

SYSTEMY ŚLEDZENIA POZYCJI W ŚRODOWISKU WIRTUALNYM W APLIKACJI MEDYCZNEJ

Paweł BUŃ, Radosław WICHNIAREK, Filip GÓRSKI, Wiesław KUCZKO

Streszczenie: Systemy śledzenia znalazły szerokie zastosowanie w immersyjnych symulacjach z zastosowaniem technologii wirtualnej rzeczywistości (ang. Virtual Reality – VR). Możliwość śledzenia ruchów użytkownika pogłębia realizm symulacji w środowisku wirtualnym. Artykuł omawia proces adaptacji głowicy używanej w badaniu USG do zastosowania w symulacji szkoleniowej. Opisane został proces skanowania, wykonania prototypu z zastosowaniem technologii 3DP, wprowadzenia głowicy do systemu śledzenia oraz przeprowadzone badania mające określić wpływ chwytu na rozpoznawanie głowicy.

Słowa kluczowe: wirtualna rzeczywistość, systemy śledzenia, optyczne skanowanie 3D, druk 3D.

1. Wstęp

Obecnie dynamicznie rozwijają się dziedziny wizualizacji i symulacji komputerowej. Początkowo symulatory stosowane były głównie na potrzeby szkolenia pilotów wojskowych. Wraz z rozwojem techniki symulacja komputerowa z zastosowaniem środowisk wirtualnej rzeczywistości zaczęła odgrywać coraz większą rolę w wielu cywilnych dziedzinach, między innymi w rozrywce czy szkoleniach i kształceniu specjalistycznym. Symulacje szkoleniowe są obecnie szeroko stosowane wszędzie tam, gdzie pomyłka użytkownika zagrażałaby życiu i zdrowiu jego oraz innych, a także tam gdzie może ona prowadzić do dużych strat finansowych. Stosuje się je również, gdy warunki występujące w symulacji trudno odzwierciedlić w środowisku naturalnym.

W przypadku szkoleń z zastosowaniem wirtualnej rzeczywistości kluczowe jest zbudowanie środowiska immersyjnego, w którym kursant (użytkownik) będzie miał wrażenie „zanurzenia”. Oznacza to konieczność jak najmocniejszego zaangażowania jak największej liczby zmysłów użytkownika w interakcję z wirtualnym środowiskiem. Wzmocnienie efektu immersji możliwe jest między innymi dzięki zastosowaniu systemów śledzenia ruchów użytkownika, przez co w sposób naturalny może wchodzić on w interakcję z elektronicznym środowiskiem. Symulacja w takim środowisku ułatwia użytkownikowi wypracowanie najpotrzebniejszych odruchów, co nie byłoby możliwe w przypadku wykonywania pojawiających się instrukcji tylko za pomocą myszy, klawiatury czy innego urządzenia peryferyjnego. Jak dowodzą badania [1] nawet w wypadku, gdy zadanie postawione w symulacji zostanie opanowane za pomocą klawiatury i myszy w takim stopniu, że po kilku powtórzeniach będzie wykonywane przez kursanta automatycznie to nie zastąpi to typowego dla aplikacji immersyjnych wrażenia wykonywania czynności samodzielnie.

2. Systemy śledzenia

Obecnie największe zastosowanie mają magnetyczne oraz optyczne systemy śledzenia ruchów użytkownika. Magnetyczne systemy śledzenia firmy Polhemus znajduje się na

wyposażeniu laboratorium Rzeczywistości Wirtualnej znajdującego się w Katedrze Zarządzania i Inżynierii Produkcji Politechniki Poznańskiej. System Polhemus Liberty składa się z czterech receptorów, połączonych z przetwornikiem oraz aktywnego źródła pola magnetycznego (markera). System umożliwia śledzenie obiektu posiadającego 6 stopni swobody. Wadą tego typu systemów jest duża podatność na zakłócenia spowodowane obecnością w środowisku pracy obiektów metalowych oraz konieczność instalowania na śledzonych obiektach znaczników o znacznie większej masie oraz większych gabarytach niż w przypadku systemów śledzenia optycznego.

W systemach optycznego śledzenia stosowane są znaczniki (markery) ułatwiające określenie pozycji obiektu lub śledzenie bezpośrednio obiektu / użytkownika w oparciu o bardziej skomplikowane algorytmy. Przykładem systemu działającego bez markerów jest system oparty na urządzeniu Kinect firmy Microsoft. Stosowane jest zarówno światło widzialne, rejestrowane przez zwykłą kamerę, jak również światło podczerwone emitowane przez urządzenie, odbijające się od śledzonego obiektu. W tym wypadku cyfrowa kamera wykrywa sylwetkę użytkownika, zaś detektor podczerwieni pomaga w ocenie odległości od urządzenia [2].

Systemy optyczne śledzące położenie obiektu w oparciu o światło emitowane przez pojedynczą diodę lub odbite przez marker są w stanie śledzić jedynie położenie obiektu, bez określenia jego nachylenia względem przyjętego układu współrzędnych. W przypadku zastosowania dwóch oraz większej liczby markerów lub obiektów samoistnie emitujących promieniowanie świetlne konieczne jest by ich pozycja względem siebie nie ulegała zmianie w czasie trwania całej symulacji. Umożliwia to śledzenie ruchów zarówno w osiach X, Y oraz Z jak i obrotów obiektu względem każdej z osi.

Przykładem hybrydowego śledzenia jest połączenie śledzenia optycznego umożliwiającego określenie pozycji z badaniem przyspieszeń za pomocą akcelerometru oraz żyroskopu dającego informacje o zmianach położenia przestrzennego oraz kąтового.

3. Zastosowany w badaniach system śledzenia

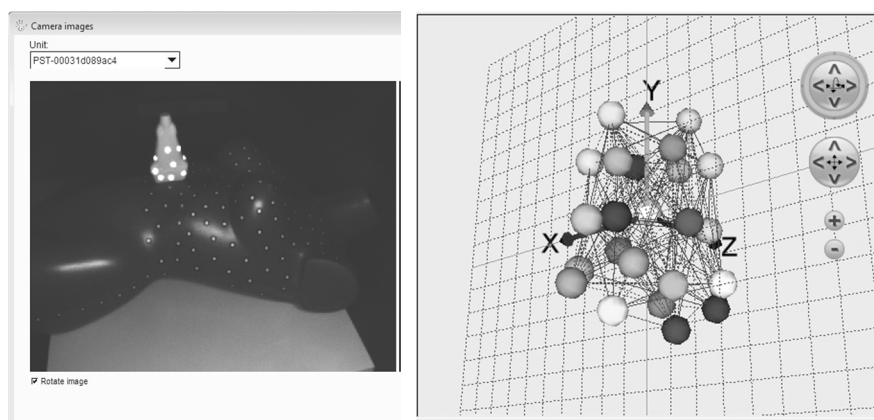
3.1. Urządzenie śledzące

Podczas prowadzenia badań zastosowano system śledzenia optycznego PST-55, wyprodukowany przez firmę PS-Tech. Urządzenie wyposażone jest w dwie kamery na podczerwień oraz diody emitujące promieniowanie podczerwone. Diody oświetlając scenę umożliwiają śledzenie obiektów odbijających promieniowanie nawet w sytuacji, gdy w pomieszczeniu nie znajdują się inne źródła światła. System śledzący łączy się z komputerem z zainstalowanym oprogramowaniem dostarczonym przez producenta za pomocą kabla sieciowego RJ-45. Urządzenie umożliwia śledzenie obiektów w przestrzeni zbliżonej do ostrosłupa, którą można zwiększać stosując kilka urządzeń równolegle.

3.2. Zastosowane oprogramowanie

Dostarczone przez producenta oprogramowanie PS-Tracking służy do wymiany danych pomiędzy urządzeniem a komputerem. Oprogramowanie umożliwia między innymi podgląd obrazu z kamer, co zapewnia możliwość wizualnej oceny widoczności umieszczonych w polu kamer markerów (rys. 1). Jeśli markery znajdują się zbyt blisko siebie nie są poprawnie rozpoznawane przez system, nawet jeżeli nie mają ze sobą fizycznego kontaktu. Jeżeli to możliwe markery należy nanosić na powierzchnie płaskie.

W celu umożliwienia śledzenia położenia obiektu konieczne jest umieszczenie na nim znaczników dostarczonych przez producenta, a następnie wprowadzenie ich charakterystycznego układu do oprogramowania. Wprowadzenie polega na umieszczeniu obiektu z naniesionymi markerami w polu widzenia systemu śledzącego, a następnie płynne obracanie go w celu rejestracji wszystkich markerów. Proces wprowadzania obiektu do systemu jest prosty i przebiega szybko pod warunkiem, że znaczniki są właściwie rozmieszczone. W przypadku kiedy markery rozmieszczone są w nieprawidłowy sposób lub obiekt obracany jest zbyt dynamicznie system śledzenia nie jest w stanie określić relacji pomiędzy nowo wprowadzonym punktem, a dotychczas zarejestrowanymi.



Rys. 1. Widok z kamery systemu śledzenia optycznego PST-55 oraz rozpoznane w systemie punkty obrazujące markery

Po wprowadzeniu układu markerów do systemu należy nadać nazwę śledzonemu obiektowi oraz określić jego identyfikator. Po zakończeniu procedury wprowadzania możliwe jest ręczne skorygowanie układu poprzez usunięcie nieprawidłowo rozpoznanych znaczników.

W przedstawionym w opracowaniu przypadku pozycja i orientacja obiektu była wysyłana do symulacji utworzonej w programie EON Studio za pośrednictwem połączenia sieci ethernet. Otrzymane w ten sposób dane posłużyły następnie do określenia pozycji kamery, w celu uzyskania obrazu zbliżonego do obrazu z urządzenia USG. Aplikacja została stworzona w oparciu o opisany w publikacji [3] atlas 3D ciała ludzkiego.

4. Śledzony obiekt

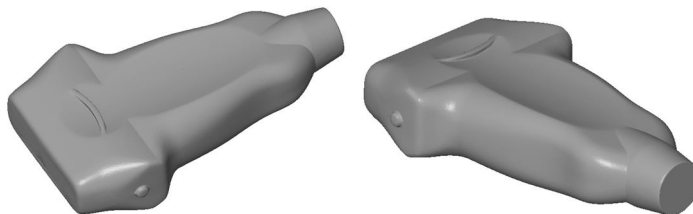
Obiektem poddany badaniu był model głowy stosowany podczas badania USG. Model stworzono na podstawie głowy dostarczonej przez Centrum Symulacji Medycznej Uniwersytetu Medycznego imienia Karola Marcinkowskiego w Poznaniu.

W przypadku tworzenia symulacji komputerowej z zastosowaniem środowiska wirtualnego bardzo ważne jest odpowiednie przedstawienie w tym środowisku elementów rzeczywistych. W celu zwiększenia immersji użytkownika należy obiekty rzeczywiste, którymi się posługuje (w przypadku przedstawionych badań jest to głowica urządzenia USG) przenieść do środowiska wirtualnego zachowując ich jak najlepsze odwzorowanie. W celu digitalizacji głowy zastosowano technikę skanowania trójwymiarowego, która

charakteryzuje się krótkim czasem pomiaru, podczas którego zbierane są informacje w postaci chmury punktów o dużej gęstości. Pomiar wykonano skanerem optycznym Atos I firmy GOM, o wielkości pola pomiarowego 125 x 125mm.

Podstawą działania optycznego skanera 3D jest zastosowanie światła o znanej strukturze – najczęściej w postaci prążków. Prążki światła są rzutowane na mierzony obiekt, którego kształt powoduje ich deformację. W momencie rzutowania prążków wykonywane są zdjęcia, które są analizowane w czasie rzeczywistym przez algorytm zaimplementowany w oprogramowaniu skanera 3D. Na podstawie stopnia deformacji prążków w stosunku do zachowanego ich wzorca oraz parametrów kalibracyjnych skanera 3D obliczane są współrzędne przestrzenne dla każdego piksela obrazu zarejestrowanego przez matrycę. Wynikiem pojedynczego pomiaru jest chmura punktów reprezentująca mierzoną powierzchnię. Warto w tym miejscu nadmienić, że ten sposób zbierania informacji o obiektach w przestrzeni nie mógłby być zastosowany do dynamicznego śledzenia pozycji obiektu w środowisku wirtualnym ze względu na złożoność algorytmów obliczeniowych [4].

Głowica zamocowana została na stole obrotowym z naniesionymi markerami, umożliwiającymi wzajemną orientację względem siebie poszczególnych serii pomiarowych, wykonywanych przy różnym położeniu przestrzennym skanera względem mierzonego obiektu. Ponadto w celu uniknięcia refleksów świetlnych w trakcie rzutowania prążków, powierzchnia głowicy została zmatowiona poprzez naniesienie za pomocą aerografu cienkiej warstwy proszku kredowego. Bezpośrednim wynikiem pomiaru była chmura punktów, którą następnie poddano procesowi filtracji oraz triangularyzacji. Otrzymany w ten sposób model w postaci siatki trójkątów został zapisany do formatu STL, standardowo stosowanego jako format wymiany danych między maszynami pomiarowymi, środowiskiem VR oraz urządzeniami do wytwarzania przyrostowego [5]. Wynik pomiaru przedstawia rysunek 2. Otrzymany model 3D został następnie zaimportowany do symulacji w programie EON Studio.



Rys. 2 Wynik skanowania 3D – siatka trójkątów rozpięta na chmurze punktów

Ze względu na fakt, że głowica urządzenia USG została jedynie wypożyczona, w celu przeprowadzenia szczegółowych badań należało wykonać odpowiednik głowicy. Dysponując modelem 3D wytworzono fizyczny odpowiednik stosując przyrostowe warstwowe technologie wytwarzania. Pozwalają one na wykonanie prototypu jedynie na podstawie cyfrowego modelu 3D bez praktycznie żadnego dodatkowego oprzyrządowania technologicznego, a cały proces wytwarzania odbywa się w jednej operacji [6]. Dodatkowo perspektywa dalszych prac badawczych będzie wymagała od autorów zabudowania głowicy USG dodatkowych elementów elektronicznych, dla których miejsce oraz mocowanie można zaprojektować bezpośrednio w modelu cyfrowym eliminując w ten sposób konieczność wykonywania obróbki ubytkowej na istniejącym obiekcie.

Głowica została wytworzona metodą druku przestrzennego (ang. 3DP – Three Dimensional Printing) w której modele wykonuje się zadrukowując kolejne warstwy proszku lepiszczem.

Wytwarzanie prototypu odbywa się warstwa po warstwie. Przed każdym rozprowadzeniem kolejnej warstwy proszku komora robocza obniża się o grubość jaką ma ona posiadać w celu zrobienia miejsca dla kolejnej porcji proszku. Proszek rozprowadzany jest równomiernie w komorze roboczej dzięki obrotowej rolce co umożliwia uzyskanie jednolitej, gładkiej powierzchni warstwy. Nadmiar proszku zostaje zebrany i opada do zbiornika przesypowego z którego może zostać ponownie pobrany. Następnie głowica drukująca do której podawane jest lepiszcze nanosi je na proszek w miejscu w którym tworzony jest model. W kolejnych krokach proces powtarza się, aż do zadrukowania wszystkich przekrojów dla danego modelu. Największą zaletą metody 3DP jest brak konieczności stosowania materiału podporowego, ponieważ w tym przypadku jego funkcję spełnia niezwiązany proszek w którym znajduje się model [7]. Prototyp głowicy został wykonany na drukarce Z310 firmy Z-Print z proszku na bazie gipsu i lepiszcza na bazie alkoholu metylowego. Czas wydruku wyniósł 47 minut, a po jego zakończeniu prototyp pozostawiony został w komorze roboczej na kolejne 180 minut w celu odparowania wilgoci. Po tym czasie prototyp został przeniesiony do stacji oczyszczającej gdzie za pomocą sprężonego powietrza oraz pędzla z miękkim włosiem usunięte zostały z jego powierzchni ziarna niezwiązanego proszku. W celu zwiększenia właściwości wytrzymałościowych oraz zapewnienia odpowiedniej jakości powierzchni na której trwale można będzie nałożyć markery, prototyp został nasączony dwuskładnikową żywicą poliuretanową. Gęstość żywicy przed utwardzeniem oraz jej czas życia wynoszący 8 minut pozwolił na dokładną infiltrację żywicy na głębokość ok. 5mm. Całkowity czas utwardzenia żywicy wynosi 120 minut i po tym czasie możliwa była dalsza obróbka wykańczająca polegająca na wygładzeniu powierzchni poprzez szlifowanie.

Obiekt został następnie pokryty znacznikami odbijającymi promieniowanie podczerwone. Obecnie nie ma dostępnego żadnego narzędzia, które zapewniałoby automatyczne dopasowywanie układu znaczników na przykład za pomocą informacji o cyfrowym modelu wyrobu. Powoduje to konieczność pracy metodą iteracyjnego dopasowywania układu za pomocą metody prób i błędów. Sprawdzono około 16 kombinacji ułożenia markerów, aby zapewnić najlepszą widoczność przez urządzenie. Do dalszych badań wybrano układ który umożliwił prawidłowe rozpoznanie i wprowadzenie wszystkich znaczników układu do bazy danych oprogramowania, w najkrótszym czasie. Na rysunku 3 przedstawiono głowicę wytworzoną metodą 3DP z naniesionymi markerami.

Ponadto zaplanowano również dalsze badania, w których na podstawie modelu 3D oryginalnej głowicy zamodelowana i wytworzona zostanie seria prototypów nowej głowicy w którym uwzględnione zostaną zmiany w jej kształcie umożliwiające takie naniesienie markerów, aby ich rozpoznawanie było prawidłowe w możliwie wielu pozycjach głowicy. Tak przygotowane prototypy będą



Rys. 3 Głowica wytworzona metodą 3DP z naniesionymi markerami typu "infrared"

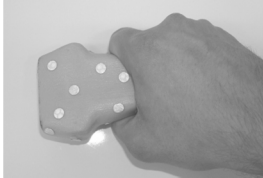

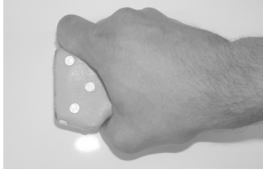



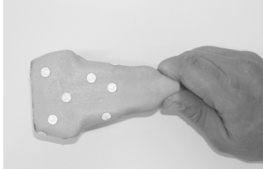

mogły również zostać poddane testom ergonomicznym, które pozwolą stwierdzić, w jaki sposób wprowadzone zmiany wpłynęły na komfort pracy z głowicom o nowym kształcie.

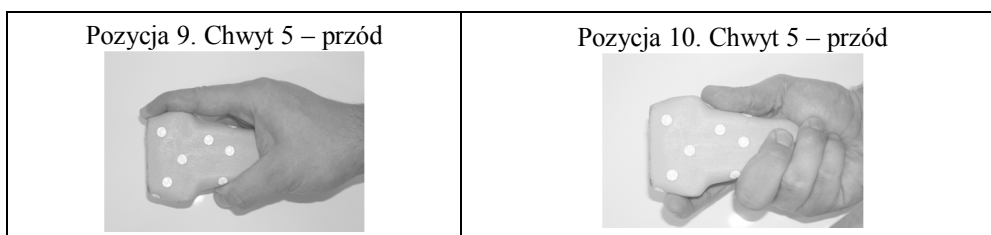
5. Przeprowadzone badanie

5.1. Sposób uchwycenia głowicy

Na zdolność rozpoznania markerów wpływa nie tylko ich odległość od urządzenia PST ale również kąt pod jakim względem kamery znajduje się sonda. Zastosowany system śledzenia umożliwia rozpoznawanie obiektu, gdy dobrze widoczne są co najmniej trzy z zarejestrowanych uprzednio punktów. Oczywiście im większa liczba punktów pomiarowych jest widoczna tym dokładniej można określić pozycję obiektu w przestrzeni i zmniejsza się prawdopodobieństwo chwilowej utraty informacji o położeniu. W czasie badań opisanych w ramach niniejszej pracy podjęto próbę zbadania wpływu zastosowanego chwytu na widoczność głowicy w poszczególnych punktach pomiarowych. Tabela nr 1 zawiera zestawienie zdjęć obrazujących pięć badanych sposobów uchwycenia głowicy.

Tab. 1. Sposoby uchwytu przez użytkownika aplikacji głowicy USG

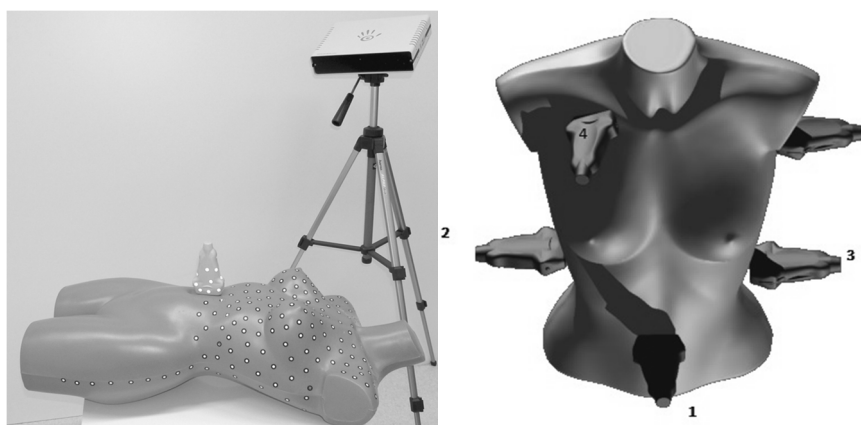
<p>Pozycja 1. Chwyt 1 – przód</p> 	<p>Pozycja 2. Chwyt 1 – tył</p> 
<p>Pozycja 3. Chwyt 2 – przód</p> 	<p>Pozycja 4. Chwyt 2 – tył</p> 
<p>Pozycja 5. Chwyt 3 – przód</p> 	<p>Pozycja 6. Chwyt 3 – tył</p> 
<p>Pozycja 7. Chwyt 4 – przód</p> 	<p>Pozycja 8. Chwyt 4 – tył</p> 



5.2. Badanie widoczności śledzonego obiektu w wybranych punktach

Badanie systemu śledzenia przeprowadzono na manekinie reprezentującym korpus pacjenta, poddawanej badaniu USG. Na rysunku 4 przedstawiono stanowisko badawcze.

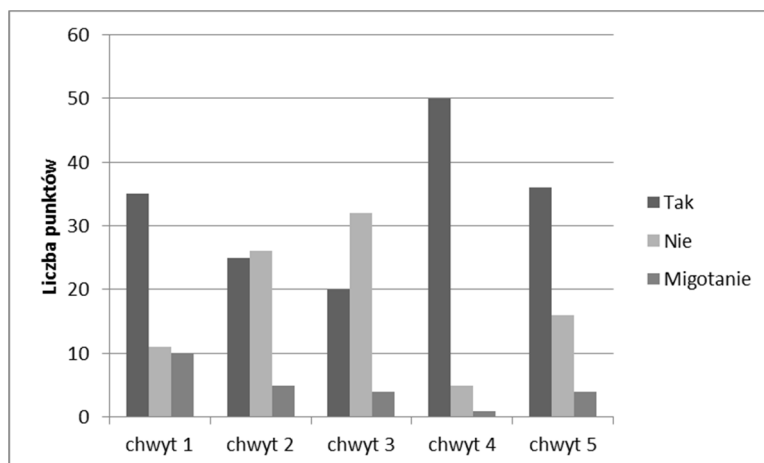
Dokonano wyboru 5 punktów, w których sprawdzano widoczność (rozpoznawalność układu znaczników) dla pojedynczego urządzenia PST (rys. 4). W pierwszej kolejności zbadano czy głowica jest widoczna we wskazanych punktach przy wybranym nachyleniu. Pomiaru dokonano gdy manekin był ustawiony wzdłuż stołu pomiarowego. Za poprawne rozpoznanie głowicy USG uznawano sytuację, w której była ona widoczna dla urządzenia PST, przy danym odchyleniu kątowym, bez przerw przez co najmniej 5 sekund. W przypadku kiedy urządzenie PST nie było w stanie śledzić w sposób ciągły położenia głowicy, lub aby umożliwić rozpoznawanie konieczne było minimalne odchylenie kątowe od pozycji docelowej, pomiar ten oznaczano jako "migotanie".



Rys. 4. Po lewej stanowisko badawcze - widoczna głowica USG z naniesionymi markerami oraz urządzenie PST 55. Po prawej położenie głowicy w badanych punktach

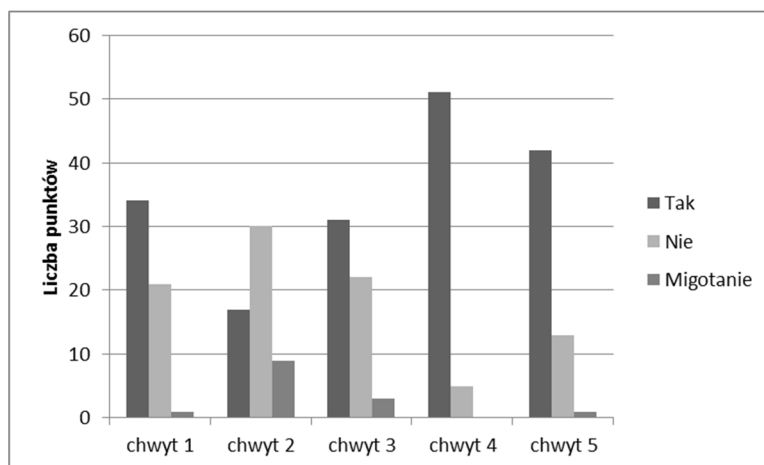
Analizując zbiorcze wyniki pomiarów z rysunku 5 można zauważyć, że najlepsze rezultaty autorzy uzyskali dla chwytu 4. Stanowił on punkt odniesienia dla pozostałych chwytów, ponieważ zapewnia największą liczbę odsłoniętych markerów, jednak co łatwo zauważyć nie jest to naturalny sposób chwytania głowicy urządzenia USG przez operatora. Można uznać, że chwyt 4 określa górną granicę możliwości rozpoznawania położenia i orientacji głowicy USG w przedstawionej scenie pomiarowej. Jako drugi pod względem możliwości rozpoznawania znaczników jest chwyt 1, który przy podobnej liczbie

wykrytych jednoznacznie położeń jak chwyt 5, miał zdecydowanie mniej punktów, w których znaczniki nie były wykrywane w ogóle.



Rys. 5. Zbiorcze wyniki pomiaru widoczności dla położenia PST na wprost

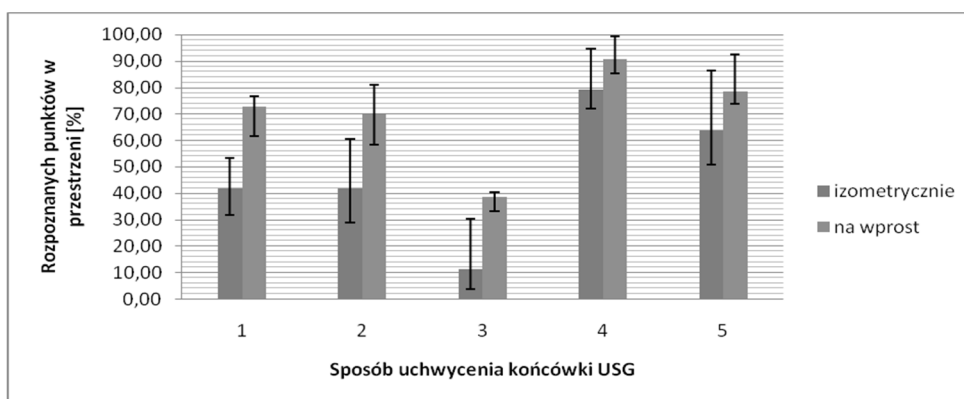
Ten sam zestaw punktów pomiarowych do rozpoznawania statycznego położenia głowicy USG zastosowano ze zmienioną pozycją urządzenia PST względem manekina. Urządzenie zostało obrócone o kąt 45 stopni w taki sposób, że manekin na obrazach rejestrujących światło odbite z markerów był widoczny w rzucie izometrycznym.



Rys. 6. Zbiorcze wyniki pomiaru widoczności dla położenia PST izometrycznie

Na rysunku 6 przedstawiono zbiorcze wyniki dla izometrycznego układu kamery względem urządzenia PST. Chwyty 2 oraz 3 tak, jak poprzednio miały zdecydowanie mniejszą liczbę wykrytych poprawnie położeń głowicy USG niż chwyt referencyjny. Natomiast chwyt 1 okazał się w tym przypadku gorszy niż chwyt 5, którego poziom rozpoznawalności znaczników był najbardziej zbliżony do chwytu referencyjnego.

Kolejny etap badań obejmował rejestrowanie położenia poruszającego się dynamicznie obiektu wzdłuż ustalonej trasy zawierającej wszystkie z badanych punktów. Badanie przeprowadzono dla wszystkich opisanych w pracy chwytów, powtarzając je w każdym przypadku po 10 razy. System śledzenia ustawiono zarówno w na wprost stołu, na którym umieszczono manekin, jak również w taki sposób, aby manekin widoczny był w rzucie izometrycznym. Wyniki pomiarów zaprezentowano na rysunku 7. Potwierdzają one informacje zebrane w przypadku statystycznego rozpoznawania pozycji głowicy USG w przestrzeni. Dla chwytu o numerze 3 rozpoznawanie poruszającej się głowicy przebiegało ze zdecydowanie mniejszą skutecznością niż w przypadku statycznego rozpoznawania. Zdecydowanie lepsze rozpoznawanie ruchów uzyskano przy ustawieniu urządzenia PST na wprost manekina. Tylko w przypadku jednego pomiaru, dla chwytu numer 4, wykryto poprawnie wszystkie punkty pomiarowe. Warto również zauważyć, że rozrzut wyników w przypadku urządzenia PST ustawionego na wprost manekina jest mniejszy dla wszystkich rodzajów chwytów niż ma to miejsce, gdy urządzenie PST jest ustawione w sposób izometryczny.



Rys. 7. Zestawienie wyników badań widoczności głowicy USG podczas przejazdu wzdłuż ustalonej trasy

6. Wnioski

Na podstawie przeprowadzonych badań można stwierdzić, że pojedyncze urządzenie PST-55 nie jest w stanie rozpoznać wszystkich wskazanych punktów w przestrzeni. W trakcie funkcjonowania symulacji może to skutkować nieprawidłowym określeniem pozycji głowicy, a co za tym idzie negatywnie wpłynąć na wrażenie immersji. Problem ten można rozwiązać stosując równoległe śledzenie obiektu za pomocą kolejnych urządzeń. Autorzy planują jednak przeprowadzić dalsze badania uwzględniające zmianę konstrukcji głowicy, związany z tym inny układ markerów, zastosowanie innych niż dotychczas chwytów głowicy, jak również badania na szerszej grupie użytkowników, które uwzględni wpływ rozmiaru dłoni. Celem tych badań będzie między innymi wyeliminowanie konieczności stosowania więcej niż jednego urządzenia śledzącego PST-55. Z uwagi na duży rozrzut wyników należy zastanowić się nad powtórzeniem badań dla chwytu trzeciego lub też odrzucenie go w dalszych testach na rzecz innych chwytów. W celu obiektywnej oceny dokładności samego systemu w następnym etapie badań zaplanowano sprawdzenie dokładności określania współrzędnych markerów znajdujących

się na badanym obiekcie. Jako system referencyjny przyjęty zostanie fotogrametryczny współrzędnościowy system pomiarowy Tritop HR firmy GOM. Tak samo jak w przypadku systemu PST 55 pozwala on na wyznaczenie współrzędnych markerów znajdujących się na obiekcie na podstawie wykonanych zdjęć fotograficznych. Dokładność systemu Tritop wynosi 0,01mm dla wielkości pola pomiarowego 2 x 2 x 2m co pokrywa w całości pole pomiarowe systemu PST 55. Ze względu na charakter wykonywania pomiarów systemem Tritop (wykonywanie serii zdjęć nieruchomej scenie pomiarowej, na której znajduje się mierzony obiekt, specjalne znaczki kodowe oraz pręty skalujące) możliwe jest przeprowadzenie tylko analizy statycznej. Umożliwi to określenie dokładności systemu śledzenia optycznego PST 55, które w przypadku niektórych aplikacji medycznych jest również bardzo istotne.

Literatura

1. Romano D. M., Brna P.: Presence and Reflection in Training: Support for Learning to Improve Quality Decision-Making Skills under Time Limitations. *Cyberpsychology & Behavior*, Mary Ann Liebert, Inc. Volume 4, Number 2, 2001.
2. <http://www.jameco.com/Jameco/workshop/howitworks/xboxkinect.html>.
3. Hamrol, A., Górski, F., Grajewski, D., Zawadzki, P.: Virtual 3D atlas of a human body - development of an educational medical software application. Paper presented at the *Procedia Computer Science*, 25/2013, pp. 302-314.
4. Kowalski M., Paszkiewicz R., Kuczko W., Wichniarek R., Zawadzki P.: Automatyzacja procesu skanowania na podstawie danych pozyskanych z pomiarów fotogrametrycznych. *Postępy Nauki i Techniki*, 7/2011, Lublin.
5. Konieczny R., Dudziak A., Grajewski D., Górski F.: Techniki pomiarów optycznych w inżynierii odwrotnej. Poznań 2012, Comprint.
6. Pająk E., Dudziak A., Górski F., Wichniarek R.: Techniki przyrostowe i wirtualna rzeczywistość w procesach przygotowania produkcji. Poznań 2011, Promocja 21.
7. Kuczko W., Wichniarek R., Górski F.: Application of Rapid Prototyping technology for manufacturing ergonomic multi-material functional prototypes. *Computer aided designing, engineering, manufacturing and data analysis. Selected problems*. Lublin 2013, Perfekta info.

Mgr inż. Paweł BUŃ
Mgr inż. Radosław WICHNIAREK
Mgr inż. Wiesław KUCZKO
Dr inż. Filip GÓRSKI
Katedra Zarządzania i Inżynierii Produkcji
Politechnika Poznańska
61-138 Poznań, ul. Piotrowo 3
tel./fax: 61 665 27 08
e-mail: pawel.k.bun@doctorate.put.poznan.pl
radoslaw.wichniarek@put.poznan.pl
wieslaw.kuczko@doctorate.put.poznan.pl
filip.gorski@put.poznan.pl