

Gliwice, 21.03.2019

Prof. dr hab. inż. Katarzyna Stapor
Politechnika Śląska
Wydział Automatyki, Elektroniki i Informatyki
Instytut Informatyki

RECENZJA

pracy doktorskiej mgr inż. Filipa Malawskiego

„Automatic analysis of techniques and body motion patterns in sport”

Automatyczna analiza technik oraz form ruchu ciała w sporcie

Niniejsza recenzja została przygotowana na zlecenie zawarte w piśmie *IET.510-10/15/125/2019* z dnia 15.02.2019 r, które otrzymałam od Pana Profesora Krzysztofa Winczy, Prodziekana Wydziału Informatyki Elektroniki i Telekomunikacji AGH na podstawie uchwały Rady tego Wydziału, podjętej 14.02.2019 r.

1. Obszar problemowy i teza rozprawy

Tematyka recenzowanej rozprawy doktorskiej dotyczy zagadnień związanych z automatyczną analizą technik i form ruchu w sporcie. W każdej praktycznie dyscyplinie sportu o wyniku decyduje forma i technika ruchu - jego precyzja, płynność, powtarzalność i inne właściwości czasowe i przestrzenne. Współcześnie, oprócz jakościowej oceny ruchu na bazie doświadczenia trenera, mamy już do dyspozycji narzędzia pozwalające precyzyjnie opisać ruch w sposób obiektywny i wymierny ilościowo. Analiza ruchu w sporcie różni się jednak zasadniczo od ogólnej analizy ruchu. Akcje sportowców są bardzo specyficzne, co utrudnia wykorzystanie ogólnych metod analizy ruchu ponadto charakteryzują się one większą szybkością i dynamiką wykonania. Zasadniczą cechą akcji sportowych jest również zróżnicowanie pomiędzy dyscyplinami sportowymi, czego efektem jest potrzeba adaptacji metod analizy ruchu do każdej dyscypliny z osobna co stanowi duże wyzwanie. Stało się ono główną motywacją doktoranta, który postawił sobie za cel opracowanie metod pozwalających na automatyczną analizę ruchu w sporcie, które mogłyby wspomagać zawodników oraz trenerów.

Doktorant postawił następującą tezę badawczą:

Automatyczna analiza techniki oraz ruchu ciała sportowca generuje kanał zwrotny, użyteczny na potrzeby doskonalenia umiejętności sportowych

Tematykę rozprawy uważam za oryginalną, ważną oraz aktualną dla współczesnych prac z zakresu automatycznej analizy ruchu w sporcie.

Podjęta przez doktoranta tematyka jest oryginalna i istotna z naukowego punktu widzenia, a opracowane w ramach rozprawy metody i algorytmy z pewnością będą mieć duże znaczenie dla praktyki. Do głównych osiągnięć doktoranta zaliczyć można: (i) opracowanie algorytmów do rozpoznawania dynamiki akcji w pracy nóg w szermierce, (ii) opracowanie algorytmów do detekcji oraz analizy akcji w pracy nóg w szermierce w czasie rzeczywistym, (iii) opracowanie i przebadanie immersyjnego kanału zwrotnego dla ćwiczeń z bronią w szermierce z użyciem rozszerzonej rzeczywistości.

2. Zawartość rozprawy

Rozprawa składa się z 6-ciu rozdziałów oraz 314 pozycji literaturowych. W rozdziale 1-szy, wprowadzającym w tematykę rozprawy sformułowana została teza badawcza pracy. Rozdział 2-gi zawiera przegląd literaturowy dotyczący metod automatycznej analizy ruchu człowieka oraz analizy ruchu w sporcie. Rozdziały 3, 4, 5 prezentują oryginalne osiągnięcia i dokonania Doktoranta, a mianowicie klasyfikację różnych typów wypadów w szermierce, wykrywanie akcji wypadów w ciągłej pracy nóg szermierza, metody do śledzenia ruchu broni, uczenia modelu poprawnych akcji broni oraz ewaluacji ćwiczeń z bronią. W ostatni, 6-tym rozdziale zawarto podsumowanie i wytyczono możliwe kierunki do dalszego rozwoju.

3. Uzyskane wyniki

Realizacja postawionej na początku pracy tezy badawczej doprowadziła do szeregu oryginalnych, szczegółowych i konkretnych osiągnięć, w tym w szczególności praktycznych, umożliwiających wspomaganie doskonalenia umiejętności sportowych nawet bez nadzoru trenera. Metody opracowane w niniejszej pracy zostały zweryfikowane na przykładzie szermierki, która jest bardzo technicznym sportem.

Celem uprawdopodobnienia postawionej tezy badawczej Doktorant zaprojektował i przeprowadził badania w trzech etapach.

W etapie pierwszym Doktorant zaproponował metody pozwalające na rozpoznawanie specyficznych akcji sportowych, w oparciu o analizę dynamiki ruchu, na bazie multimodalnych danych. Na potrzeby rozpoznawania podstawowych akcji w szermierczej pracy nóg zaproponował nowe metody do ekstrakcji, selekcji oraz fuzji cech. Opracowano cztery metody ekstrakcji cech z danych inercyjnych, szkieletowych oraz map głębi, jak również nowatorską metodę selekcji cech, która analizuje korelację pomiędzy klasami oraz jednocześnie minimalizuje redundancje. Ekstrakcja obejmuje cechy uzyskane z sygnału przyspieszenia, dwa zestawy cech wyznaczanych na podstawie danych szkieletowych-dynamiki stawów raz lokalne obrazy śladów, a także cechy oparte o dane szkieletowe i dane głębi, tzw. kontekst historii ruchu stawów. Na potrzeby selekcji cech opracowany został nowy

algorytm, należący do klasy metod filtrujących. Uzyskane prawdopodobieństwa jako wyjście z klasyfikatora SVM są na koniec łączone we wspólny wektor, który jest klasyfikowany przez perceptron wielowarstwowy. Opracowane przez Doktoranta algorytmy okazały się skuteczne dla zarejestrowanego zbioru danych obrazującego szermierczą pracę nóg, jak również dla bardziej ogólnych akcji z ogólnie dostępnego zbioru UTD-MHAD. Wspomniane metody w połączeniu z późną fuzją cech umożliwiły poprawę skuteczności rozpoznawania akcji w porównaniu do skuteczności rozpoznawania uzyskiwanej przez metody znane z literatury.

W drugim etapie badania dotyczyły segmentacji czasowej ciągłego ruchu oraz analizy jakościowej wyodrębnionych akcji. Doktorant zaproponował tu własną, adaptacyjną metodę filtracji sygnałów inercyjnych oraz szkieletowych opartą o model ruchu. Metoda umożliwia detekcję akcji wypadów w ciągłej pracy nóg szermierza. Metoda ta filtruje sygnał w oparciu o sumę ważoną filtrów MA oraz Loess, zaś wagi zależą od kierunku zbocza (rosnące lub opadające). Zaproponowane przez Doktoranta metody pozwalają na skuteczną detekcję akcji wypadów w szermierczej pracy nóg w czasie rzeczywistym, jak również wyznaczenie ich parametrów jakościowych oraz przesłanie ich do ćwiczących szermierzy w trakcie treningu. Metody te umożliwiają wyznaczenie parametrów ruchu istotnych z punktu widzenia treningu szermierza. Parametry modelu wyznaczone są w czasie rzeczywistym, a następnie przesyłane bezprzewodowo na urządzenie mobilne, co umożliwia korektę wykonywanych ćwiczeń w trakcie treningu. Ewaluacja zaproponowanych metod została wykonana na dwóch dedykowanych zbiorach danych, które zarejestrowano w trakcie treningów szermierczych.

W trzecim etapie Doktorant opracował system do wspomaganie ćwiczeń z bronią w szermierce, który wykorzystuje okulary do rozszerzonej rzeczywistości. Zaproponował metody do śledzenia ruchu klingi, tworzenia modeli akcji wykonywanych bronią, jak również procedurę kalibracji mapowania współrzędnych rzeczywistych na wirtualne. Śledzenie broni odbywa się w oparciu o podwójny aktywny znacznik. Dzięki takiemu zabiegowi można odtworzyć trajektorie ruchu w 3D przy użyciu zwykłej kamery RGB. Trajektorie te posłużyły do stworzenia modeli akcji, które umożliwiają ocenę ćwiczeń przez porównanie wykonanego ruchu z modelem. Dzięki opracowanej metodzie kalibracji oraz mapowania współrzędnych rzeczywistych na wirtualne możliwe jest dopasowanie wyświetlanych na okularach wirtualnych trajektorii ruchu do fizycznego położenia broni, a tym samym uzyskanie immersyjnego kanału zwrotnego. Metody te złożyły się na innowacyjne rozwiązanie, w którym immersyjny kanał dostarcza informacji zwrotnej w postaci mieszanego widoku wirtualnych trajektorii dopasowanych do fizycznego położenia broni. Opracowany system

działa w czasie rzeczywistym, a ewaluacja zaproponowanych metod została przeprowadzona we współpracy z szermierzami oraz trenerami szermierki.

Do innych ważnych osiągnięć należy utworzenie własnego zbioru danych obrazującego szermierczą pracę nóg. Obejmuje on 6 podstawowych akcji: krok w przód, krok w tył oraz cztery typy wypadów - szybkościowo-zrywowy, z narastającą szybkością, z wyczekiwaniem oraz skoczno-ślizgowy. Każdy z omawianych typów wypadu przekłada się na element taktyki zawodnika, np. atak z zaskoczenia lub sprowokowanie określonego działania przeciwnika.

4. Uwagi o charakterze dyskusyjnym, polemicznym, szczegółowe

Podczas czytania pracy nasuwają się pewne uwagi, nie wpływające jednakże na ogólnie wysoką ocenę pracy. Moja uwaga dotyczy statystycznej oceny sprawności klasyfikacji. Prezentowane w tabelach rozdziału 3-go sprawności są ocenami estymatorów uzyskanymi metodą re-próbkowania zbioru, Doktorant wykorzystał tutaj metodę *leave-one-out*. Brak jednak podania w tabelach dokładności uzyskanych ocen na przykład w postaci przedziałów ufności. Również brak statystycznej oceny porównania sprawności różnych metod w postaci testu statystycznego.

5. Ocena końcowa rozprawy

Reasumując stwierdzam, że postawiona w rozprawie **teza pracy doktorskiej została należycie uprawdopodobniona**. Opracowane w ramach pracy oryginalne, nowe metody i algorytmy umożliwiają ich efektywną analizę ruchu. Praca stanowi przemyślaną całość, a zawarte w niej rezultaty są **oryginalne**, zostały przedstawione na wysokim poziomie i z pewnością znajdą praktyczne wykorzystanie.

Mgr inż. Filip Malawski wykazał się również odpowiednią wiedzą z zakresu analizy ruchu, a także dobrym opanowaniem i posługiwaniem się warsztatem badawczym.

Uważam, że recenzowana **praca doktorska mgr inż. Filipa Malawskiego spełnia z naddatkiem wszystkie wymagania stawiane pracom doktorskim przez odpowiednią Ustawę i wnioskuję o jej przyjęcie i dopuszczenie do publicznej obrony.**

Ze względu na fakt, że Doktorant ma również **bardzo już bogaty dorobek publikacyjny** (w tym publikacje z listy filadelfijskiej), świadczący o znaczeniu uzyskanych wyników – proponuję **wyróżnienie rozprawy doktorskiej Pana Filipa Malawskiego.**

