

Rozpoznawanie gestów statycznych ręki za pomocą rękawicy sensorowej

Abstract. This work describes a sensor glove that allows real-time recognition of the position of the fingers. The device uses 10 resistive flex sensors fastened with material glove pockets. The sensor system consists of two rows, one at the height of the metacarpophalangeal joints and the second at the height of the interphalangeal joints. The prototype was tested on a group of three people performing 18 static gestures of Polish sign language. The data obtained was checked for the possibility of their automatic classification using three selected classifiers: k-nearest neighbours, naive Bayesian classifier and decision tree. Classifications were carried out for a simplified three-dimensional dataset obtained from sensors located above interphalangeal joints of the middle, index and thumb fingers and for the ten-dimensional dataset obtained from all sensors. The best character classification results for both sets were obtained for the naive Bayesian classifier, with a maximum recognition rate of 66.66%. **A sensor glove allowing the real-time recognition of the position of the fingers**

Streszczenie. W niniejszej pracy opisano rękawicę sensorową, umożliwiającą rozpoznawanie wybranych gestów ręki. W urządzeniu zastosowano 10 rezystancyjnych czujników węglika, zamocowanych za pomocą materiałowych kieszeni do rękawicy. Układ czujników tworzy dwa rzędy, jeden na wysokości stawów śródrečno-paliczkowych oraz drugi, na wysokości stawów międzypaliczkowych. Wykonany prototyp przetestowano na grupie trzech osób wykonujących 18 statycznych gestów polskiego języka migowego. Otrzymane dane sprawdzono pod kątem możliwości ich automatycznej klasyfikacji za pomocą trzech wybranych klasyfikatorów: k-najbliższych sąsiadów, naiwnego klasyfikatora bayesowskiego oraz drzewa decyzyjnego. Klasyfikacje przeprowadzono dla trójwymiarowego zbioru danych otrzymanych z czujników umiejscowionych nad stawami międzypaliczkowymi palców: środkowego, wskazującego i kciuka oraz dla dziesięciowymiarowego zbioru danych otrzymanych ze wszystkich czujników. Najlepsze wyniki klasyfikacji znaków dla obu zbiorów uzyskano za pomocą naiwnego klasyfikatora bayesowskiego, którego skuteczność wyniosła 66,66%.

Keywords: electronic human-machine interface, gesture recognition, inertial sensors, flex sensor

Słowa kluczowe: elektroniczny interfejs człowiek-maszyna, rozpoznawanie gestów, czujniki inercyjne, czujnik ugięcia

Wprowadzenie

Opracowano szereg technologii rozpoznawania gestów [1]. Można dokonać podziału tych technologii na kontaktowe, w których pomiar jest przeprowadzany przez czujniki lub mechanizmy umieszczone na ręce, oraz na bezkontaktowe, które wykorzystują pewne medium fizyczne do dokonania odczytów.

Rękawice sensorowe wykorzystywane są dziś przede wszystkim w celach naukowych oraz badawczych, głównie jako interfejs interakcji z aplikacjami wirtualnej rzeczywistości. Jako urządzenia pozwalające na precyzyjną detekcję ułożeń wszystkich palców ręki oraz na określenie położenia ręki w przestrzeni mogą zostać wykorzystane jako tłumacze języka migowego służące jako pomoc osobom niemym.

Obecnie najszersze stosowanymi metodami śledzenia ruchów ręki są systemy wizyjne [2]. Jednakże ograniczone pole widzenia, znaczące rozmiary, ciągle niedoskonałe rozpoznawanie głębi oraz potrzeba odpowiedniego oświetlenia i widoczności obiektu sprawiają, że systemy wizyjne nadają się do użytku głównie w statycznych, dobrze oświetlonych przestrzeniach [3].

Pododdział ATAP firmy Google realizuje Projekt Soli wykorzystujący częstotliwości radarowe. Twórcy urządzenia nie udostępniają szczegółów technicznych, ale wskazują, że pozwoli ono na śledzenie położenia i rozpoznawanie gestów ręki. Docelowo urządzenie przeznaczone ma być do zastosowań w elektronicznej użytkowej jako metoda sterowania interfejsami. Może również znaleźć zastosowanie w innych dziedzinach. Wady tej technologii to mały zasięg detekcji ręki ograniczony mocą radaru, która musi podlegać normom bezpieczeństwa i duży poziom skomplikowania części sprzętowej [4].

Innymi bezkontaktowymi metodami wykrywania ruchów i gestów ręki są metody soniczne i indukcyjne [5, 6]. Są one jednak wykorzystywane w pojedynczych zastosowaniach ze względu na małą precyzję, pozwalającą na odczyt najczęściej jedynie położenia dłoni względem nadajnika oraz małe pola detekcji.

Metody kontaktowe wymagają zastosowania rękawicy odzworowującej ruch kończyn lub wykorzystania

elektromiografii. Urządzenia EMG wymagają umieszczenia na skórze elektrod badających czynność elektryczną mięśni i nerwów obwodowych. Ze względu na to, że sygnały bioelektryczne są sygnałami o wartościach napięć rzędu kilkunastu mV, jest to metoda wymagająca dużej precyzji odczytu. Tak małe napięcia są podatne na działanie wszelkich zakłóceń takich jak zewnętrzne pola elektrostatyczne lub magnetyczne. Dodatkowo, na amplitudę sygnałów EMG wpływ mają elektryczne właściwości skóry i mięśni [7]. Systemy rozpoznawania gestów oparte na technologii EMG wymagają precyzyjnego i trwałego umieszczenia elektrod pomiarowych lub zastosowania ich matrycy, co z kolei wiąże się ze wzrostem koniecznej mocy obliczeniowej [8, 9].

Urządzenia oparte na czujnikach rezystancyjnych lub inercyjnych nie wymagają takiej precyzji jak systemy wykorzystujące pomiar sygnałów EMG. Ich budowa, w przypadku urządzeń służących wyłącznie do detekcji gestów, przypomina rękawiczkę, która nie stawia oporu przy zgięciach ręki. Rękawicę wyposażoną w czujniki zgięcia palców nazywa się *dataglove* lub *Sayre glove* od nazwiska twórcy pierwszego urządzenia tego typu [10]. Stosuje się trzy rodzaje czujników *dataglove*: optoelektryczne, rezystancyjne i MEMS. Wspomniana pierwsza rękawica *Sayre glove* opierała swoje działanie właśnie na czujnikach optoelektrycznych. Zastosowano w niej zmodyfikowane mechanicznie światłowody, w których dochodzi do utraty części energii wiązki przy zgięciu światłowodu, proporcjonalnej do stopnia zgięcia [10]. W podobny sposób działają rezystancyjne czujniki ugięcia. Wykonane z utwardzonej zawiesziny srebra i węgla, których cząsteczki zwiększają odległość od siebie wraz ze zgięciem czujnika przez co wzrasta jego rezystancja [11].

Inną techniką odczytu położenia i ruchu palców jest zastosowanie czujników MEMS, czyli mikroelektromechanicznych. W przeciwieństwie do czujników optoelektrycznych i rezystancyjnych jest to pomiar cyfrowy, a wyznaczanie zgięć poszczególnych członów palca polega na obliczaniu względnych położenia

akcelerometrów, magnetometrów czy też żyroskopów znajdujących się na każdej ruchomej kości palca [12].

Analiza sygnałów z akcelerometrów wiąże się z dużym zapotrzebowaniem na moc obliczeniową, gdyż położenie względne wszystkich akcelerometrów musi być śledzone w czasie rzeczywistym. Ruchy palców ręki mogą być szybkie i często bardzo precyzyjne, stąd też przy wykorzystaniu tej metody kluczowe jest możliwe maksymalne zoptymalizowanie pracy jednostki centralnej. Metody optoelektroniczne i rezystancyjne nie wymagają skomplikowanych obliczeń, lecz ich zasadniczą wadą jest mała trwałość czujników [13].

Technologia haptyczna

Istotnym z punktu widzenia wygody użytkownika są technologie stosujące haptyczne sprzężenie zwrotne (ang. *haptic feedback*). Takie urządzenia haptyczne zapewniają dostarczenie użytkownikowi informacji zwrotnej o jego działaniach z wykorzystaniem zmysłu dotyku. W ten sposób możliwe jest sygnalizowanie użytkownikowi poprawności wykonanego działania. W przypadku rękawic *data glove* technologie haptyczne nabierają zupełnie nowego wymiaru gdyż już dziś istnieją urządzenia pozwalające na odczuwanie wirtualnych przedmiotów, a połączenie ich z technologią wirtualnej rzeczywistości pozwala osiągnąć niespotykaną dotychczas immersję [14, 15].

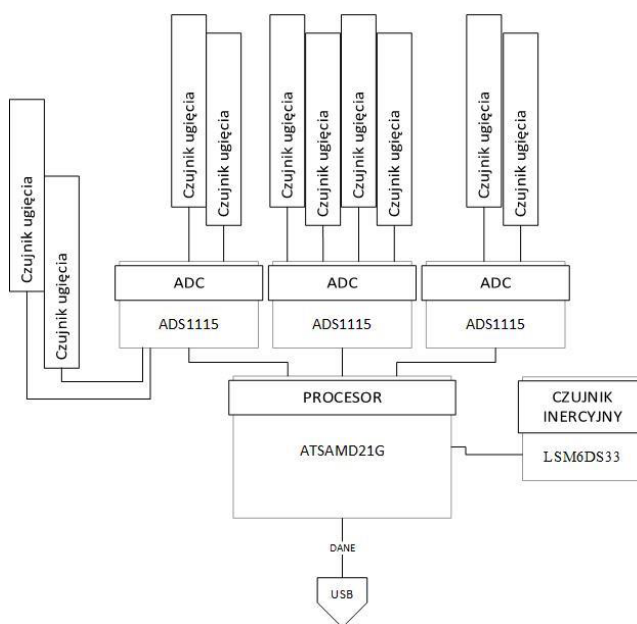
Dla lepszego wyjaśnienia zasady działania urządzeń haptycznych należy rozróżnić dwa rodzaje bodźców przekazywanych przez zmysł dotyku – dotykowe i kinestetyczne. Pierwszy z nich przekazuje informacje o teksturze i temperaturze dotykanej powierzchni, drugi zaś pozwala uzyskać informację o sile z jaką obiekt oddziałuje na ciało co świadczy o jego twardości i kształcie. Naukowcy wciąż poszukują rozwiązań technologicznych o małym rozmiarze i dużej niezawodności, które umożliwią przekazywanie obu rodzajów bodźców jednocześnie. W urządzeniach takich stosowano już m.in. elastomery dielektryczne, pneumatyczne aktuatory czy stopy metali o pamięci kształtu. Jednak większość dotychczasowych, komercyjnych urządzeń opiera się na systemie napędzanych przez serwowymechanizmy lub siniki prądu stałego ściągac, rozkurczających lub kurczących palce. Takie rozwiązanie mimo dużych rozmiarów modułu napędzającego pozwala na bezprzewodowe działanie urządzenia. W interfejsach człowiek-maszyna możliwość wprowadzenia sprzężenia haptycznego wzbogaca zakres interakcji z użytkownikiem o zbliżone do naturalnych bodźce dotykowe. Podobnie jak w przypadku interfejsów kinestetycznych, w interfejsach dotykowych stosuje się silniki wywołujące wibracje [15, 16].

Budowa rękawicy

Rękawice sensorową wykonano z wykorzystaniem jedwabnej rękawiczki sportowej. Rezystancyjne czujniki ugięcia, w kształcie cienkich pasków, zostały przymocowane za pomocą wyciętych i przyklejonych do rękawicy kieszonek. Jedwab wykorzystano ze względu na jego dobre właściwości elektrostatyczne. Wykonane kieszonki zapewniają podłużnym czujnikom ugięcia dopasowanie się do kształtu palca jak i odpowiednią swobodę ruchu czujnika podczas zgięcia palca. Zamontowano 10 czujników w dwóch rzędach, pierwszy na wysokości stawów śródrečno-paliczkowych oraz drugi obejmujący stawy międzypaliczkowe bliższe i dalsze. Czujniki rezystancyjne podłączono do dzielnika napięcia, a napięcie uzyskiwane na dzielniku jest podawane do wejścia przetwornika ADC (rys. 2).



Rys. 1. Wykonana rękawica sensorowa



Rys. 2. Ideowy schemat rękawicy sensorowej

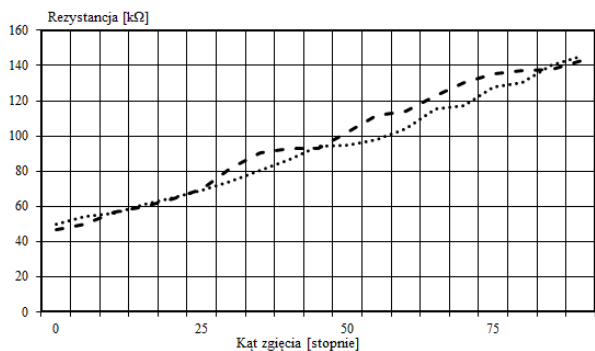
Zastosowano cztery 16-bitowe przetworniki ADC ADS1115 firmy Texas Instruments. Każdy posiada cztery wejścia analogowe. Układy przetworników, które zamontowano na oddzielnej płytce drukowanej są połączone magistralą I2C do układu Arduino, wyposażonego w mikroprocesor ATSAM21G18. Zbudowany układ elektroniczny o rozmiarach 53mm x 68,5mm x 23mm zamocowano na nadgarstku (rys. 1). Sygnały cyfrowe otrzymywane z przetworników są przetwarzane przez mikroprocesor do formatu danych protokołu transmisji szeregowej i bezpośrednio poddawane dalszej analizie.

W celu zbadania parametrów elektrycznych czujników rezystancyjnych opracowano urządzenie mechaniczne, służące do wyznaczania charakterystyk rezystancji czujników ugięcia, tj. rezystancji czujnika w zależności od kąta ugięcia. Do badań zastosowano czujnik o długości 7cm. Czujnik zginano w jednym punkcie począwszy od stanu wyprostowanego do kolejnych ugięć czujnika wykonywanych z krokiem 5° dla zakresu kątów 0°–90°. Na rys. 3 pokazano zmierzone charakterystyki czujnika.

Rozpoznawanie położenia palców

Zbudowaną rękawicę sensorową zastosowano do rozpoznawania statycznych znaków polskiego języka migowego. Badania pilotażowe przeprowadzono na grupie 3 osób: dwóch kobiet i mężczyzny w wieku odpowiednio 24, 59 i 66 lat. Przed rozpoczęciem badania dla każdej osoby zmierzono długość dłoni od nadgarstka do czubka palca

środkowego. U żadnego z badanych nie odnotowano widocznego schorzenia ani deformacji stawów i kości ręki.



Rys. 3. Charakterystyki rezystancji czujników w funkcji kąta zgięcia (linia kreskowana – zgięcie w 25mm długości, linia kropkowana – zgięcie w 45mm długości)

Osoby biorące udział w badaniu proszono o wykonanie gestów ręki odpowiadającym statycznym gestom reprezentującym literze języka migowego i utrzymanie gestu na czas pomiaru przez ok. 1 sek. Przeprowadzono trzy serie pomiarów dla każdej osoby. Dane klasyfikowano za pomocą trzech klasyfikatorów: naiwnego modelu bayesowskiego, binarnego drzewa decyzyjnego oraz k -najbliższych sąsiadów. Naiwny klasyfikator bayesowski należy do grupy klasyfikatorów probabilistycznych. Oparty jest na tzw. regule Bayesa oraz założeniu o wzajemnej niezależności atrybutów. Metoda k -najbliższych sąsiadów polega na oszacowaniu przynależności danej obserwacji do klasy x na podstawie liczby najbliższych obserwacji pochodzącej z próby uczącej. Drzewa decyzyjne wywodzą się od metody wspomaganiania decyzji. Klasyfikacja za pomocą drzew pozwala na przedstawienie procesu decyzyjnego za pomocą acyklicznego i spójnego, nieskoncentrowanego grafu [17].

Na rys. 3 pokazano wyniki otrzymane od dwóch osób biorących udział w testach, dla których uzyskano dobre dopasowanie rozmiaru rękawicy. W celu wizualizacji ograniczono wymiar danych do trzech dla odczytów z rzędu

czujników umieszczonych na wysokości stawów śródrečno-palczkowych dla trzech pierwszych palców.

Dla każdego ze znaków obliczono średnią wartość skupienia, którą również umieszczono na wykresie. Wyniki otrzymywane były poprzez port szeregowy komputera w postaci wektorów zawierających chwilowe odczyty ze wszystkich 10 czujników ugięcia. Dane otrzymane dla osoby o długości ręki równej 18cm zostały wykluczone ze względu na ich dużą rozbieżność z danymi uzyskanymi od pozostałych dwóch osób.

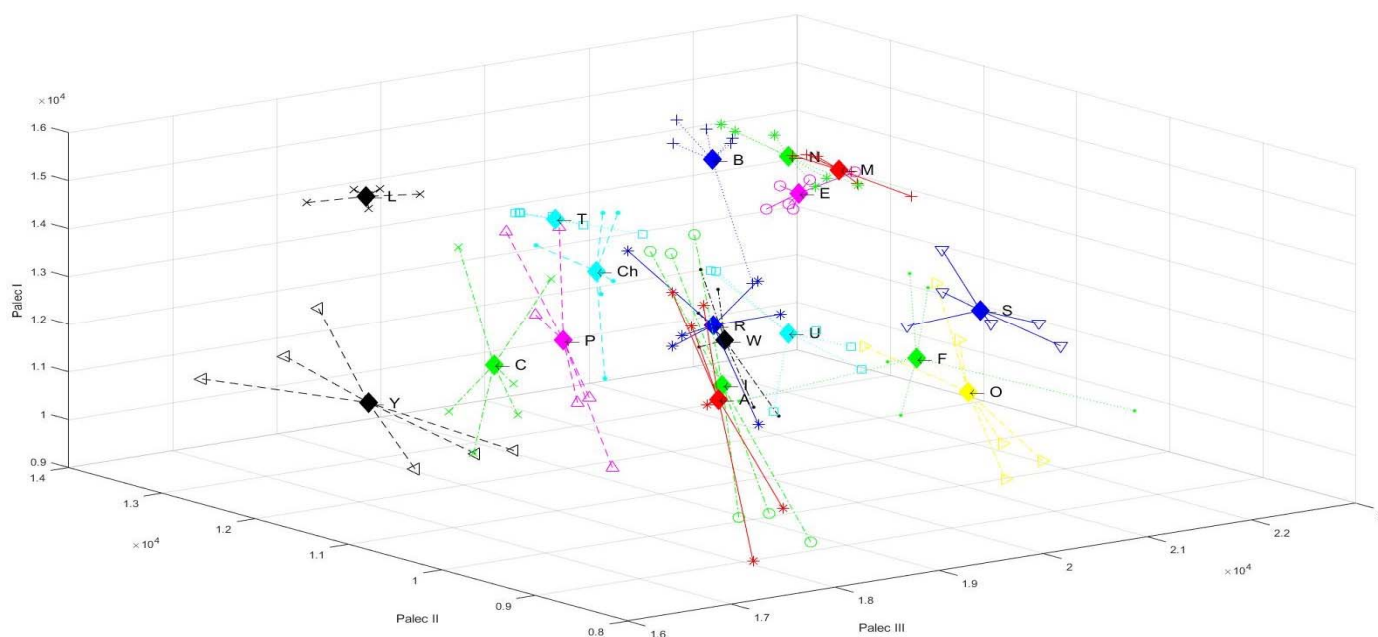
Dla zebranych danych, przetestowano sprawność trzech klasyfikatorów: k -najbliższych sąsiadów (k -nn), naiwnego modelu Bayesa (NBM) oraz drzewa decyzyjnego (k -d tree). Sprawność klasyfikatorów definiujemy jako liczbę prawidłowych rozpoznań gestów do wszystkich gestów wyrażoną w procentach. Zgodnie z zasadą walidacji skrośnej stosowanej w zadaniach klasyfikacji danych w sposób losowy wyłoniono zbiór 72 wektorów treningowych i 36 wektorów testowych. Klasyfikacje prowadzono zarówno dla trójwymiarowego, uproszczonego zbioru danych oraz dla pełnego – zbioru dziesięciowymiarowego. Uzyskane wyniki zebrano w tabeli 1. oraz tabeli. 2.

Tabela 1. Maksymalne sprawności klasyfikatorów dla danych trójwymiarowych

L.p.	Klasyfikator	Liczba poprawnie rozpoznanych gestów	Sprawność
1	k -nn	15	41,6%
2	NBM	22	61,1%
3	k -d tree	18	56,25%

Tabela 2. Maksymalne sprawności klasyfikatorów dla danych dziesięciowymiarowych

L.p.	Klasyfikator	Liczba poprawnie rozpoznanych gestów	Sprawność
1	k -nn	18	50%
2	NBM	24	66,66%
3	k -d tree	15	41,6%



Rys. 4. Wykres odczytów z trzech czujników rezystancyjnych uzyskany dla statycznych gestów ręki reprezentujących litery Polskiego Języka Migowego (małymi rąkami oznaczono średnie odczyty rezystancji dla poszczególnych rodzajów gestów)

Wnioski i podsumowanie

Z przebiegu pracy nad prototypem rękawicy sensorowej i otrzymanych wyników wyciągnięto następujące wnioski:

1. Otrzymane wyniki pokazują tendencję do grupowania wartości rezystancji według wykonywanego znaku.
2. Rozmiar ręki w znaczący sposób wpływa na otrzymywane wyniki.
3. Najlepszą sprawnością w przeprowadzonych testach rękawicy cechuje się naiwny klasyfikator bayesowski. Jego sprawność, w przeciwieństwie do pozostałych dwóch klasyfikatorów, wzrasta przy klasyfikacji danych o większej liczbie wymiarów.
4. Istnieją grupy znaków, m. in. C, P, S i O, których rozpoznanie jest utrudnione z uwagi na podobieństwo odpowiadającym im gestów ręki. Planowanym zastosowaniem rękawicy jest system tłumaczenia języka migowego na język polski wspomagający komunikację osób głuchych i niemych. Innym zastosowaniem może być wykorzystanie rękawicy w systemach rzeczywistości wirtualnej.

Autorzy: mgr inż. Jakub Piskozub, E-mail: jpiskozub@gmail.com;
dr inż. Krzysztof Tomalczyk, E-mail: krzysztof.tomalczyk@p.lodz.pl;
prof. dr hab. inż. Paweł Strumillo, E-mail: pawel.strumillo@p.lodz.pl, inż. Maciej Piskozub, E-mail: mjpiskozub@gmail.com; Politechnika Łódzka, Instytut Elektroniki, ul. Wólczańska 211/215, 90-924 Łódź

LITERATURA

- [1] Pradipa R., Kavitha S., Hand Gesture Recognition – Analysis of Various Techniques, Methods and Their Algorithms, *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*, (2014)
- [2] Patent Landscape Report Hand Gesture Recognition, "Patseer.com", (2017)
- [3] Systemy wizyjne część I – podstawy, oświetlenie i obiektywy, „automatykab2b.pl”, (2009)
- [4] Project Soli, "atap.google.com",
- [5] Sang Y., Shi L., Liu Y., Micro Hand Gesture Recognition System Using Ultrasonic Active Sensing, *IEEE Access*, (2018), nr.6, 49339 – 49347, DOI: 10.1109/ACCESS.2018.2868268
- [6] MGC3030/3130 3D Tracking and Gesture Controller Data Sheet, "Microchip.com", (2016)
- [7] Sobota G., Elektromiografia i jej zastosowanie w zaburzeniach aparatu zucia, *Twój Przegląd Stomatologiczny*, (2012), nr.6, 57-61
- [8] Geng W., Du Y., Jin W., Wei W., Hu Y., Li J., Gesture recognition by instantaneous surface EMG images, *Scientific Reports*, (2016), nr. 6, 1-3 DOI: 10.1038/srep36571
- [9] Moin A., Zhou A., Rahimi A., Benatti S., Menon A., Tamakloe S., Ting J., Yamamoto N., Khan Y., Burghardt F., Benini L., Arias Ana C., Rabaey Jan M., An EMG Gesture Recognition System with Flexible High-Density Sensors and Brain-Inspired High-Dimensional Classifier, (2018), DOI: 10.1109/ISCAS.2018.8351613
- [10] Sayre Glove (first wired data glove), "evl.uic.edu"
- [11] Pelayo R., How to Use a Flex Sensor, "teachmicro.com", (2018),
- [12] Lin, B.-S., Lee, I.-J., Yang, S.-Y., Lo, Y.-C., Lee, J., Chen, J.-L., Design of an Inertial-Sensor-Based Data Glove for Hand Function Evaluation. *Sensors*, (2018), 18, 1545., DOI: 10.3390/s18051545
- [13] In a first for wearable optics, researchers develop stretchy fiber to capture body motion, "phys.org", (2017)
- [14] Perret J., Vander Poorten E., Touching Virtual Reality: a Review of Haptic Gloves, *Proceedings of 16th International Conference on New Actuators*, (2018), 270 - 274
- [15] <https://haptx.com>
- [16] Pacchierotti C., Sinclair S., Solazzi M., Frisoli A., Hayward V., Prattichizzo D., Wearable Haptic Systems for the Fingertip and the Hand: Taxonomy, Review, and Perspectives, *IEEE Transactions on Haptics*, (2017), vol. 10, 580-600, DOI: 10.1109/TOH.2017.2689006
- [17] Koronacki J., Ćwik J., "Statystyczne systemy uczące się", Akademicka Oficyna Wydawnicza EXIT, (2008)