



Interakcja człowieka ze środowiskiem wirtualnym za pomocą rzeczywistych i wirtualnych elementów sterowniczych

Dariusz KALWASIŃSKI

*Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy,
Zakład Techniki Bezpieczeństwa, Pracownia Techniki Rzeczywistości Wirtualnej
ul. Czerniakowska 16; 00-701 Warszawa,
e-mail: dakal@ciop.pl*

Artykuł wpłynął do redakcji 10.04.2017 r.

Zweryfikowaną wersję po recenzji otrzymano 22.06.2017 r.

DOI 10.5604/01.3001.0010.1575

Streszczenie. W artykule przedstawiono wnioski z przeprowadzonych badań pozwalających na określenie, która z dwóch metod symulowania wrażenia dotyku ma większy wpływ na realizm i precyzję w interakcji człowieka z rzeczywistymi lub wirtualnymi elementami sterowniczymi. Pierwsza z metod umożliwia odczuwanie wirtualnych elementów sterowniczych i manipulowanie nimi za pomocą symulatora wyposażonego w rzeczywiste elementy sterownicze i w zwykłą rękawicę VR (bez możliwości blokowania zginania palców). Natomiast druga z metod wykorzystuje rękawicę VR z siłowym sprzężeniem zwrotnym (z możliwością blokowania zginania palców) wraz z symulatorem wyposażonym w wirtualne elementy. Badania przeprowadzono na stanowisku wykorzystującym technikę rzeczywistości wirtualnej.

Słowa kluczowe: automatyka i robotyka, rękawica VR z siłowym sprzężeniem zwrotnym, symulowanie wrażenia dotyku, rzeczywistość wirtualna (VR)

1. WPROWADZENIE

Ważnym elementem w prowadzeniu szkoleń z wykorzystaniem technik rzeczywistości wirtualnej, obok szczegółowego odwzorowania rzeczywistego środowiska oraz jakości wyświetlanego obrazu, jest przede wszystkim uzyskanie jak najbardziej realistycznych doznań u osób szkolonych.

Od momentu wynalezienia komputera człowiek szuka nowych możliwości komunikacji zarówno z tym urządzeniem, jak i ze środowiskiem w nim występującym. Najczęściej komunikacja człowiek – komputer prowadzona była i jest poprzez klawiaturę i mysz, ale z biegiem czasu dodawano inny sprzęt zewnętrzny, tj.: joysticki, pady, manipulatory 3D, kierownice, pedały sterownicze itp. Rozwój techniki pozwolił na rozbudowę produktów wpływających na interakcję człowieka (osoby szkolonej) ze środowiskiem wirtualnym. Interakcja ta może być prowadzona np. za pomocą narzędzi wyposażonych w siłowe sprzężenie zwrotne lub przy użyciu rzeczywistych elementów sterowniczych. Pierwsza z interakcji umożliwia odczuwanie wirtualnych elementów sterowniczych i operowanie nimi za pomocą specjalistycznych narzędzi (np. rękawicy VR z siłowym sprzężeniem zwrotnym) bez konieczności stosowania rzeczywistych elementów sterowniczych. Natomiast druga umożliwia odczuwanie wirtualnych elementów sterowniczych wirtualnych maszyn i operowanie nimi za pomocą rzeczywistych elementów sterowniczych umieszczonych na realnym symulatorze maszyny (przełączniki, pokrętła, dźwignie, joysticki itp.).

Interakcja z obiektami środowiska za pomocą narzędzi wyposażonych w urządzenia generujące zaawansowane siłowe sprzężenia zwrotne, czy też w silniki wibracyjne, pozwala na realistyczne odczuwanie przez użytkownika efektów specjalnych podczas prowadzonej symulacji, w tym odczuwanie dotyku wirtualnych elementów sterowniczych niezbędnych do jej prowadzenia. Użytkownik może odczuwać drgania i opory toczenia podczas prowadzonej symulacji jazdy pojazdami kołowymi, statkami powietrznymi, czy też innymi pojazdami itp. Dalszy rozwój techniki komputerowej pozwolił w pełni „zanurzyć” człowieka w środowisku wirtualnym, a przez to osobiście uczestniczyć w prowadzonych symulacjach. „Zanurzenie” człowieka w środowisku wirtualnym [1, 2] jest możliwe poprzez zastosowanie gogli VR (do wyświetlania obrazu tuż przed oczami człowieka), systemu śledzenia ruchów użytkownika w środowisku wirtualnym oraz rękawic VR umożliwiających operowanie wirtualnymi obiektami [3]. Technika rzeczywistości wirtualnej pozwala na interakcje człowieka z wirtualnym środowiskiem w aspekcie możliwości symulacji wrażenia dotyku. Interakcję zapewniają specjalnie do tego celu przeznaczone urządzenia, które pośredniczą w komunikacji pomiędzy człowiekiem a wirtualnym środowiskiem [4-6].

Urządzenia te oprócz rejestrowania ruchu rąk i palców, umożliwiają odbieranie wrażenia odczuwania dotyku w momencie kolizji z wirtualnym obiektem środowiska wirtualnego. W literaturze opisano wiele różnych rodzajów rękawic, np. CyberGrasp II [7], DexmoF2 [8] oraz HIRO III [9] i Rutgers Master II-ND glove [10], dających wrażenie kolizji z wirtualnymi obiektami.

Innym sposobem prowadzenia interakcji człowieka z maszyną, tj. z wirtualną maszyną funkcjonującą w symulatorze szkoleniowym [11-15], jest zastosowanie odpowiednich rzeczywistych elementów sterowniczych, na które oddziałuje użytkownik symulatora i za ich pomocą steruje wirtualną maszyną. Ważnym zagadnieniem jest w tym momencie odpowiednie zaprojektowanie elementów sterowniczych i ich umiejscowienie (rozmszczenie na pulpicie sterowniczym). Zaprojektowane elementy na pulpicie powinny umożliwić bezbłędne i szybkie ich wykrycie oraz ich zidentyfikowanie [16]. Powinny również umożliwiać przekazanie decyzji użytkownika niezwłocznie do maszyny lub innego środka pracy, w celu wykonania zamierzonego zadania. Oddziaływanie przez użytkownika wirtualnej maszyny na wybrany jej element sterowniczy powinno skutkować informacją zwrotną o skutkach tej czynności, np. uruchomieniem podzespołu maszyny, przesunięciem jej ruchomego elementu itp. Do elementów sterowniczych, które mogą być dotykane (zazwyczaj rękoma i palcami) można zaliczyć np. przyciski, przełączniki, dźwignie, drążki, pokrętła z rękojeścią, manipulatory w postaci joysticków itp.

W artykule przedstawiono wnioski z przeprowadzonych badań mających na celu określenie, która z metod symulowania wrażenia dotyku ma większy wpływ na realizm i precyzję interakcji człowieka z rzeczywistymi lub wirtualnymi elementami sterowniczymi podczas użytkowania wirtualnej maszyny. W artykule krótko scharakteryzowano stanowisko badawcze, metodykę badawczą oraz wskazano wady i zalety stosowania obu metod.

2. STANOWISKO BADAWCZE

Badania, których wyniki przedstawiono w tym artykule, przeprowadzono na specjalnie opracowanym stanowisku badawczym. Stanowisko to składa się z symulatora wyposażonego w rzeczywiste (rysunek 1 pkt. 1) i wirtualne (rysunek 1 pkt. 2) elementy sterownicze oraz z rękawicy VR z siłowym sprzężeniem zwrotnym (umożliwiającej blokowanie zginanych palców w momencie dotykania obiektów wirtualnego środowiska) – rysunek 2.

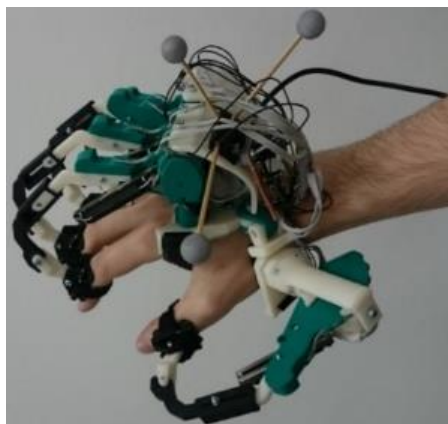
Urządzenia te odpowiednio oprogramowano w celu właściwego funkcjonowania oraz współdziałania ze sobą, jak również z wirtualnym środowiskiem.



Rys. 1. Symulator wirtualnej kombinowanej maszyny (tokarko-frezarko-wiertarki) wyposażony w rzeczywiste (1) i wirtualne (2) elementy sterownicze

Fig. 1. The combined machine (drill-lathe-milling machine) equipped with a real (1) as well as virtual (2) steering elements

W symulatorze zaimplementowano oprogramowanie komputerowe w postaci wirtualnego środowiska, obejmujące pomieszczenie warsztatu mechanicznego wraz z jego wyposażeniem i z wirtualną maszyną kombinowaną (tokarko-frezarko-wiertarką – rysunek 1 pkt. 2). Stanowisko badawcze wyposażono również w oprzyrządowanie VR, które objęło: gogle VR, gdzie obraz ze środowiska wirtualnego wyświetlany był na smartfonie o rozdzielczości 2560×1440 , zwykłe rękawice VR bez możliwości blokowania zginanych palców oraz system do śledzenia ruchu uczestnika badania, jak również przemieszczanych elementów konstrukcyjnych symulatora. System śledzenia to zestaw kamer i znaczników refleksyjnych (markerów) umieszczonych na ciele uczestnika i na konstrukcji symulatora oraz odpowiednie oprogramowanie.



Rys. 2. Rękawica VR z siłowym sprzężeniem zwrotnym

Fig. 2. The glove VR with force feedback

3. METODYKA BADAWCZA

W badaniach udział wzięło 30 ochotników. Uczestnicy badania wykonywali jednakowe zadania sterownicze związane z procesem symulacji użytkowania wirtualnej maszyny kombinowanej (tokarko-frezarko-wiertarki). Zadania sterownicze obejmowały procesy: frezowania (tj. ustawiania położenia stołu w osi z wrzecionem), toczenia (przemieszczanie suportu z imakiem nożowym wzdłuż łoża maszyny na zadaną odległość) oraz rozwiercania otworu w przedmiocie (tj. przemieszczania w poziomie stołu z imadłem i w pionie na zadaną głębokość uchwytu wiertarskiego). Sterowanie wirtualną maszyną odbywało się za pomocą rzeczywistych i wirtualnych elementów sterowniczych z użyciem jednej z dwóch metod symulowania wrażenia dotyku.

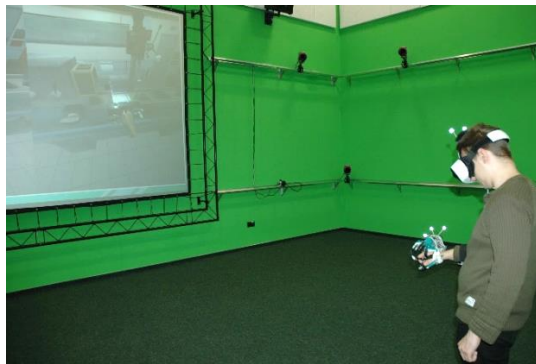
Pierwsza z metod pozwala uczestnikom badania na odczuwanie wirtualnych elementów sterowniczych i operowanie nimi za pomocą symulatora wyposażonego w rzeczywiste elementy sterownicze (rysunek 3) i w zwykłą rękawicę VR (bez możliwości blokowania palców).



Rys. 3. Badanie symulowania wrażenia odczucia dotyku przy użyciu symulatora wyposażonego w rzeczywiste elementy sterownicze i zwykłą rękawicę VR

Fig. 3. The research of a simulation of sense of touch using a simulator with real steering elements and a glove VR without force feedback

Druga z metod pozwala uczestnikom badania na odczuwanie wirtualnych elementów sterowniczych i operowanie nimi w środowisku wirtualnym, bez konieczności stosowania rzeczywistych elementów sterowniczych. W badaniu z wykorzystaniem tej metody manipulowanie elementami sterowniczymi prowadzone było za pomocą rękawicy VR z siłowym sprzężeniem zwrotnym (rysunek 4). Rękawica pozwala na odczuwanie wrażenia dotykania wirtualnych obiektów (w tym wirtualnych elementów sterowniczych funkcjonujących w symulatorze) podczas ich obejmowania i operowania nimi w środowisku wirtualnym.



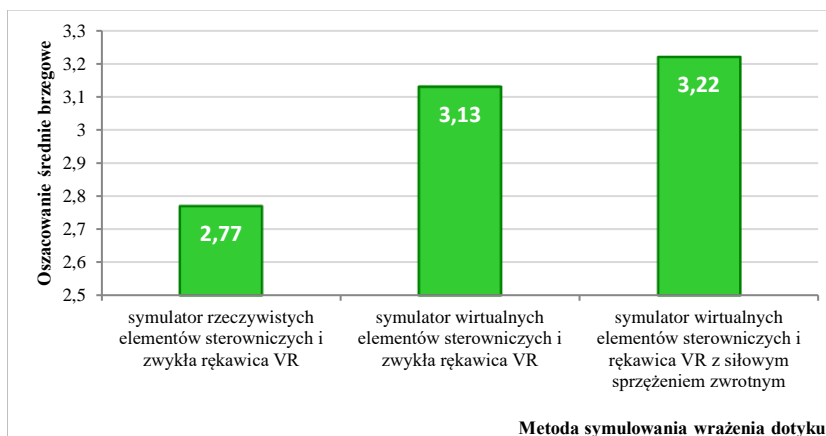
Rys. 4. Badanie symulowania wrażenia odczucia dotyku przy użyciu rękawicy VR z siłowym sprzężeniem zwrotnym i symulatora wyposażonego w wirtualne elementy sterownicze

Fig. 4. The research of a simulation of sense of touch using a simulator with real steering elements and a glove VR with force feedback

W trakcie każdego badania, przed i po zakończeniu zadania sterowniczego (tj. symulacji użytkowania wirtualnej maszyny w środowisku wirtualnym), przeprowadzone były testy psychologiczne mierzące poziom koncentracji i zmęczenia osób biorących udział w badaniu, wg E. Grandjeana. Uczestnicy badań wypełniali również kwestionariusz obecności przestrzennej opracowany na podstawie metody MEC-SPQ [17], pozwalający na ocenę środowiska wirtualnego, a w tym realizmu prowadzenia symulacji procesu sterowania i samego interfejsu sterowania. Natomiast badania przeprowadzono zgodnie z metodą „User Testing” [18]. Uzyskane wyniki porównano ze sobą, a otrzymane informacje przeanalizowano w celu wychwycenia istotnych statystycznych różnic pomiędzy zastosowanymi metodami symulacji wrażenia dotyku.

4. WYNIKI BADAŃ

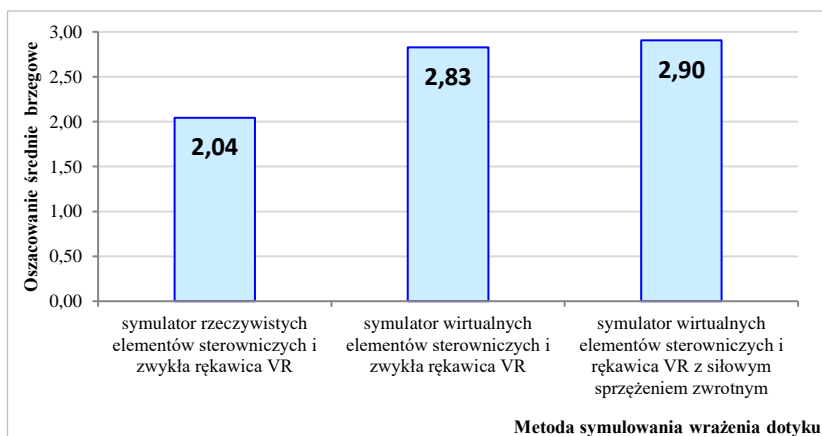
Uczestnicy badań wypełniali kwestionariusze obecności przestrzennej. Udzielone odpowiedzi pozwoliły na ocenę środowiska wirtualnego, w tym realizmu prowadzenia symulacji procesu sterowania i precyzji użytkowanego interfejsu sterowania. Wyniki z przeprowadzonej analizy odpowiedzi zawartych w kwestionariuszach pokazały, że metoda symulowania wrażenia dotyku związana z wykorzystaniem rękawicy VR z siłowym sprzężeniem zwrotnym i symulatora z wirtualnymi elementami sterowniczymi wpływa bardziej na realizm procesu symulacji użytkowania wirtualnej maszyny (rysunek 5) niż stosowanie symulatora wyposażonego w rzeczywiste i wirtualne elementy sterownicze, obsługiwanego za pomocą zwykłej rękawicy VR.



Rys. 5. Ocena realizmu symulacji w zależności od rodzaju metody symulowania wrażenia dotyku

Fig. 5. Assessment of the realism of the simulation depending on the method of the simulation of sense of touch

Podobne wyniki uzyskano po analizie kwestionariuszy w aspekcie precyzji manipulowania elementami sterowniczymi podczas wykonywania zadań sterowniczych na symulatorze. Uczestnicy badania wysoko ocenili, w tym aspekcie, zastosowanie rękawicy VR z siłowym sprzężeniem zwrotnym (rysunek 6).



Rys. 6. Ocena precyzji w manipulowaniu elementami sterowniczymi w zależności od rodzaju metody symulowania wrażenia dotyku

Fig. 6. Assessment of the precision of the steering elements depending on the method of the simulation of sense of touch

5. WNIOSKI

Wnioski i doświadczenie zebrane podczas prowadzonych badań pokazały, że obie metody w aspekcie interakcji człowieka z rzeczywistymi lub wirtualnymi elementami sterowniczymi mają wpływ na realizm i precyzję procesu symulacji użytkowania wirtualnej maszyny. Jednakże jak wskazano w artykule, to zastosowanie rękawicy VR z siłowym sprzężeniem zwrotnym w procesie symulacji zostało najwyższej ocenione przez uczestników badania w porównaniu do rozwiązania wykorzystującego rzeczywiste elementy sterownicze.

Przeprowadzone badania pokazały również wady i zalety zastosowania obu tych metod w procesie symulacji. Zalety stosowania rękawicy VR z siłowym sprzężeniem zwrotnym podczas manipulowania wirtualnymi elementami sterowniczymi w procesie symulacji są następujące:

- wrażenie odczuwania dotyku obiektów w środowisku wirtualnym,
- wrażenie odczuwania trzymania w ręku wirtualnego obiektu,
- blokowanie palców na wirtualnym obiekcie w momencie jego objęcia,
- swobodne manipulowanie elementami sterowniczymi, które nie przemieszczają się wraz z elementami składowymi maszyny (nie zmieniają swojego położenia podczas użytkowania),
- możliwość rejestrowania ruchów ręki i palców, dzięki czemu możliwe jest odtworzenie ich w wirtualnym środowisku,
- możliwość przenoszenia i podtrzymywania wirtualnych obiektów, np. przedmiotów do obróbki,
- nie ma potrzeby tworzenia i stosowania rzeczywistych elementów sterowniczych,
- nie ma potrzeby prowadzenia działań w zakresie synchronizacji rzeczywistych elementów z ich odpowiednikami w środowisku wirtualnym.

Wady stosowania rękawicy VR z siłowym sprzężeniem zwrotnym w procesie symulacji są następujące:

- nie ma możliwości oparcia dłoni o wirtualne elementy sterownicze podczas manipulowania nimi, co może powodować zwiększanie promienia ruchu ręki (np. w przypadku pokrętła z rękojeścią),
- nie ma możliwości odczuwania ciężaru podnoszonych wirtualnych obiektów w środowisku wirtualnym,
- rozciąganie się trzymanego w ręce wirtualnego elementu sterowniczego w momencie, gdy element ten zmienia swoje położenie w środowisku wirtualnym, w wyniku przemieszczania się elementu maszyny, do którego jest zamontowany,

- zmęczenie użytkownika, a w szczególności jego dłoni, podczas prowadzenia procesu symulacji, gdy użytkowany element sterowniczy zmienia swoje położenie w środowisku wirtualnym, w wyniku przemieszczania się elementu składowego maszyny, do którego jest zamontowany,
- zmęczenie użytkownika, a w szczególności jego dłoni, w wyniku wykonywania przez użytkownika ukośnych obrotowych ruchów ręką od lub do siebie w momencie manipulowania ukośnie zainstalowanymi elementami sterowniczymi w stosunku do użytkownika wirtualnej maszyny,
- problem w użytkowaniu małych elementów sterowniczych.

Natomiast do zalet stosowania rzeczywistych elementów sterowniczych w manipulowaniu ich odpowiednikami w środowisku wirtualnym podczas procesu symulacji należą:

- rzeczywiste odczuwanie prawdziwych elementów sterowniczych,
- świadomość, że trzyma się w rękę lub obejmuje się ręką rzeczywisty element,
- odczuwanie ciężaru podnoszonych rzeczywistych obiektów,
- możliwość oparcia całej dłoni na rzeczywistym elemencie,
- jednakowa, wymuszona przez konstrukcję elementu, trajektoria ruchów obrotowych elementów sterowniczych,
- swobodne manipulowanie elementami sterowniczymi bez względu na pozycję ich umiejscowienia na maszynie (tj. równoległe, prostopadłe lub ukośnie do użytkownika),
- swobodne manipulowanie elementami sterowniczymi, w tym elementami zmieniającymi swoje położenie w środowisku wirtualnym, w wyniku przemieszczania się elementu składowego maszyny, do którego jest zamontowany.

Wady stosowania rzeczywistych elementów sterowniczych w procesie symulacji są następujące:

- konieczność budowy konstrukcji lub makiety wyposażonej w rzeczywiste elementy sterownicze,
- nie ma możliwości przenoszenia i podtrzymywania wirtualnych obiektów (przedmiotów do obróbki),
- konieczność dokładnego odwzorowania rzeczywistych elementów sterowniczych w środowisku wirtualnym (zachowując odpowiedni kształt i gabaryty),
- potrzeba przeprowadzenia kalibracji rzeczywistych elementów z ich odpowiednikami w środowisku wirtualnym,
- problemy z odpowiednim zsynchronizowaniem rzeczywistych elementów z ich odpowiednikami w środowisku wirtualnym (szczególnie ważne przy wyświetlaniu obrazu ze środowiska w goglach VR lub HMD).

Ponadto duży wpływ na realizm i precyzję obu tych metod w interakcji człowieka z elementami sterowniczymi podczas symulacji ma sposób wyświetlania obrazu, a dokładniej jego rozdzielczość.

Z doświadczeń zebranych podczas badań z użytkowaniem różnego rodzaju HMD lub gogli VR można sugerować, że obraz wyświetlany ze środowiska wirtualnego powinien być o rozdzielczości, co najmniej 1280×720 [19, 20]. Dlatego też, czym wyższa rozdzielczość, tym obraz wyraźniejszy, a wirtualne obiekty środowiska bardziej szczegółowe i wyraziste. W przeprowadzonych badaniach użyto gogli VR ze smartfonem o rozdzielczości 2560×1440 , co zapewne wpłynęło również na uzyskane wyniki.

Innym czynnikiem mogącym wpływać na precyzję sterowania i pozwalającym na swobodne wykonanie zadania na symulatorze przy zastosowaniu rękawicy VR z siłowym sprzężeniem zwrotnym jest sposób umieszczenia elementów sterowniczych. Umieszczenie elementów równoległe lub prostopadłe do użytkownika pozwala na wykonywanie zadań w sposób prosty i niestwarzający problemów użytkownikowi. Natomiast usytuowanie elementów sterowniczych na maszynie ukośnie (pod pewnym kątem) do użytkownika prowadzącego symulację może powodować problemy podczas manipulowania nimi.

Problem ten wynika z konieczności wykonywania przez użytkownika obrotowych ruchów ręką, ukośnie od lub do siebie. Dodatkowo brak możliwości oparcia dłoni o wirtualny element sterowniczy może spowodować, że po wykonaniu kilku obrotów ręką użytkownik zacznie wykonywać nierównomierne obroty o różnym promieniu (raz większym, raz mniejszym). Problem ten nie występuje w przypadku zastosowania symulatora wyposażonego w rzeczywiste elementy sterownicze.

6. PODSUMOWANIE

W artykule przedstawiono wyniki i wnioski z przeprowadzonych badań z użyciem dwóch metod symulowania wrażenia dotyku pozwalających na interakcję człowieka (operatora) z wirtualną maszyną za pomocą rzeczywistych i wirtualnych elementów sterowniczych.

Najwyżej oceniony został proces symulacji prowadzony z wykorzystaniem rękawicy VR z siłowym sprzężeniem zwrotnym. W chwili, gdy awatar dłoni (reprezentant dłoni w przestrzeni wirtualnej) dotyka wirtualnych elementów sterowniczych następuje zatrzymanie i zablokowanie ruchu palców, co uniemożliwia dalsze ich zginanie. Efekt ten daje realistyczne odczucie wrażenia dotykania lub trzymania elementów w dłoni.

Rękawica VR z siłowym sprzężeniem zwrotnym może być wykorzystywana w szkoleniach (np. w zwiększaniu umiejętności w operowaniu elementami sterowniczymi podczas użytkowania wirtualnych maszyn lub pojazdów), w rehabilitacji kończyn górnych, a także może być stosowana do testowania wirtualnych interfejsów lub prototypów rzeczywistych produktów w celu ich dostosowania do możliwości przyszłych operatorów lub potrzeb konsumentów.

Publikacja opracowana na podstawie wyników III etapu programu wieloletniego pn. „Poprawa bezpieczeństwa i warunków pracy” w latach 2014-2016 dofinansowywanego 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] Grabowski Andrzej. 2012. „Wykorzystanie współczesnych technik rzeczywistości wirtualnej i rozszerzonej do szkolenia pracowników” (Virtual and augmented reality contemporary techniques in training workers). *Bezpieczeństwo Pracy* 4 : 18-21.
- [2] Kalwasiński Dariusz. 2012. „Opracowanie komputerowego narzędzia do interaktywnego odwzorowania zdarzeń wypadkowych podczas użytkowania suwnic”. *Mechanik* 7 : 317-324.
- [3] Hayward Vincent, Oliver R. Astley, Manuel Cruz-Hernandez, Dany Grant, Gabriel Robles-De-La-Torre. 2004. “Haptic interfaces and Devices”. *Sensor Review* 24(1) : 16-29.
- [4] Lécuyer Anatole, Jean-Marie Burkhard, Jildaz Le Biller, Marco Congedo. 2005. “A Technique to Improve Perception of Contacts with Under-Actuated Haptic Devices in Virtual Reality”. In *Proceedings of the First Joint Eurohaptics Conference and Symposium on Haptic Interfaces for Virtual Environment and Teleoperator Systems* 316-322.
- [5] Barkley J. Jeffrey. 2003. *Haptic Devices*. Mimic Technologies Inc. 1-4.
- [6] Grabowski Andrzej. 2015. “Sense of Touch in Training Tasks Demanding High Precision and Short Time of Execution”. *International Journal of Human-Computer Interaction* 31(12) : 861-868.
- [7] Zhou Zhihua, Huagen Wan, Shuming Gao, Qunsheng Peng. 2005. A Realistic Force Rendering Algorithm for CyberGrasp., In *Proceedings of the Ninth International Conference IEEE on Computer Aided Design and Computer Graphics*.
- [8] Coxworth Ben. 2014. “Dexmo exoskeleton-for-the-hand gives computer interfacing the finger(s)”, <http://www.gizmag.com/dexta-robotics-dexmo-hand-exoskeleton/34410/>, <http://dextarobotics.com/products/Dexmo>.

- [9] Endo Takahiro, Haruhisa Kawasaki. 2014. Force Perception of Human Finger Using a Multi-Fingered Haptic Interface. In *The Human as an Inspiration for Robot Hand Development* (eds.: R. Balasubramanian and V. J. Santos), 345-361. Springer International Publishing.
- [10] Bouzit Mourad, George Popescu, Grigore Burdea, Rares Boian. 2002. The Rutgers Master II-ND Force Feedback Glove. In *Proceedings of the 10th Symposium on Haptic Interfaces for Virtual Environment and Teleoperator Systems HAPTICS*, 145-152.
- [11] Papelis Yiannis, Omar Ahmad, Ginger Watson. 2005. Driving simulation scenario definition based on performance measures. In *Proceedings of the 3rd Driving Simulation Conference North America*, Orlando, Florida, 128-138.
- [12] Kalwasiński Dariusz, Krystyna Myrcha. 2010. "Środowisko wirtualne dla potrzeb interaktywnej symulacji obsługi tokarki". *Mechanik 7* : 187-194.
- [13] Segura Alvaro, Aitor Moreno, Gino Brunetti, Thomas Henn. 2007. Interaction and Ergonomics Issues in the Development of a Mixed Reality Construction Machinery Simulator for Safety Training. In *Proceedings of Ergonomics and Health Aspects*, HCI International, 290-299, LNCS4566.
- [14] Chambers L. Terrence, Amit Aglawe, Dirk Reiners, Steven White, Christoph W. Borst, Abhishek Bajpayee. 2012. "Real-time simulation for a virtual reality-based MIG welding training system". *Virtual Reality* 16(1) : 45-55.
- [15] Huang Jung-Yao. 2003. "An Omnidirectional Stroll-Based Virtual Reality Interface and Its Application on Overhead Crane Training". *IEEE Transactions on Multimedia* 5(1) : 39-51.
- [16] Słowikowski Jerzy. 2001. „Przesłanki ergonomiczne „wyczuwania” maszyn przez człowieka”. *Bezpieczeństwo Pracy – Nauka i Praktyka* 7-8 : 2-6.
- [17] Sacau Ana, Jari Laarni, Nikolas Ravaja, Tilo Hartmann. 2005. The Impact of Personality Factors on the Experience of Spatial Presence. In *Annual International Workshop on Presence*, London, UK, ed. / M. Slater. Department of Computer Science, University College, 143-151 (<http://www.ijk.hmt-hannover.de/presence>).
- [18] Bach Cedric, Dominique L Scapin. 2010. "Comparing Inspections and User Testing for the Evaluation of Virtual Environments". *International Journal of Human-Computer Interaction* 26(8) : 786-824,
- [19] Kalwasiński Dariusz. 2014. „Praktyczny test symulatora suwnicy w aspekcie symulacji wrażenia dotyku”. *Mechanik 7* : 285-294.
- [20] Juang Jhih-Ren, W.H. Hung, Shih-Chung, Kang. 2013. "SimCrane 3D: A crane simulator with kinesthetic and stereoscopic vision". *Advanced Engineering Informatics* 506-518.

Interaction of a Human with Virtual Environment Using Real and Virtual Control Elements

Dariusz KALWASIŃSKI

*Central Institute for Labour Protection – National Research Institute
Department of Safety Engineering, Virtual Reality Laboratory,
16 Czerniakowska Street, 00-701 Warsaw, Poland*

Abstract. The article presents the conclusions from the conducted research allowing to determine which of two methods simulating the sense of touch has more influence on realism and precision of interaction of a human with real or virtual control elements. The first method allows to sense virtual elements and to manipulate them with the use of a simulator equipped with real control elements and a standard VR glove (without the possibility to block fingers bending). The second method uses a force feedback glove (with the possibility to block fingers bending) together with a simulator equipped with virtual elements. The article characterizes the research post, research methodology, and points out advantages and disadvantages of both methods and their use. The research was conducted on a research post which uses virtual reality technique.

Keywords: automation and robotics, the glove VR with force feedback, the simulation of sense of touch, virtual reality (VR)

