

Monitorowanie ruchu kończyny górnej w kontekście gier rehabilitacyjnych

Monitoring the movement of the upper limb in the context of rehabilitation games

ANDRZEJ GRABOWSKI
TOMASZ LIPIŃSKI*

DOI: <https://doi.org/10.17814/mechanik.2018.7.69>

Rejestrowanie ruchu kończyny górnej w czasie rzeczywistym jest niezbędne do przygotowania interaktywnych metod wspomagania procesu odzyskiwania jej sprawności ruchowej. Tego typu programy komputerowe często wykorzystują środowiska trójwymiarowe i techniki rzeczywistości wirtualnej. Rejestracja ruchu może być realizowana z użyciem dostępnych na rynku kontrolerów, przygotowywanych na potrzeby gier komputerowych, co ułatwia tworzenie aplikacji wspomagających proces rehabilitacji. Wadą takiego podejścia są znaczące ograniczenia możliwości rejestracji ruchu, zwłaszcza ruchu poszczególnych członów kończyny górnej. Rozwiązaniem może być kontroler przygotowany specjalnie na potrzeby rehabilitacji.

SŁOWA KLUCZOWE: systemy pomiarowe, rzeczywistość wirtualna, wspomaganie rehabilitacji

Registration of the upper limb movement in real time is necessary to prepare interactive methods to support the recovery process of the upper limb. These types of computer programs often use three-dimensional environments and virtual reality techniques. Traffic registration can be carried out using commercially available controllers prepared for the needs of computer games, which facilitates the creation of applications supporting the rehabilitation process. The disadvantage of this approach are significant limitations in the possibilities of motion registration, in particular the movement of individual upper limb members. The solution may be to prepare a controller dedicated to the needs of the rehabilitation.

KEYWORDS: measurement systems, virtual reality, rehabilitation support

Rozwój technologii rzeczywistości wirtualnej stale przeświadcza granicę realizmu symulacji komputerowych [1]. Dotychczas wykorzystanie tych rozwiązań w rehabilitacji było ograniczone ze względu na brak dostępu do niedrogich i łatwych w użyciu urządzeń. Na fali upowszechniania się ekranów nasobnych oraz interfejsów umożliwiających precyzyjne śledzenie położenia w przestrzeni powstało wiele aplikacji skierowanych do medycyny i rehabilitacji [2, 3].

Środowiska wirtualne pozwalają na precyzyjny pomiar parametrów zachowania w trakcie wykonywania skomplikowanych, lecz bezpiecznych zadań w symulacjach, których realizm jest zbliżony do sytuacji rzeczywistych

[3, 4]. W wielu rozwiązaniach opartych na technologiach rzeczywistości wirtualnej oraz gier komputerowych informacja zwrotna jest dostarczana zarówno przez bodźce wizualne, jak i dźwiękowe. W przypadku rehabilitacji kończyn górnych użytkownicy mogą wchodzić w interakcję z wirtualnymi obiektami bezpośrednio przez ruch ręki i ciała, przez interfejsy zapewniające czuciową informację zwrotną, i wykonywać czynności wywołujące wrażenie zanurzenia w symulacji, które zwiększa prawdopodobieństwo transferu efektów uczenia się do sytuacji naturalnych [5].

Zwrotna informacja czuciowa może być włączona do symulacji rehabilitujących górne kończyny z użyciem rękawic lub zewnętrznych zrobotyzowanych interfejsów, określających trajektorię i opór realizowanego zakresu ruchu [6]. Należy jednak zauważyć, że współczesne rozwiązania technologiczne mają wiele wad. Wibracyjna stymulacja jako forma czuciowej informacji zwrotnej jest metodą niedoskonałą pod względem precyzji położenia i rozdzielczości symulowanych doznań. Natomiast zrobotyzowane interfejsy są trudne do wykorzystania w warunkach domowych.

Istotnym aspektem oceny wpływu treningu ruchowego w środowiskach wirtualnych jest określenie poprawności kinematyki wykonywanych ruchów w kontekście interfejsów 2D i bardziej immersyjnych rozwiązań 3D. Poprawa sprawności motorycznej kończyn górnych jest najczęściej mierzona parametrami szybkości, precyzji i płynności oraz stopniem koordynacji pomiędzy zmianami położenia poszczególnych elementów aparatu ruchu [7]. Ruchy kończyn górnych realizowane z użyciem interfejsów trójwymiarowych są bardziej zbliżone do naturalnych niż te same ruchy realizowane z wykorzystaniem interfejsów dwuwymiarowych. Dowodzą tego badania, w których porównywano kinematykę ruchów ramienia, związanych ze wskazywaniem różnych punktów w środowisku naturalnym, z ruchami wykonywanymi w immersyjnym środowisku wirtualnym, prezentowanym za pośrednictwem ekranu nasobnego [8, 9].

Gry rehabilitacyjne

Jednym z istotnych wyzwań w rehabilitacji kończyn górnych jest kontrola toru kinematycznego ruchu oraz stopniowe zwiększanie obciążeń. Te zagadnienia należą do głównych czynników wpływających na rozwój zrobotyzowanych i mechanicznych urządzeń wspierających rehabilitację.

* Dr hab. inż. Andrzej Grabowski, prof. CIOP-PIB (anagra@ciop.pl); mgr Tomasz Lipiński (tolip@ciop.pl) – Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy

Interesującymi rozwiązaniami są niedrogie urządzenia wykorzystujące koncepcję telerehabilitacji, które mogą być używane przez pacjenta w domu. Są one przeznaczone do stosowania po okresie zmian strukturalnych i dotyczą głównie fizjoterapii na poziomie funkcjonalnym. Przykładem takiego urządzenia jest kontroler Razer Hydra, zaprojektowany z myślą o grach komputerowych – trzymany w dłoni pozwala na wyznaczenie położenia oraz orientacji w trójwymiarowej przestrzeni. Kontroler nadaje się do zastosowania w grach wspomagających proces odzyskiwania sprawności kończyn górnych, w tym stawu barkowego, łokciowego czy nadgarstkowego.

Ponieważ kontroler jest trzymany w dłoni, za jego pomocą trudno prowadzić ćwiczenia ukierunkowane na profilaktykę zespołu cieśni kanału nadgarstka. Mimo to gry rehabilitacyjne mogą zostać uzupełnione o pokonywanie oporu i/lub dodanie obciążenia – np. w formie wypełnionej piaskiem opaski lub elastycznej taśmy (rys. 1).



Rys. 1. Przykłady gier: „Jabłka” (górne zdjęcie) – dodane obciążenie ma formę opaski o masie 1 kg, nałożonej na nadgarstek; „Mag” (dolne zdjęcie) – opór do pokonania uzyskano przez wprowadzenie elastycznej taśmy

Do testów przygotowano następujące gry: „Zamek” (rys. 2), „Manta”, „Mag” (rys. 1), „Klucze”, „Kowal” (rys. 2) oraz „Jabłka” (rys. 1). Przetestowano je w ośrodku rehabilitacyjnym „Kaśmin”, gdzie zebrano informacje dotyczące użyteczności tego typu rozwiązania. Głównym zastrzeżeniem, które odnosi się również do innych podobnych urządzeń dostępnych na rynku, jest to, że znacząco ograniczają one zakres ruchów możliwych do zarejestrowania – zwłaszcza w zakresie stawu barkowego – ponieważ monitorowana przestrzeń jest zawężona do obszaru tuż przed osobą rehabilitowaną. Kontroler trzymany w dłoni nie daje też możliwości pełnej kontroli wykonywanych ruchów, gdyż określone położenie końcówki dłoni można uzyskać na wiele sposobów, co utrudnia właściwe prowadzenie ćwiczeń. Podobnie nie jest moż-

liwe monitorowanie ruchu palców i samego nadgarstka. Specjaliści, którzy oceniali gry i kontroler, sugerowali, że przydatny byłby też pomiar siły wywieranej w czasie gry przy zaciskaniu w dłoni elastycznego przedmiotu (przykładem realizacji byłaby manta, która musi się skurczyć podczas przepływania przez bramkę – to działanie byłoby realizowane właśnie przez zaciśnięcie dłoni). W efekcie badań zaproponowano nowy kontroler do gier wspomagających ćwiczenia.



Rys. 2. Przykłady gier „Zamek” (u góry) i „Kowal” (na dole)

Propozycja nowego interfejsu do rejestracji ruchu kończyn górnych

Celem prac było zaprojektowanie i wykonanie urządzenia przetwarzającego dane z takich sensorów, jak akcelerometr, żyroskop i magnetometr, w celu wyznaczenia bezwzględnej orientacji poszczególnych członów kończyny górnej w trójwymiarowej przestrzeni. Dodatkowo urządzenie typu tensometr miałoby mierzyć siłę podczas zaciskania przedmiotu w dłoni. Zastosowanie tego typu kontrolera ułatwiłoby również wprowadzanie do scenariusza gier oporu lub obciążenia – byłoby to możliwe ze względu na uwolnienie gracza od konieczności trzymania kontrolera w rękach. Bardzo ważną cechą zaprojektowanego urządzenia jest wyraźne zwiększenie zakresu rejestrowanych ruchów w porównaniu z pomiarami realizowanymi za pomocą kontrolerów typowych dla gier komputerowych, np. kontrolera Razer Hydra, stosowanego w badaniach wstępnych w ośrodku „Kaśmin”. Ze względu na brak konieczności trzymania kontrolera można podczas ćwiczeń zmieniać zgięcie palców lub je prostować.

Na ramieniu, przedramieniu, śródreżcu oraz palcu (środkowym) zamocowany jest układ wyposażony w zestaw czujników (rys. 3). Jest to układ typu AHRS (*attitude and heading reference system*). Do barku przymocowany jest główny układ rejestracji danych z czujników poprzez interfejs I2C (*inter-integrated circuit*) i przesyłania ich dalej do komputera klasy PC za pośrednictwem bezprzewodowego interfejsu Wi-Fi.



Rys. 3. Laboratoryjna wersja interfejsu do gier rehabilitacyjnych

Jako czujnik AHRS wybrano moduł BNO055 firmy Bosch wraz z płytką w wersji Development Board wykonaną przez firmę Adafruit.

W przypadku modułów HA1 i HA3 wykorzystywany jest standardowy adres układu (0x28), natomiast w celu zmiany adresu w układach HA2 i FG na (0x29) konieczne było połączenie pinów 3vo i ADR. Takie rozwiązanie umożliwiło podłączenie dwóch czujników do jednego portu I2C. Z każdego czujnika pobiera się 8 bajtów, stanowiących opis poszczególnych składowych kwaterniona orientacji w trójwymiarowej przestrzeni.

Do rejestrowania pomiarów ściśnięcia dłoni używany jest zamocowany na niej czujnik FSR (*force sensor*). Jest to czujnik analogowy, a jego obsługa przypomina obsługę rezystora o zmiennej oporności.

Po przeliczeniu danych z czujników są one zamieniane na format tekstowy, tj. łańcuch znaków o różnej długości. Dane tekstowe są przesyłane do komputera klasy PC przez interfejs Wi-Fi, z opcją przesyłania danych przez port USB. Do wysyłania linii tekstu służy interfejs Wi-Fi wraz z układem ESP12f, który komunikuje się z układem STM32C8T6 przez interfejs UART.

Układ ESP12f jest zaprogramowany jako klient UDP (*user datagram protocol*) przez narzędzie Arduino IDE i układ FTDI (UART – USB converter) w trybie 80 MHz i z wejściową prędkością transmisji danych 115 Kb/s.

Podsumowanie

Ze względu na ograniczenia stosowanego obecnie kontrolera zaproponowano inne podejście do problemu rejestrowania ruchu kończyny górnej.

Opracowane narzędzie pozwala nie tylko na rejestrację i przesyłanie w czasie rzeczywistym danych o bezwzględnej orientacji poszczególnych członów kończyny górnej (ramienia, przedramienia, śródrezcza), lecz także na zgięcie wybranego palca oraz mierzenie siły nacisku po wewnętrznej stronie dłoni. Zastosowanie takiego kontrolera, którego gracz nie musi trzymać w rękach, ułatwiłoby również dodanie do scenariusza gier oporu lub obciążenia, jak również pozwoliły na prowadzenie ćwiczeń, w których zmienia się zgięcie palców lub które trzeba wykonać z wyprostowanymi palcami.

Bardzo ważną cechą zaprojektowanego urządzenia jest ponadto znaczące zwiększenie zakresu rejestrowanych ruchów.

Publikacja opracowana na podstawie wyników IV etapu programu wieloletniego „Poprawa bezpieczeństwa i warunków pracy”, finansowanego w latach 2017–2019 w zakresie służb państwowych przez Ministerstwo Rodziny, Pracy i Polityki Społecznej.
Koordinator programu: Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy.

LITERATURA

1. Kosinski R.J. „A literature review on reaction time”. South Carolina: Clemson University, 2008.
2. Salcudean S., Ku S., Bell G. „Performance measurement in scaled teleoperation for microsurgery”. *Lecture Notes in Computer Science*. Vol. 1205. Springer, 1997: s. 789–798.
3. Wagner C., Stylopoulos N., Howe R.D. „The role of force feedback in surgery: analysis of blunt dissection”. *Proceedings of the 10th symposium on haptic interfaces for virtual environments and teleoperator systems*. 2002: s. 68–74.
4. Zandsteege C.J., Bruijnen D.J.H., van de Molengraft M.J.G. „Haptic tele-operation system control design for the ultrasound task: A loop-shaping approach”. *Mechatronics*. 20 (2010): s. 767–777.
5. Euijung Yang, Dorneich M.C. „The Emotional, Cognitive, Physiological, and Performance Effects of Variable Time Delay in Robotic Teleoperation”. *International Journal of Social Robotics*. 9, 4 (2017): s. 491–508.
6. Grabowski A. „Projekt dwuramiennego robota sterowanego przez teleoperatora z wykorzystaniem technik rzeczywistości wirtualnej”. *Napędy i Sterowanie*. 226 (2018): s. 46–50.
7. Keshner E.A. „Virtual reality and physical rehabilitation: a new toy or a new research and rehabilitation tool?”. *Journal of Neuroengineering and Rehabilitation*. 1(1):8 (2004).
8. Weiss P.L., Jessel A.S. „Virtual reality applications to work”. *Work*. 11, 3 (1998): s. 277–293.
9. Sveistrup H. „Motor rehabilitation using virtual reality”. *Journal of Neuroengineering and Rehabilitation*. 1, 1 (2004): s. 10.