanych w tych zadaniach, m.in.:

- włączanie i wyłączanie zasilanie maszyny i procesu obróbkowego maszyny,
- blokowanie lub odblokowywanie elementów składowych maszyny (przesuwanych stołów roboczych, uchwytów, zacisków, podpór, mocowań narzędzi (głowic narzędziowych, imaków itp.) lub obrabianych przedmiotów itp.,
- przemieszczanie ww. elementów składowych maszyny w poziomie (wzdłuż, w poprzek ramy maszyny) lub w pionie,
- ustawianie parametrów pracy maszyny.

Realizacja tych zadań prowadzona jest przy użyciu elementów sterowniczych, takich jak koła pełne lub wieloramienne z rękojeścią (stałą lub obrotową) zamocowaną na obrzeżu,

\* Mgr inż. Dariusz Kalwasiński (dakal@ciop.pl) – Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy, Zakład Techniki Bezpieczeństwa, Pracownia Technik Rzeczywistości Wirtualnej

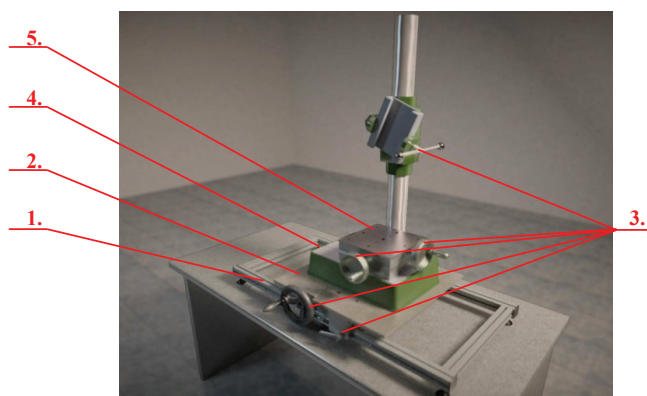
pokrętła jedno- lub czteroramienne, dźwignie zaciskowe lub przełączające jednoramienne oraz przyciski i przełączniki dwu- lub wielopozycyjne.

Na podstawie wyników z przeprowadzonej analizy i opracowanej koncepcji prowadzenia badań zaprojektowano i wykonano stanowisko badawcze składające się z:

- symulatora wyposażonego w rzeczywisty i wirtualny pulpit sterowniczy wraz ze środowiskiem wirtualnym,
- rękawicy z siłowym sprzężeniem zwrotnym,
- oprzyrządowania VR w postaci infohełmu, zwykłej inforękawicy (bez możliwości symulowania wrażenia dotyku) oraz systemu wizyjnego (dwóch kamer i sześciu znaczników) do śledzenia ruchu użytkownika symulatora i poruszanych elementów w środowisku,
- oprogramowania zapewniającego właściwe funkcjonowanie rękawicy i symulatora oraz współdziałanie ze sobą i z wirtualnym środowiskiem.

### Symulator z rzeczywistym i wirtualnym pulpitem sterowniczym

Wykonanie symulatora rozpoczęto od przygotowania dokumentacji technicznej. Na jej podstawie opracowano komputerowy model konstrukcji symulatora (rys. 1). Model ten posłużył do weryfikacji poprawności zastosowanej metody i sprawdzenia funkcjonalności działania w aspekcie symulowania zadań sterowniczych. Po weryfikacji wykonano rzeczywistą konstrukcję symulatora z rozmieszczonymi elementami sterowniczymi.



Rys. 1. Widok modelu komputerowego konstrukcji symulatora wraz z dodatkowym wyposażeniem: 1 – rama konstrukcji, 2 – stół przesuwny, 3 – rzeczywiste elementy sterownicze do prowadzenia wybranych czynności użytkownika maszyn, 4 – statyw wiertarsko-frezarski BFB 2000, 5 – stół koordynacyjno-krzyżowy KT150

Konstrukcja symulatora składa się z ramy, stołu przesuwne-go z mechanizmem zębatkowym (rys. 1 pkt 2) oraz z elementów sterowniczych (rys. 1 pkt 3). W symulatorze zastosowano oryginalne elementy sterownicze wykorzystywane w rzeczywistych maszynach. Ponadto zbudowany symulator został wyposażony w dodatkowe elementy sterownicze umieszczone na statywie wiertarsko-frezarskim (rys. 1 pkt 4) i na stole koordynacyjno-krzyżowym (rys. 1 pkt 5). Tak wykonana konstrukcja symulatora stanowi rzeczywisty pulpit sterowniczy, za pomocą którego uczestnik badania może wykonywać określone zadania sterownicze.

W symulatorze opracowano również wirtualny pulpit sterowniczy symulatora, który stanowi model komputerowy maszyny kombinowanej (tokarko-frezarko-wiertarki). Model ten został zaimplementowany do funkcjonującego w symulatorze wirtualnego środowiska pomieszczenia warsztatu mechanicznego (rys. 2), gdzie jest użytkowany. Proces ten obejmuje: włączanie/wyłączanie maszyny, przemieszczanie stołu lub samej głowicy narzędziowej, ustawianie położenia stołu, mocowanie

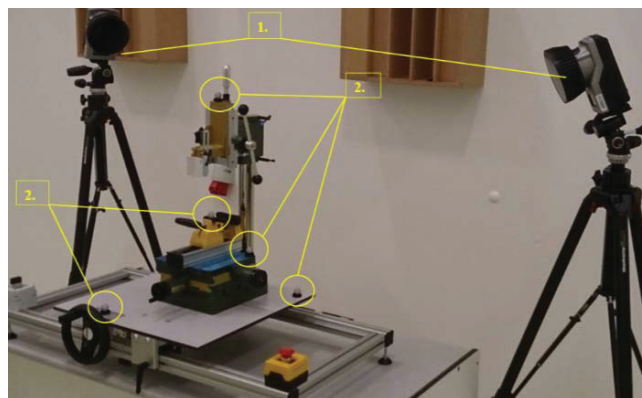
przedmiotu w imadle itp. Użytkowanie maszyny jest możliwe za pomocą wirtualnych lub rzeczywistych elementów sterowniczych. Wirtualne elementy sterownicze wyglądem i gabarytami odpowiadają rzeczywistym elementom umieszczonym na konstrukcji symulatora. Elementy te zsynchronizowano ze sobą.



Rys. 2. Widok komputerowo wygenerowanego środowiska pomieszczenia warsztatu mechanicznego wraz z wirtualnym modelem maszyny (tokarko-frezarko-wiertarki)

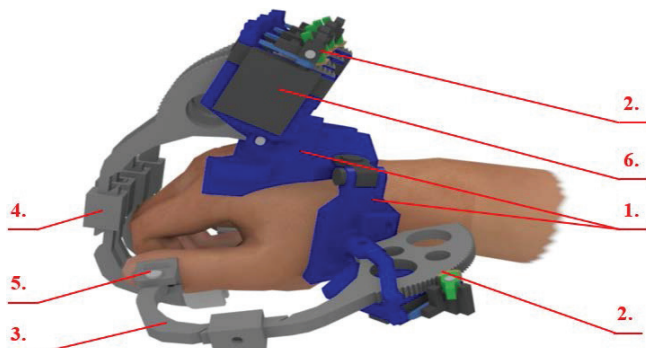
Do oprogramowania funkcjonującego w symulatorze zaimplementowano cztery scenariusze zadań sterowniczych. Oprogramowanie to pozwala na przeprowadzenie symulacji użytkownika wirtualnej maszyny w aspekcie wybranych czynności wykonywanych na rzeczywistych maszynach (zadania sterownicze). Scenariusze zadań obejmują: ustawianie położenia stołu, mocowanie przedmiotu w imadle, załączanie/wyłączanie maszyny oraz przemieszczanie stołu, suportu lub samej głowicy narzędziowej. Zadania te można realizować z wykorzystaniem rzeczywistych lub wirtualnych elementów sterowniczych (razem lub osobno). Zaimplementowany algorytm w oprogramowanych zadaniach sterowniczych pozwala na mierzenie czasu wykonania zadania oraz rejestrację precyzji jego wykonania podczas symulacji. Rejestracja tych informacji będzie konieczna przy prowadzeniu badań.

Następnie symulator (rys. 3) wyposażony w rzeczywisty i wirtualny pulpit sterowniczy został wyposażony w oprzyrządowanie VR, które umożliwia zanurzenie uczestnika badania w środowisku wirtualnym i przeprowadzenie interaktywnej symulacji. Oprzyrządowanie to obejmuje infohełm, zwykłą inforękawicę (bez możliwości symulowania wrażenia dotyku) oraz system wizyjny do śledzenia ruchu rąk użytkownika symulatora i przemieszczanych elementów składowych symulatora. W skład systemu wchodzi 2 kamery i 6 znaczników umieszczonych na elementach składowych symulatora.



Rys. 3. Widok gotowego symulatora z rzeczywistym i wirtualnym pulpitem sterowniczym wraz z kamerami (1) i znacznikami (2) systemu śledzenia ruchu elementów składowych symulatora

Drugim ważnym elementem składowym budowanego stanowiska jest rękawica z siłowym sprzężeniem zwrotnym (rys. 4). Rękawica ta umożliwi symulowanie wrażenia dotyku bez konieczności używania rzeczywistych elementów sterowniczych, tzn. pozwala na prowadzenie interakcji z obiektami środowiska wirtualnego, w tym sterowanie maszyną za pomocą wirtualnych elementów sterowniczych.



Rys. 4. Widok zaprojektowanej rękawicy z siłowym sprzężeniem zwrotnym: 1 – korpus mechanizmu blokującego, 2 – mechanizm blokujący, 3 – ramiona łącznika przegubowego, 4 – mechanizm do regulacji długości ramion łącznika, 5 – element do mocowania rękawicy na rękę i palcach, 6 – serwomechanizmy

Rękawicę wykonano w technice druku 3D; składa się ona z korpusu rękawicy (rys. 4 pkt 1), na którym umieszczono mechanizm blokujący ruch palców (rys. 4 pkt 2), łączników przegubowych (rys. 4 pkt 3) i mechanizmu regulacji długości łączników (rys. 4 pkt 4) oraz uchwytów (rys. 4 pkt 5) na rzepy do mocowania rękawicy na ręce i końcach palców. W wykonanej rękawicy dla każdego z palców zastosowano jeden serwomechanizm (rys. 4 pkt 6), który połączono z zębatkami mechanizmów blokujących i z układem elektronicznym, przez który przesyłane są sygnały z i do komputera. Przesłane sygnały są odpowiednio przetwarzane, a uzyskane wyniki odwzorowane w środowisku wirtualnym. Dzięki temu użytkownik, ruszając palcami w rękawicy, widzi w czasie rzeczywistym ruch awatara dłoni w środowisku wirtualnym. W momencie gdy użytkownik, za pomocą awatara, dotknie element sterowniczy wirtualnej maszyny, np. podczas jego wciskania lub chwytania, wysłany jest sygnał powodujący odpowiedni ruch serwomechanizmów uniemożliwiający dalsze zginanie palców. Zablokowanie tego ruchu daje użytkownikowi wrażenie, że dotyka sztywny obiekt w środowisku wirtualnym. Oprogramowanie rękawicy wykonano w środowisku programowym Arduino i w języku Python, które umożliwia właściwe funkcjonowanie rękawicy i współdziałanie z symulatorem i z wirtualnym środowiskiem.

## Podsumowanie

W artykule przedstawiono elementy składowe stanowiska badawczego, na którym przeprowadzone zostaną badania z udziałem ochotników. Badania te umożliwią porównanie dwóch metod symulacji wrażenia dotyku. Pierwsza z metod symulowania wrażenia dotyku umożliwia odczuwanie wirtualnych elementów sterowniczych i manipulowanie nimi przy pomocy rzeczywistych elementów sterowniczych. Druga z metod umożliwia odczuwanie wirtualnych elementów sterowniczych i manipulowanie nimi przy pomocy rękawicy z siłowym sprzężeniem zwrotnym, bez konieczności stosowania rzeczywistych elementów sterowniczych.

Wyniki badań pozwolą uzyskać odpowiedzi na postawione w artykule pytania badawcze oraz będą podstawą do opracowania wytycznych w aspekcie doboru odpowiedniego sposobu symulacji wrażenia dotyku do rodzaju użytkowanej lub tworzonej aplikacji.

**Publikacja została opracowana na podstawie wyników III etapu programu wieloletniego pn. „Poprawa bezpieczeństwa i warunków pracy” dofinansowywanego w latach 2014+2016 w zakresie badań naukowych i prac rozwojowych ze środków Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego. Koordynator programu: Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy.**

## LITERATURA

1. Kalwasiński D., „Opracowanie komputerowego narzędzia do interaktywnego odwzorowania zdarzeń wypadkowych podczas użytkowania suwnic” (Development of computer tool for interactive simulation of accident situations occurring during overhead crane operation), *Mechanik* nr 7/2012, s. 317÷324 [CD].
2. Juang J.R., Hung W.H., Kang S.C. „SimCrane 3D: A crane simulator with kinesthetic and stereoscopic vision”, *Advanced Engineering Informatics* 27/2013, s. 506÷518.
3. Kalwasiński D., „Praktyczny test symulatora suwnicy w aspekcie symulacji wrażenia dotyku”, *Mechanik* 7/2014, s. 285÷294 [CD], [www.mechanik.media.pl/archiwum.html](http://www.mechanik.media.pl/archiwum.html)
4. Zhou J., Shen X., Liu D., „Modeling and Simulation for Electric Vehicle Powertrain Controls”, ITC Asia – Pacific 2014, pp. 1÷4.
5. „Immersive Technologies, Simulation Delivering Safety & Productivity, Caterpillar 24m Graders”, 20.11.2013, – brochure, <http://www.immersivetechologies.com>.
6. Segura A., Moreno A., Brunetti G. and Henn T. “Interaction and Ergonomics Issues in the Development of a Mixed Reality Construction Machinery Simulator for Safety Training”, *Proceedings of Ergonomics and Health Aspects*, HCI International 2007, LNCS4566, ISBN 978-3-540-73738-4, s. 290÷299.
7. Myrcha K., Skoniecki A., Kalwasiński D. “Symulacja zagrożeń wypadkowych w transporcie wewnątrz zakładowym z zastosowaniem VR” (Interactive simulation of accidents risk in transport using the technique of virtual reality VR), *Przegląd Mechaniczny* nr 11/2004, s. 32÷34.
8. Saulewicz A., Myrcha K., Kalwasiński D. “Stosowanie wirtualnego symulatora podnośnikowego wózka widłowego do szkolenia operatorów” (Application of virtual forklift simulator for the training of the operators), *X Szkoła Komputerowego Wspomagania Projektowania, Wytwarzania i Eksploatacji*, WAT, Jurata, 05.2006, s. 223÷230.
9. Kalwasiński D., Myrcha K. “Środowisko wirtualne dla potrzeb interaktywnej symulacji obsługi tokarki” (Virtual environment for interactive simulation of lathe operation), *Mechanik* 7/2010, s. 187÷194 [CD].
10. Lin F., Ye L., Duffy V. G., Su C.-J., “Developing virtual environments for industrial training”, *Elsevier Information Sciences*, No. 140, 2002, pp. 153÷170.
11. Chambers T. L., Aglawe A., Reiners D., White S., Borst Ch. W., Bajpayee A. “Real-time simulation for a virtual reality-based MIG welding training system”, *Virtual Reality*, 2012, Vol. 16, Iss. 1, pp. 45÷55.
12. Huang J. Y. “An Omnidirectional Stroll-Based Virtual Reality Interface and Its Application on Overhead Crane Training”, *Ieee Transactions on Multimedia*, Vol. 5, No. 1, 03.2003, pp. 39÷51.
13. Hayward V., Astley O. R., Cruz-Hernandez M., Grant D. and Robles-De-La-Torre G. “Haptic interfaces and Devices”, *Sensor Review*, Vol. 24, No. 1, 2004, pp. 16÷29.
14. Lécuyer A., Burkhardt J.-M., Le Biller J., Congedo M. “A Technique to Improve Perception of Contacts with Under-Actuated Haptic Devices in Virtual Reality”, *Proceedings of the First Joint Eurohaptics Conference and Symposium on Haptic Interfaces for Virtual Environment and Teleoperator Systems*, 2005, pp. 316÷322, ISBN 0-7695-2310-2.
15. Zhou Z., Wan H., Gao S. & Peng Q., “A Realistic Force Rendering Algorithm for CyberGrasp”, *Computer Aided Design and Computer Graphics, 9th International Conference*, 2005, pp.6, ISBN: 0-7695-2473-7.
16. Coxworth B., “Dexmo exoskeleton-for-the-hand gives computer interfacing the finger(s)”, 24 October 2014, <http://www.gizmag.com/dexmo-robotics-dexmo-hand-exoskeleton/34410/>
17. Endo T., Kawasaki H. “Force Perception of Human Finger Using a Multi-Fingered Haptic Interface”, Chapter 16 in book R. Balasubramanian and V. J. Santos (eds.), “The Human as an Inspiration for Robot Hand Development”, Springer tracts in Advanced Robotics 95. Springer International Publishing 2014, pp. 345÷361, DOI 10.1007/978-3-319-03017-3\_16
18. Bouzit M., Popescu G., Burdea G. and Boian R. “The Rutgers Master II-ND Force Feedback Glove”, in proc. 10th *Symposium on Haptic Interfaces for Virtual Environment and Teleoperator Systems*, 2002. HAPTICS 2002, pp. 145÷152, ISBN 0-7695-1489-8.
19. Kalwasiński D. “Koncepcja badania symulacji wrażenia dotyku wirtualnych obiektów z wykorzystaniem techniki VR”, (Concept research on simulation of sense of haptics using VR technology), *Mechanik* 7/2015, s. 395÷402 [CD], DOI: 10.17814/mechanik.2015.7.253 [www.mechanik.media.pl/archiwum.html](http://www.mechanik.media.pl/archiwum.html)