

## Analiza porównawcza wybranych interfejsów człowiek-komputer

Kamil Bartosz Podkowiak\*, Damian Burak\*, Tomasz Szymczyk

Politechnika Lubelska, Instytut Informatyki, Nadbystrzycka 36B, 20-618 Lublin, Polska

**Streszczenie.** Artykuł dotyczy porównania dwóch technologii manipulowania obiektami 3D w kontekście intuicyjności, ergonomii i wygody użytkownika. Porównanie zostało przeprowadzone na podstawie czasów wykonania zadań testowych oraz ocen uzyskanych z ankiet przeprowadzonych na grupie 15 osób. Opracowano szczegółowe scenariusze badawczo-testowe a także dodatkowe pytania ankietowe. Każdy z respondentów przed wypełnieniem ankiety miał możliwość zapoznania się z urządzeniem poprzez wykonanie 3 prób w dwóch scenariuszach testowych (po jednym na urządzenie).

**Słowa kluczowe:** zSpace; SpaceNavigator; mysz 3D; Stylus; interfejsy człowiek-komputer; grafika 3D

\* Autor do korespondencji.

Adresy e-mail: [kamil.podkowiak@pollub.edu.pl](mailto:kamil.podkowiak@pollub.edu.pl), [damian.burak@pollub.edu.pl](mailto:damian.burak@pollub.edu.pl)

## Comparative analysis of selected human-computer interfaces

Kamil Bartosz Podkowiak\*, Damian Burak\*, Tomasz Szymczyk

Institute of Computer Science, Lublin University of Technology, Nadbystrzycka 36B, 20-618 Lublin, Poland

**Abstract.** This article deals with the comparison of two technologies for manipulating 3D objects in terms of ease of use, ergonomics and intuitiveness. The comparison was based on the results obtained from the outcome of test tasks and questionnaires performed on the group of 15 people. Detailed research and test scenarios and additional questionnaires have been made. Each of the respondents had the opportunity to familiarize themselves with the device by performing three tests in two test scenarios (one per device).

**Keywords:** zSpace; SpaceNavigator; 3D mouse; Stylus; human-computer interfaces, 3D graphics

\*Corresponding author.

E-mail addresses: [kamil.podkowiak@pollub.edu.pl](mailto:kamil.podkowiak@pollub.edu.pl), [damian.burak@pollub.edu.pl](mailto:damian.burak@pollub.edu.pl)

### 1. Wstęp

Interakcja człowiek - komputer (ang. Human - Computer Interaction) to nauka i obszar badawczy zajmujący się sposobem komunikacji pomiędzy użytkownikiem a komputerem, poprzez interfejs użytkownika UI (ang. User Interface). Od momentu pojawienia się pierwszych komputerów osobistych podstawowymi narzędziami do komunikacji z komputerem były klawiatura i myszka komputerowa. Pozwalały one na wprowadzanie tekstu, manipulowanie obiektami i jak dotąd w tych zastosowaniach nie mają sobie równych i wiodą prym wśród narzędzi HCI. Jednakże wraz z rozwojem technologii 3D, rozszerzonej i wirtualnej rzeczywistości, zaistniała realna potrzeba na narzędzie pozwalające manipulować obiektami w trójwymiarze, zapewniające jednocześnie precyzję i wygodę użytkownika [1], [2].

Każdy grafik 3D w swojej pracy zawodowej musi operować w trójwymiarowej przestrzeni i zajmować się modelami obiektów 3D. Ważną decyzją, którą musi podjąć jest wybór odpowiedniego narzędzia, które nie tylko będzie adekwatne do wykonywanej pracy lecz również znacznie ją usprawni i będzie wygodne w wielogodzinnej pracy. W niniejszym artykule porównano dwa nowoczesne narzędzia: mysz 3D - SpaceNavigator i interfejs zSpace 200. Pierwsze pomimo, iż obecne na rynku od początku lat 90 ubiegłego wieku, z uwagi na cenę i specyfikę zastosowania nie

jest często występujące na wyposażeniu komputerów przeciętnego użytkownika. Drugi interfejs zSpace swoją premierę miał w 2015 roku i jest jeszcze rzadziej spotykany.

### 2. zSpace 200

Pierwszą badaną technologią jest zestaw zSpace, interaktywne i przede wszystkim intuicyjne oraz proste w obsłudze urządzenie umożliwiające użytkownikom wręcz immersyjną interakcję z obiektami w trójwymiarowym środowisku. Taka forma interakcji użytkownika ze światem wirtualnym jest nie tylko bardziej naturalna od standardowego obrazu 2D ale przede wszystkim pozwala lepiej zrozumieć istotę obserwowanej scenarii. To w połączeniu z precyzyjnym kontrolerem Stylus daje szereg zastosowań dla monitora zSpace m.in. w takich branżach jak szeroko pojęta edukacja czy medycyna.



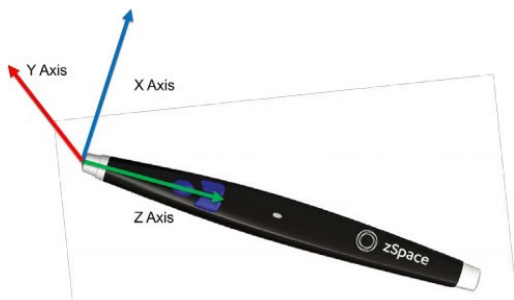
Rys. 1. Zestaw zSpace [3]

Zestaw zSpace składa się z trzech kluczowych elementów: interaktywnego monitora 3D (1), okularów (2) oraz kontrolera Stylus (3). Cały zestaw został zaprezentowany na rysunku 1. Monitor zSpace posiada 23,6" matową matrycę umożliwiającą wyświetlanie obrazu w pasywnym trybie 3D, 4 kamery śledzące ruch głowy użytkownika, znajdujące się w górnej części monitora, 1 port USB typu B, 4 porty USB typu A, 1 port DVI, 1 DisplayPort w wersji 1.2, port do podłączenia kontrolera oraz slot do kabla zasilającego. Natywna rozdzielczość ekranu wynosi 1920x1080 Full HD. W skład zestawu wchodzi również okulary dla użytkownika (3D, sterujące sceną) i obserwatora (2D). Te przeznaczone dla użytkownika umożliwiają oglądanie obrazu w trybie 3D. Wyposażone są także w markery, które w interakcji z wbudowanymi kamerami monitora zSpace umożliwiają użytkownikowi manipulowanie wyświetlanym obrazem, czyli dowolne zmienianie kąta widzenia obrazu. Druga para przeznaczona dla obserwatorów umożliwia wyświetlanie obrazu 2D oraz nie posiada markerów. Na rysunku 2 przedstawiono umiejscowienie markerów na okularach użytkownika.



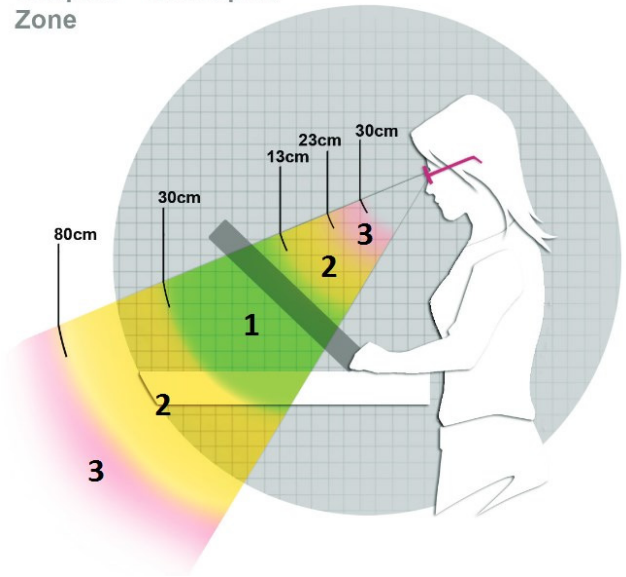
Rys. 2. Okulary 3D z markerami. Na czerwono zaznaczono znaczniki wykrywane przez kamery

Ostatnim kluczowym elementem zestawu jest manipulator Stylus, jest on połączony z monitorem za pomocą kabla, który nieznacznie, negatywnie wpływa na komfort korzystania. Kontroler wyposażony jest w 3 przyciski oraz diodę umieszczoną w centralnej części urządzenia. Dodatkowo Stylus zawiera opcję wibracji, która może posłużyć jako dodatkowe źródło informacji dla użytkownika. Właściwościami tych elementów można manipulować z poziomu kodu oprogramowania. Pozycja Stylusa określana jest w trzech płaszczyznach X, Y i Z, względem pozycji jego wierzchołka.



Rys. 3. "Stylus" - manipulator zestawu zSpace [4]

**Coupled + Decoupled Zone**



Rys. 4. Strefy wyświetlanego obrazu 3D [5]

Wyświetlany obraz 3D można podzielić na trzy sektory rozszerzonej rzeczywistości, które różnią się komfortem użytkowania. Strefy zaznaczone na zielono (1) są domyślnie najlepszą opcją przy korzystaniu z monitora zSpace, obserwowanie obrazu 3D w tym obszarze nieznacznie wpływa na zmęczenie oczu. Obserwowanie obiektów znajdujących się w strefie pomarańczowej (2) przez dłuższy okres może powodować większy odczuwalny dyskomfort. Natomiast obserwowanie obiektów w strefie czerwonej (3) powinno być relatywnie krótkie gdyż sektor ten najmocniej obciąża oczy. Jak możemy zauważyć na rys. 4 monitor zSpace umożliwia obserwowania obiektów w „głębi monitora” jak i „przed monitorem” [5].

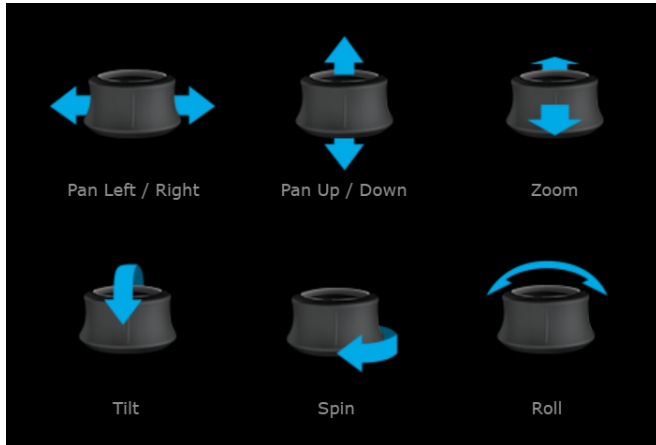
**3. Mysz 3D**

Badanym modelem myszy 3D jest SpaceNavigator, produkowany przez firmę 3Dconnexion, która dostarcza także inne, zbliżone rozwiązania. Według producenta SpaceNavigator zapewnia swobodę intuicyjnej i precyzyjnej nawigacji 3D.



Rys. 5. SpaceNavigator - mysz 3D [6]

Mysz składa się z metalowego obciążnika, czujnika wykorzystującego sześć stopni swobody ruchu pokrytego gumowym materiałem ułatwiającym chwyt oraz dwoma programowalnymi przyciskami. Do myszy dołączona jest płyta CD ROM, na której znajdują się sterowniki, wersje demonstracyjne i narzędzia. Wymiary myszy to 78 mm (długość) na 78 mm (szerokość) na 53 mm (wysokość), a jej waga to 479 gramów [6].



Rys. 6. SpaceNavigator – zakres ruchów [6]

Dzięki zastosowaniu opatentowanego przez 3Dconnexion czujnika istnieje możliwość precyzyjnego i swobodnego poruszania trójwymiarowym obiektem w 3 wymiarach bądź manipulacją kamerą na trójwymiarowej scenie (np. programu graficznego), wykonując przedstawione na rysunku 6 ruchy.

#### 4. Zastosowanie badanych urządzeń

Monitor zSpace znajduje zastosowanie w specjalistycznych systemach pomocniczych w dziedzinie chirurgii i diagnostyki. W artykule [7] połączono korzyści płynące z wykorzystania ekranu interaktywnego i trójwymiarowych modeli narządów wykonanych za pomocą druku trójwymiarowego. zSpace w takiej konfiguracji stał się narzędziem umożliwiającym wygenerowanie dokładnych modeli 3D narządów pacjenta w wirtualnej przestrzeni, co w połączeniu z organem wydrukowanym za pomocą drukarki 3D umożliwiło dokładniejszy i co najważniejsze bezinwazyjny, opis stanu narządu pacjenta jeszcze przed zabiegiem.

Kolejnym przykładem zastosowania zSpace w medycynie jest projekt frameworku FAUST, który został dokładnie opisany w artykule [8]. Framework ten umożliwia manipulację wygenerowanym modelem 3D koła tętniczego mózgu oraz dodawaniem do niego adnotacji. W artykule wykazano kilka właściwości zestawu zSpace w kontekście wdrożenia go do placówek medycznych. W zestawieniu z odpowiednim oprogramowaniem umożliwia on dokładne i wygodne, ze względu na swoją intuicyjność formę analizy wyników medycznych. W kwestii wymaganego miejsca w pomieszczeniu zwrócono uwagę na fakt iż monitor zSpace działa również jako wyświetlacz 2D, więc może zastąpić monitory z których dotychczas korzystano. Cena zestawu

zSpace jest relatywnie niska w porównaniu z ceną aparatury medycznej.

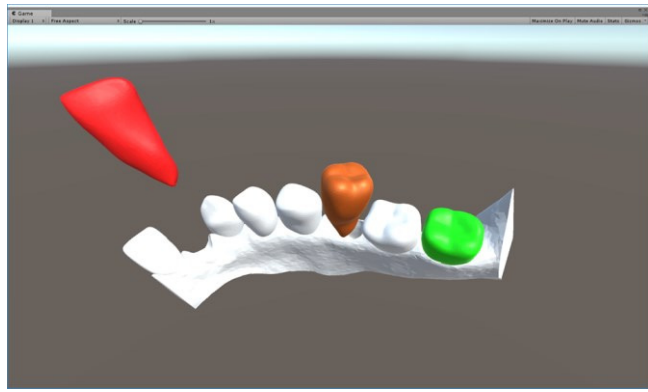
Jednym z przykładów zastosowania myszki 3D jest branża rozrywkowa, a konkretnie gry wideo. W artykule [9] wykazano iż dla osób posiadających motoryczne dysfunkcje wykorzystanie myszki 3D w grze „Second Life” uprościło rozgrywkę względem standardowego zestawu mysz 2D i klawiatura. Badania przeprowadzono na dziesięcioosobowej grupie, połowa osób przypisana była do myszki 3D, a druga połowa do myszki 2D. Następnie obie grupy do wykonania miały 13 scenariuszy, które dotyczyły aktywności w omawianej grze. Głównym wnioskiem przeprowadzonych badań było stwierdzenie iż 3 z 5 najtrudniejszych scenariuszy stało się łatwiejsze z wykorzystaniem myszki 3D. Ankietowani respondenci przychylniej wypowiedzieli się na temat myszki 3D.

W kolejnym przykładzie użyto myszki 3D SpaceNavigator jako manipulatora obiektów w grze polegającej na układaniu trójwymiarowych puzzli [10]. W ramach badań porównano czas, w którym badanym osobom udało się wykonać zadanie pomyślnie. Badanych podzielono, pierwsza grupa wcześniej przeszła szkolenie z obsługi myszki 3D, natomiast druga nie. Zgodnie z oczekiwaniami, ustalono, że osoby przeszkolone miały niższy średni czas ustawiania puzzla 3D, a także że osoby młodsze lepiej poradziły sobie z zadaniem. Stwierdzono, że interakcja z obiektami w przestrzeni trójwymiarowej jest trudnym zadaniem, ponieważ użytkownik traci perspektywę głębi podczas wykonywania zadań na płaskim, dwuwymiarowym ekranie.

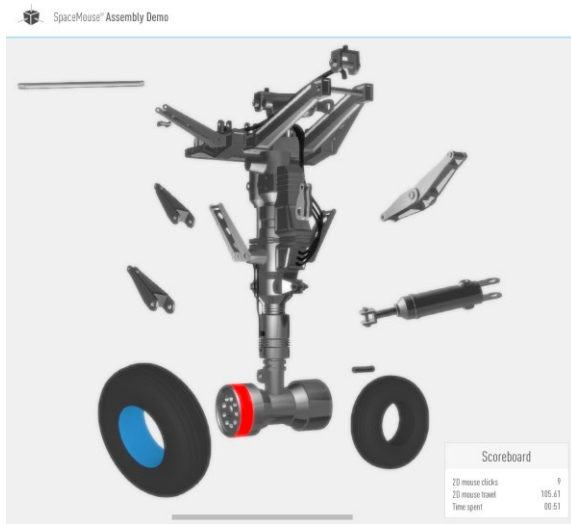
#### 5. Procedura badawcza

Badania przeprowadzono na grupie piętnastu osób, respondenci do wykonania mieli dwa scenariusze, jeden dotyczący zSpace i drugi wykorzystujący mysz 3D. Na każdy ze scenariuszy przypadały trzy próby, po zakończonej procedurze osoby były ankietowane pod kątem intuicyjności i wygody użytkowania obu urządzeń. Na potrzeby badań stworzono autorską aplikację na technologii zSpace oraz wykorzystano demo zawarte w oprogramowaniu myszki 3D. Osobami ankietowanymi byli studenci kierunków technicznych w przedziale wiekowym 23-35 lat.

Scenariusz badawczy dotyczący zestawu zSpace opierał się na wykonaniu trzech prób ułożenia obiektów w przestrzeni trójwymiarowej z wykorzystaniem autorskiej aplikacji. Istotą zadania było dopasowanie trzech obiektów zębów do odpowiadającym im miejsc w szczęce. Precyzję dopasowania określała zarówno lokalizacja i rotacja zęba względem docelowej pozycji, stopień dopasowania weryfikowany był przez aplikację. Na rysunku X przedstawiono zęby w trzech różnych stanach, ten najdalej oddalony od miejsca docelowego ma kolor czerwony, obiekt w stanie pośrednim ma kolor brązowy natomiast ten najlepiej dopasowany zielony. Kolor płynnie zmieniał się z czerwonego na zielony wraz z przybliżaniem do położenia docelowego.



Rys. 7. Poglądowy zrzut ekranu autorskiej aplikacji wykonanej na platformę zSpace



Rys. 8. Poglądowy zrzut ekranu dema wykorzystanego w badaniach

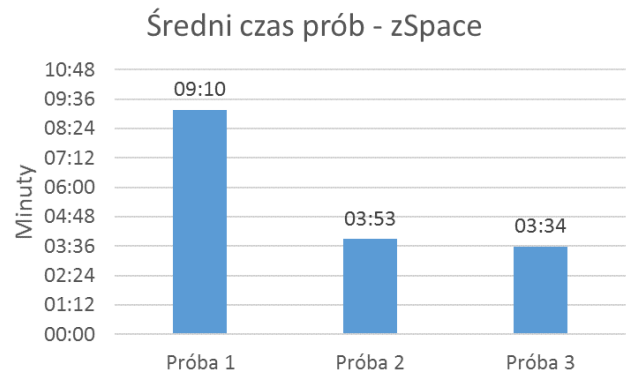
Scenariusz badawczy dotyczący myszy 3D opierał się na trzykrotnym wykonaniu dema zawartego w oprogramowaniu dołączonym do tej myszy. Polegało ono na poruszaniu modelem podwozia samolotu za pomocą myszy 3D i dopasowania elementów używając myszy tradycyjnej poprzez sekwencyjne klikanie na element i jego miejsce docelowe. Dla ułatwienia miejsca te były oznaczone kolorem czerwonym. Nie było możliwe wykonanie zadania bez wykorzystania myszy 3D, a sprawniejsze posługiwanie się nią skutkowało krótszym czasem końcowym.

## 6. Wyniki badań

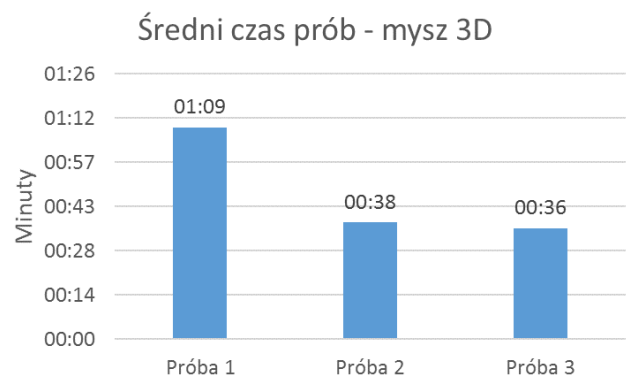
Podczas przeprowadzania badań wykonano pomiary czasów prób. Otrzymane wyniki zestawiono na poniższych wykresach w formie sumarycznych uśrednionych czasów poszczególnych prób. W celu lepszego zobrazowania uzyskanych wyników usunięto ze średnich wartości odstające (średnia ucinana).

Z otrzymanych wykresów średnich czasów prób można wywnioskować, iż w obu przypadkach kolejne próby były szybsze od poprzedzających. Taką sytuację można tłumaczyć procesem uczenia, który szerzej znany jest pod terminem krzywej uczenia. Oznacza to, iż obiekt badany podejmując

kolejne próby skraca czas ich wykonania do momentu osiągnięcia maksimum jego możliwości, czyli de facto asymptoty krzywej uczenia.



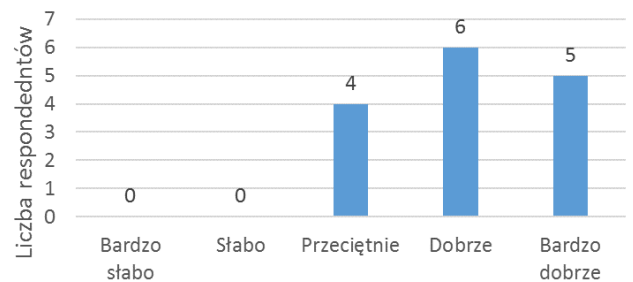
Rys. 9. Uśrednione czasy prób - zSpace



Rys. 10. Uśrednione czasy prób – mysz 3D

Rezultatem przeprowadzonych ankiet są odpowiedzi osób badanych na temat intuicyjności i wygody użytkowania urządzeń. Pięciostopniowa skala (znajdująca się na wykresach na osi X) zastosowana w ankiecie odzwierciedlała następujące wartości: 1 - Bardzo słabo, 2 - Słabo, 3 - Przeciętnie, 4 - Dobrze, 5 - Bardzo dobrze. Natomiast na osi Y znajduje się liczba osób, które zagłosowały na daną opcję.

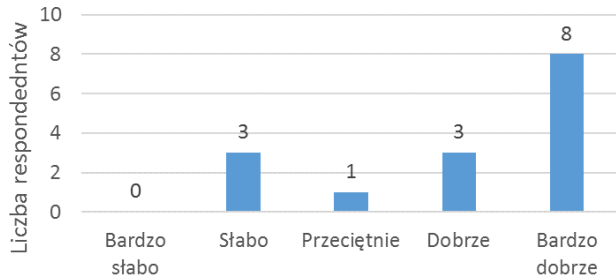
### Jak oceniasz intuicyjność posługiwania się urządzeniem?



Rys. 11. Wyniki ankiety intuicyjności posługiwania się urządzeniem dla zestawu zSpace

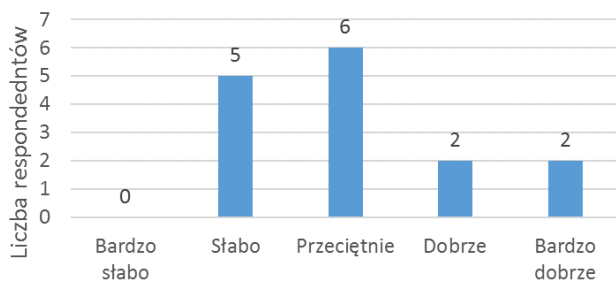
Po podliczeniu średnich wartości uzyskano potwierdzenie wcześniej założonej hipotezy: Średnia ocena intuicyjności zestawu zSpace wyniosła 4,3 natomiast dla myszy 3D 4,2. Następnie przebadano w analogiczny sposób wygodę użytkownika urządzeń.

### Jak oceniasz intuicyjność posługiwania się urządzeniem?



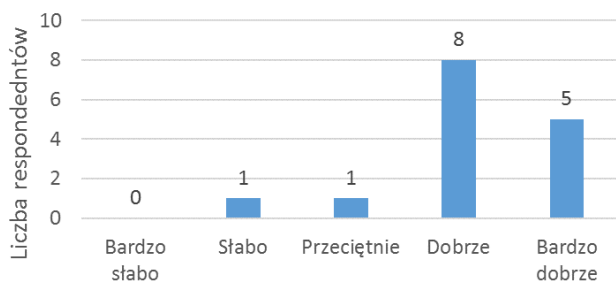
Rys. 12. Wyniki ankiety intuicyjności posługiwania się urządzeniem dla myszy 3D

### Jak oceniasz wygodę użytkownika urządzenia?



Rys. 13. Wyniki ankiety wygodę użytkownika dla zestawu zSpace

### Jak oceniasz wygodę użytkownika urządzenia?



Rys. 14. Wyniki ankiety wygodę użytkownika dla myszy 3D

Ankietowani często narzekali na różne dolegliwości wynikające z długotrwałego używania zSpace, które wynikały z konieczności utrzymywania ręki razem z kontrolerem w powietrzu, co następnie miało odzwierciedlenie w ankiecie. Średnia ocena wygodę użytkownika zSpace znacznie odbiega od oceny wygodę użytkownika myszy 3D, są to odpowiednio wartości 3,2 dla zSpace i 4,2 dla myszy 3D.

Ankietowani dodatkowo wskazali kilka zastosowań dla badanych technologii. W przypadku zSpace respondenci podali m.in. takie zastosowania jak: modelowanie 3D, motoryzacja, rozrywka, medycyna, projektowanie. Dla myszy 3D wskazano obszary takie jak automatyka, robotyka, modelowanie 3D, motoryzacja, sterowanie dronami, medycyna, przemysł.

## 7. Wnioski

Na podstawie przeprowadzonych badań można wywnioskować iż rozwiązanie oferowane przez firmę zSpace wykazuje się większą intuicyjnością użytkownika. Otrzymane wyniki argumentować można faktem iż kontroler zestawu zSpace swoją budową przypomina długopis, co implikuje łatwość i naturalność poruszania nim. Kolejnym czynnikiem potwierdzającym zaobserwowany fakt jest precyzja odwzorowania ruchów użytkownika, których translacja następuje w stosunku 1:1. Stylus w połączeniu z monitorem zSpace oferuje lepszą wizualizację i immersyjną interakcję z przestrzenią 3D niż połączenie myszy 3D i monitor.

Według badanych większą wygodę wykazuje się urządzenie dostarczone przez firmę 3Dconnexion. Wynik tego badania skorelowany jest z wypowiedziami respondentów podczas przeprowadzanych prób - około połowa badanych wskazywała na uczucie zmęczenia podczas korzystania ze stylusa. W przeciwieństwie do stylusa, praca z myszą 3D nie wymaga od użytkownika utrzymywania ręki w powietrzu, co miało bezpośredni wpływ na odbiór urządzeń w tym aspekcie. Sprzęt posiada metalowy obciążnik, dzięki któremu nie zmienia swojej pozycji podczas pracy, a ręka może swobodnie leżeć na blacie biurka. Natomiast w przypadku Stylusa ręka przez większość czasu znajduje się w powietrzu co przy dłuższym użytkowaniu obciąża nadgarstek i mięśnie ręki.

Pod uwagę należy wziąć fakt, iż trzech na piętnastu badanych miało wady wzroku co powodowało trudności w odbiorze obrazu 3D. Taki stan rzeczy mógł wpłynąć negatywnie na ogólny odbiór urządzenia co w efekcie mogło zaniżyć wynik technologii zSpace w obu badanych kategoriach.

ZSpace jest to sprzęt o wiele droższy, ale też jednocześnie posiadający szerszą gamę zastosowań niż mysz 3D, jest też rozwiązaniem o wiele bardziej kompletnym, gdyż w skład zestawu wchodzi także monitor 3D, dzięki któremu możliwe jest wyświetlanie trójwymiarowego obrazu. Możliwość pisania własnych aplikacji na zestaw zSpace za pomocą oprogramowania Unity3D jest też niewątpliwie dużą zaletą. Mysz 3D to sprzęt wielokrotnie tańszy ale też bardziej ograniczony, ponieważ stanowi jedynie manipulator, dodatkowy kontroler, który wpinamy do portu USB komputera. Można go używać jedynie w aplikacjach, które go wspierają.

## Literatura

- [1] Szymczyk Tomasz, Skulimowski Stanisław, The use of virtual and augmented reality in the teaching process, INTED 2017 : 11th International Technology, Education and Development

- Conference; [Red:] Gomez Chova L., Lopez Martinez A., Candel Torres I. - [B.m.]: IATED Academy, 2017, s. 6570-6577 .- (INTED 2017 Proceedings, ISSN 2340-1079)
- [2] T. Szymczyk, MAKE LEARNING MORE INTERESTING BY USING VIRTUAL REALITY, EDULEARN 17 : 9th International Conference on Education and New Learning Technologies, Barcelona (Spain), 3rd-5th of July, 2017 : conference proceedings ; [Red:] Gomez Chova L., Lopez Martinez A., Candel Torres I. - Barcelona: IATED Academy, 2017, s. 3513-3519 .- (EDULEARN 17 Proceedings, ISSN 2340-1117)
- [3] <http://www.reeduca.com.mx/img/zSpace2.jpg> [12.11.2017]
- [4] Getting Started, <http://developer.zspace.com/docs/> [12.11.2017]
- [5] Style Guide & Best Practices, <http://developer.zspace.com/docs/> [09.11.2017]
- [6] <https://3Dconnexion.com> [09.11.2017]
- [7] Maki Sugimoto, Augmented Tangibility Surgical Navigation Using Spatial Interactive 3-D Hologram zSpace with OsiriX and Bio-Texture 3-D Organ Modeling, 2015
- [8] Patrick Saalfelda, Sylvia Glaßer, Oliver Beuin, Bernhard Preima, The FAUST framework: Free-form annotations on unfolding vascular structures for treatment planning, 2017
- [9] Márcio Martins, António Cunha, Irene Oliveira, Leonel Morgado, Usability test of 3Dconnexion 3D mice versus keyboard + mouse in Second Life undertaken by people with motor disabilities due to medullary lesions, 2013
- [10] Deyberth Hernando Riaño Nuñez, Jaime Barrios Hernández, Pablo Alejandro Figueroa Forero, Jose Tiberio Herna Peñaloza, Brain Puzzle 3D, 2015