

Trenażer strzelań w środowisku wirtualnym – aspekty metrologiczne

Streszczenie. W artykule tym poruszona została problematyka szkoleń strzeleckich z wykorzystaniem wirtualnej rzeczywistości, a także dzięki implementacji najnowszych rozwiązań z dziedziny VR zaproponowane zostało nowe rozwiązanie trenażera strzelań. W artykule przedstawiony został opis badań przeprowadzonych na nowym systemie i zaprezentowane zostały ich rezultaty.

Abstract. In this article, we touched the issue of shooting training using virtual reality, as well as by implementing the latest solutions in the field of VR has been proposed a new system for simulator training. The article includes a description of the tests performed on the new system and presents their results. (**Shooting training system in Virtual Reality – metrological aspects**).

Słowa kluczowe: trenażer - symulator, szkolenie strzeleckie, wirtualna rzeczywistość.

Keywords: trainer - simulator, shooting training, virtual reality.

Wprowadzenie

Artykuł przedstawia obecny stan prac nad autorskim systemem treningowym dotyczącym wybranych aspektów szkolenia strzeleckiego. Zaproponowane rozwiązanie wykorzystuje do tego celu środowisko immersyjnej wirtualnej rzeczywistości [1]. W odróżnieniu od innych trenażerów tego typu np. strzelnic laserowych [2,3,4], (rys. 1), większą uwagę zwrócono na możliwości pomiarowe zastosowanego systemu optoelektronicznego do pozycjonowania obiektów realnej sceny.



Rys. 1. Przykłady laserowych trenażerów strzelań.

Precyzyjne monitorowanie czynności szkolonego, oferuje zupełnie nowe możliwości w zakresie analizy czynności treningowych oraz oceny uzyskiwanych wyników. Z kolei silnik środowiska wirtualnego jest w stanie zasymulować wiele zjawisk towarzyszących procesowi strzelania i mających wpływ na jego ostateczny wynik.

Problem badawczy i metoda badawcza

Nabywanie umiejętności celnego strzelania wymaga od osoby szkolonej zrozumienia i opanowania szeregu kluczowych zagadnień. Mimo, iż nie są to rzeczy szczególnie skomplikowane, potrafią przysporzyć początkującym pewnych trudności. Z drugiej strony osoby nadzorujące szkolenie też mogą mieć trudności ze zdiagnozowaniem istniejących problemów. Z kolei w przypadku bardziej doświadczonych strzelców pozostaje kwestia utrzymywania i podnoszenia swoich umiejętności strzeleckich. Tak jak to realizuje się w strzelaniach szkolnych i bojowych najlepszą miarą czynionych postępów jest stosowanie jakiegoś sposobu oceniania (np. trafienie w cel, ilość zdobytych punktów) [5].

Czy istnieje więc sposób opracowania rozwiązania, które bez konieczności użycia rzeczywistej broni umożliwiłoby przeprowadzenie wysoce realistycznego szkolenia wraz z systemem oceniania oraz monitorowaniem i archiwizacją wykonywanych czynności przez szkolonego?

Przedstawiona poniżej propozycja zakłada wykorzystanie do tego celu systemu pomiarowego (typu

Motion Capture) do określania pozycji i orientacji przestrzennej zarówno szkolonego jak i broni którą wykorzystuje on podczas ćwiczeń. W istocie mamy do czynienia z zaawansowanym systemem, który z częstotliwością kilkudziesięciu herców wyznacza pozycję i orientację przestrzenną obiektów sceny rzeczywistej i transformuje te dane do świata cyfrowego. Metoda wymaga więc użycia do celów szkolno-treningowych zaawansowanego środowiska wirtualnej rzeczywistości. Mówimy tutaj oczywiście o pełnej imersji osoby szkolonej w syntezywanej komputerowo scenie.

Analiza wybranych parametrów rzeczywistego sprzętu wykazała, że kluczową wielkością może być dopuszczalny rozrzut w przypadku broni strzeleckiej. Z danych np. dla 5.56 mm karabin szturmowy wz. 96 „BERYL” wynika, że średnica promienia rozrzutu przy strzelaniu na odległości 100m nie powinna być większa niż 15cm a odchylenie średniego punktu trafienia w dowolnym kierunku nie może być większe niż 5cm [6]. W przypadku ręcznej wyrzutni z samonaprowadzającą się na cel rakietą można przyjąć że kątowa stabilność celowania nie może być gorsza niż 1° .

Biorąc pod uwagę powyższe wymagania wynika z nich, że kluczową wielkością jest stabilność kątowa pozycjonowania obiektów, która nie powinna być gorsza niż 0.1 stopnia. Jest to tzw. parametr krytyczny dla systemu pomiarowego. Niespełnienie tego wymagania dyskwalifikowałoby zaproponowane rozwiązanie.

Z podstaw celnego strzelania jednoznacznie wynika, że celowanie polega na nadaniu lufie odpowiedniego położenia w płaszczyźnie pionowej i poziomej, które to zapewnia przejście pocisku przez cel. Efekt ten osiąga się za pomocą przyrządów celowniczych poprzez ich właściwe ustawienie względem siebie i względem celu. Przyrządy celownicze (muszka, szczerbinka) mogą mieć różne kształty, jednak najważniejsze jest ich poprawne zgrywanie. Stan taki nazywany jest „muszką równą”.

Celowanie



Rys. 2. Wizualizacja procesu celowania.

Proces właściwego celowania wymaga jednak jeszcze jednej czynności od ćwiczącego. Musi on bowiem

odpowiednio ustawić zgrane przyrządy celownicze względem celu. W przypadku celu statycznego możemy mówić o celowaniu w punkt lub pod punkt (rys. 2). Z kolei w przypadku celów poruszających się należy jeszcze uwzględnić poprawkę (tzw. wyprzedzenie) na ruch celu.

Uwzględniając specyficzne właściwości przyrządów celowniczych różnych rodzajów broni, strzelania na różne odległości a także ruch celu można (wykorzystując sinik fizyki środowiska wirtualnego) zasymulować wymagane zjawiska. Dla uproszczenia przyjąć można, że mamy do czynienia z przypadkiem celowania w punkt. W wyidealizowanym przypadku tam gdzie celujemy tam pojawiają się przestrzeliny.

Reprezentacje powyższego procesu w środowisku wirtualnym można opisać w następujący sposób. Przyjmujemy, że mamy zamodelowaną trójwymiarową scenę w której występują takie elementy jak broń i cel. W świecie takim jest również zamodelowana głowa a jej pozycję i orientację wyznacza czujnik sprzężony z wyświetlaczem typu HMD. Szkolony patrząc przez wyświetlacz HMD „zanurza się” w środowisku wirtualnym. To co aktualnie obserwuje w scenie (np. przyrządy, cel) zależy od pozycji i orientacji głowy a dzięki stereoskopowemu wyświetlaniu obrazów postrzega głębię sceny (oczywiście na ograniczonym dystansie). Proces zgrzywania przyrządów celowniczych i samego celowania wymaga użycia broni wyposażonej w dodatkowy czujnik lokalizacji i orientacji przestrzennej. System pomiarowy wyznaczając koordynaty broni w świecie rzeczywistym przenosi tę informację do świata wirtualnego. W efekcie szkolony może wykonywać swoje czynności tak jakby był w świecie realnym. W ten sposób system pomiarowy rejestruje wszystkie niezbędne dane do analizy przebiegu całego procesu celowania aż do momentu oddania strzału. Konfiguracja czujników w momencie strzału pozwala określić trajektorię wirtualnego pocisku lub rakiety. Uwzględniając zjawiska balistyczne, czy algorytm naprowadzania rakiety możliwe jest precyzyjne określenie miejsca trafienia. Tym samym możemy nie tylko oceniać sam proces celowania ale także jego rezultaty.

Ocena procesu celowania pozwala wykryć nieprawidłowe zgrzywanie przyrządów celowniczych (rys.3) :

- względem siebie (np. muszka lewa),
- względem celu (np. celowanie z prześwitem)



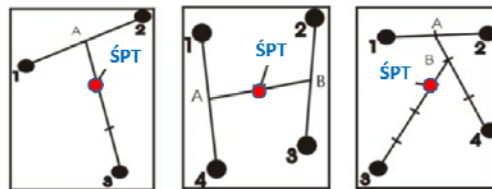
Rys.3. Błędy w procesie celowania.

Możliwe jest również wykrycie błędów strzelającego [7] polegających na:

- obawie przed strzałem (np. huk wystrzału w słuchawkach),
- wymuszeniu oddania strzału - zbyt szybkie ściąganie języka spustowego co powoduje poruszenie broni,
- zbyt długie celowanie – powodujące zmęczenie wzroku,
- niejednakowa odległość oka strzelca w stosunku do przyrządów celowniczych – powodująca zmiany w układaniu się średniego punktu trafienia.

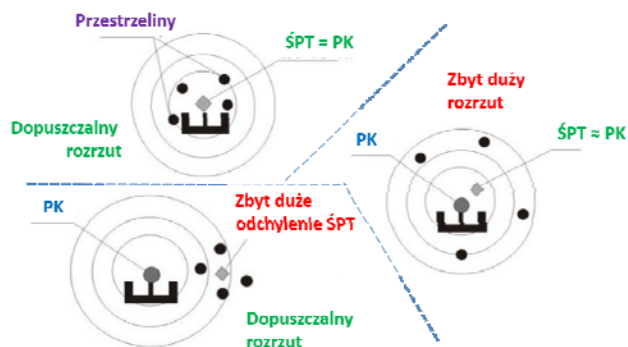
Skuteczność strzelania (rys. 4) możemy mierzyć:

- wielkością rozrzutu (skupienia) strzelania,
- odchyleniem średniego punktu trafienia od środka celu.



Rys.4. Wyznaczanie średniego punktu trafienia.

Efektom analizy skuteczności strzelania jest ocena czy było ono celne czy też nie. Jeśli przestrzeliny mieszczą się w dopuszczalnym rozrzucie a średni punkt trafienia ŚPT nie jest oddalony od punktu kontrolnego PK poza dopuszczalne granice – strzelanie uznajemy za celne. W przeciwnym wypadku strzelanie uznajemy za niecelne (rys.5). Oczywiście do oceny wyników strzelania można zastosować inne miary np. skalę punktową lub binarną trafienie lub jego brak.



Rys.5. Ocena strzelania: celne i niecelne.

Aby środowisko wirtualne mogło realistycznie odzwierciedlać różne sytuacje strzeleckie można uwzględnić szereg czynników wpływających na celność strzału poprzez ich komputerową symulację. Poza wspomnianymi już zjawiskami balistycznymi do czynników wpływających na celność strzelania można zaliczyć:

- oświetlenie wpływające na widoczność celu i przyrządów celowniczych,
- temperatura mogąca wywoływać „falowanie” powietrza,
- zjawiska atmosferyczne takie jak opad deszczu, śniegu czy mgła, zmniejszające przejrzystość powietrza i ogólną widoczność.

Istnieje również możliwość zasymulowania błędów strzelającego wynikających z koncentracji widzenia na wybranym celu, zamiast skupiania wzroku na przyrządach celowniczych.

Wyniki

Do budowy stanowisk testowych użyto zmodyfikowanego systemu StreamVR (rys 6). Czujnik instalowany na broni jest autorskiej konstrukcji, a jego geometria może być modyfikowana i dostosowana do potrzeb rodzajów broni używanej w treningach. Funkcjonowanie SteamVR opiera się na wykorzystaniu dwóch metod pozycjonowania i orientowania w 3D czujnika. Pierwsza to aktywna technologia optoelektroniczna, z laserowym podświetlaniem sceny i detekcją promieniowania przez konstelacje modułów detekcyjnych umieszczonych na czujniku. Druga technologia to, system wyznaczania pozycji i orientacji w oparciu o dane z czujników (akcelerometrycznych i żyroskopowych) przetwarzanych przez jednostkę IMU (ang. Inertial Measuring Unit).



Rys.6. Elementy systemu pozycjonowania głowy i broni.

Przeprowadzone badania pozwoliły opracować eksperymentalne stanowiska i testowe aplikacje dla broni strzeleckiej oraz ręcznej wyrzutni rakiet (rys. 7)

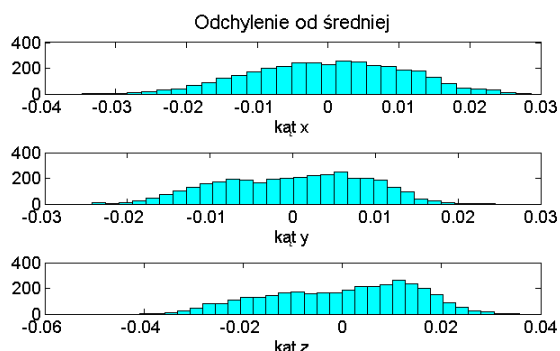


Rys.7. Eksperymentalne stanowiska testowe.

Realizowane prace koncentrowały się wokół następujących zagadnień:

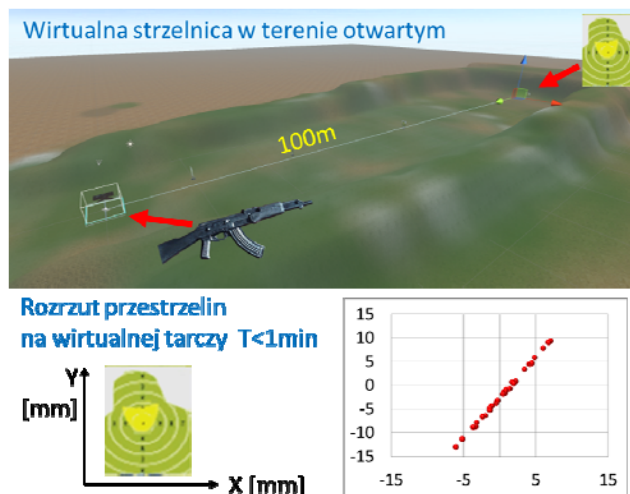
- pozycjonowanie obiektów sceny realnej i wirtualnej,
- modelowanie parametrów fizyki świata VR,
- opracowanie aplikacji testowych

Aby można było zastosować system SteamVR do pozycjonowania obiektów wymagane było sprawdzenie wybranych parametrów jego pracy. Z punktu widzenia omawianej aplikacji najistotniejszym parametrem jest dokładność określania orientacji. Na podstawie przeprowadzonych pomiarów wykreślono histogram dla trzech kątów Eulera (rys. 8). Analiza statystyczna zebranych wyników pozwoliła określić niepewność standardową pomiaru kątów eulera $u(\alpha) < 0.02^\circ$. W analogiczny sposób określono również niepewność standardową dla trzech składowych położenia. Jej wartość wynosi $u(x) < 0.3\text{mm}$.



Rys.8. Pomiary kątowe w warunkach statycznych

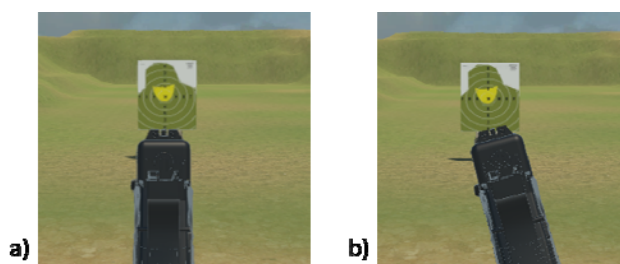
Powstało oczywiście pytanie jak ta niestabilność może przełożyć się na fluktuacje linii celowania. Pomiary eksperymentalne czujnika w warunkach statycznych wykonane w środowisku VR na odległości 100m (w czasie $T < 1\text{min}$) wykazały rozrzut na poziomie $\pm 15\text{mm}$ (rys. 9).



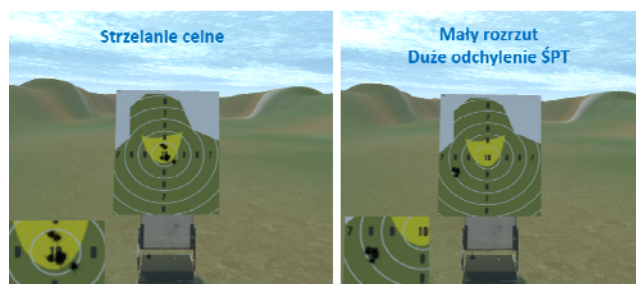
Rys.9. Testowanie rozrzutu na odległości 100m.

Jak widać wyniki te są mniejsze niż akceptowalne parametry rzeczywistej broni. Oznacza to, że czujniki można wykorzystać do opracowania aplikacji strzeleckich a fluktuację wyników pomiarowych można potraktować jako symulację rozrzutu rzeczywistej broni.

Uzyskiwane w czasie rzeczywistym dane o pozycji i orientacji przestrzennej głowy szkolonego oraz broni, którą się on posługuje oferują możliwość syntezy scen, ale również analizy czynności wykonywanych przez osobę ćwiczącą. Dzięki pozyskanym danym pomiarowym można przeprowadzać różnego rodzaju analizy czasowe i przestrzenne dotyczące np. zgrzywania przyrządów celowniczych i celowania (rys. 10), a także rezultatów strzelania (rys. 11).



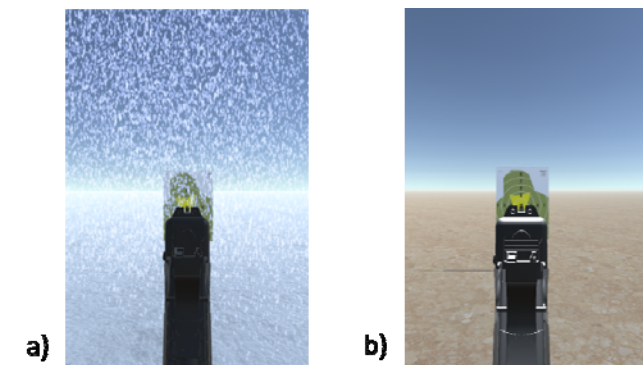
Rys.10. Celowanie pod cel: a) poprawne, b) skrócenie broni w lewo



Rys.11. Rezultaty strzelania – przykładowe wyniki.

Ze względu na to, że środowisko wirtualne korzysta z tzw. silnika fizyki i operuje na danych przestrzennych istnieją bardzo szerokie możliwości w zakresie modyfikacji

parametrów symulacji m.in. takich jak: odległość i ruch celu, wpływ warunków oświetleniowych czy atmosferycznych, ustawianie punktu ostrości widzenia. Przykłady implementacji tego typu zjawisk przedstawia rysunkach 12 i 13.

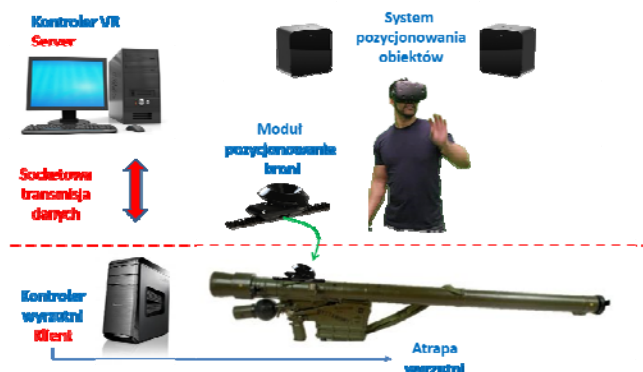


Rys. 12. a) Wpływ warunków atmosferycznych na widoczność celu
b) Wpływ kierunkowego oświetlenia przyrządów celowniczych



Rys. 13. Punkt ostrzenia na przyrządach celowniczych.

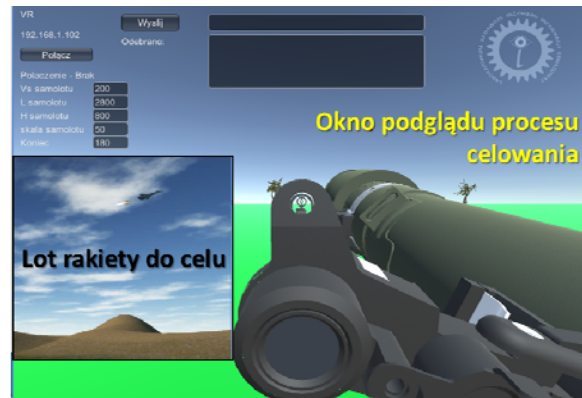
O zupełnie innym poziomie symulacji możemy mówić w przypadku ręcznej wyrzutni z raketami naprowadzającymi się na cel. Trenażer VR tego typu może współpracować np. z treningowym kontrolerem wyrzutni gdzie dochodzi do wymiany informacji m.in. o wykrytych celach, uchwyceniu celu, itp. (rys. 14).



Rys. 14. Konfiguracja pracy trenażera VR z ręczną wyrzutnią raket.

W testowanym rozwiązaniu przyjęto możliwość symulacji strzelania na odległościach kilku kilometrów do samolotów i śmigłowców. Szkolony może prowadzić obserwacje w zakresie 360°. W celu urealistycznienia

przebiegu szkolenia dodano możliwość obserwacji toru lotu rakiety (podawanego przez zewnętrzny kontroler) i detonacji w momencie trafienia w cel (wraz z efektami wizualnymi i akustycznymi). Podobnie jak w rzeczywistym rozwiązaniu istnieje możliwość samozniszczenia rakiety sygnałem pochodzącym z kontrolera wyrzutni. Faza prac nad tego typu trenażerem jest zaawansowana a przykład uzyskiwanych wizualizacji przedstawia rysunek 15.



Rys. 15. Symulator strzelań z ręcznej wyrzutni rakiet.

Wnioski i podsumowanie

Wykonane prace eksperymentalne i programistyczne dla broni strzeleckiej wykazały możliwości pomiaru jak i symulacji szeregu zjawisk towarzyszących szkoleniom. Ich funkcjonalność (np. układanie się przestrzelin na wirtualnej tarczy) została potwierdzona eksperymentalnie. W trakcie prowadzonych badań testowano, z pozytywnym wynikiem, możliwość współpracy trenażera z zewnętrznymi urządzeniami (jak np. kontroler treningowy ręcznej wyrzutni rakiet). Potwierdza to możliwość użycia proponowanego rozwiązania do budowy bardziej zaawansowanych trenażerów strzelań. Otrzymane wyniki są bardzo obiecujące i wskazują na możliwość opracowania niskobudżetowych rozwiązań wspomagających proces szkolenia strzeleckiego.

Autorzy: dr inż. Marek Piszczek, Wojskowa Akademia Techniczna, Instytut Optoelektroniki, ul. Kaliskiego 2, 00-908 Warszawa, E-mail: marek.piszczek@wat.edu.pl; inż. Mateusz Pomianek, E-mail: matpomianek@gmail.com; mgr inż. Marcin Maciejewski, E-mail: marcin.maciejewski@wat.edu.pl

LITERATURA

- [1] Scales B., *Virtual Immersion Training: Bloodless Battles for Small-Unit Readiness*, ARMY, (July 2013), 24-27.
- [2] Chun-Yen C. Wei-Kai L., *A cost-effective inter-active 3D virtual reality system applied to military live firing training*, *Virtual Reality* (2016), 127-140
- [3] Jedrasiak K., Daniec K., Sobel D. *The Concept of Development and Test Results of the Multimedia Shooting Detection System* Future Technologies Conference (FTC) (2016) 1057-1064
- [4] Cichocki A., *Implementacja okrętowych zadań ogniowych do wirtualnych systemów szkolno-treningowych*, Zeszyty naukowe Akademii Marynarki Wojennej, (2014) n.3, 24-25
- [5] Hawthorne S. Wollert T., *Firearms Simulation Study*, *FLETC JOURNAL* (2011), 26-31.
- [6] 5.56 mm KARABIN SZTURMOWY wz. 96 "BERYL". *Instrukcja obsługi i użytkowania* Nr 1/2009, Fabryka broni Łucznik – Radom (2009).
- [7] Kaszczyk M. *Podstawy celnego strzelania*. Materiały szkoleniowe COSSW.