Orteza bioniczna kończyny górnej

Gustaw Rzyman

Aktualny stan wiedzy w zakresie ortez bionicznych zawdzięczamy licznie prowadzonym badaniom na przełomie XX i XXI wieku, jednak genezy tego zagadnienia należy dopatrywać się już w starożytności [1]. Od tego czasu postęp w dziedzinie robotyki następował bardzo dynamicznie, liczne badania oraz projekty doprowadziły do ewolucji prymitywnych robotów w zaawansowane rozwiązania, z którymi mamy do czynienia obecnie i które stanowią podstawę prezentowanego materiału o ortezach bionicznych. Rozwój ortez bionicznych zawdzięcza się dążeniom armii do stworzenia egzoszkieletu zwiększającego siłę oraz wytrzymałość żołnierzy. Pierwsze próby jego skonstruowania nastąpiły w 1965 roku podjęte przez firmę General Electric, jednak zakończyły się niepowodzeniem. Na początku lat 90. XX wieku zaczęły powstawać pierwsze kompaktowe egzoszkielety. Przykładem może być „Three axis mechanical joint for a power assist device" opatentowany w 1994 roku [4], który na celu miał przede wszystkim wzmocnienie siły ludzkich mięśni. Cywilne konstrukcje szybko znalazły zastosowanie w medycynie, a przede wszystkim w rehabilitacji oraz wspomaganiu mobilności osób z urazami rdzenia kręgowego lub zanikiem mięśniowym [5]. Obecnie na podstawie tych dwóch kategorii klasyfikuje się ortezy bioniczne. Pierwszy ich rodzaj ma za zadanie odbudowę mięśni przy zapewnieniu wymaganej ruchomości kończyny, drugi natomiast poprawę komfortu życia osób z niedowładami.

Zastosowanie robotyki we współczesnej medycynie jest powszechną praktyką. Również w rehabilitacji po udarze i urazie rdzenia kręgowego możliwe jest zwiększenie skuteczności leczenia dzięki bionicznej ortezie kończyny górnej. Na wczesnym etapie stworzono model matematyczny i porównano trzy metody klasyfikacji: maszynę wektorów nośnych, K najbliższych sąsiadów i metody drzewa decyzyjnego. Ponadto zastosowano najlepszy zestaw domen czasowych (MAV, WAMP, WL i SSC) i wybrano takie parametry, aby model charakteryzował się najwyższą efektywnością.

Cel, teza i zakres rozprawy

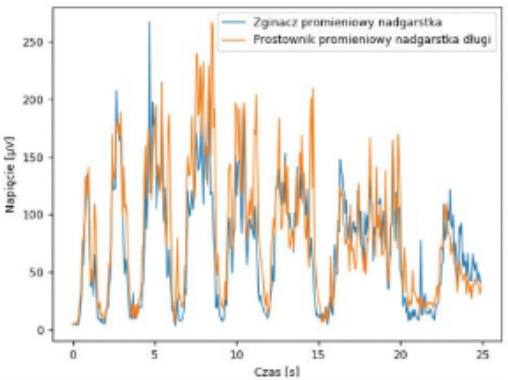
Inteligentne ortezy stanowią obecnie przyszłość nowoczesnej medycyny, a zasadność ich stosowania w rehabilitacji górnych kończyn została wielokrotnie udowodniona w badaniach naukowych [6, 7, 8, 9, 10]. Wykorzystanie ortezy bionicznej związane jest z poprawieniem wydajności procesu rehabilitacji.

Obiekt badań

Obiektem badań jest urządzenie medyczne przeznaczone do rehabilitacji kończyn górnych z biofeedbackiem. W celu poprawnego działania należy zebrać informacje przekazywane za pomocą sygnałów bioelektrycznych związanych z aktywnością mięśniową oraz w odpowiedni sposób dokonać ich klasyfikacji. Kolejnym wyzwaniem jest stworzenie wytrzymałej i taniej ortezy, która będzie w pełni funkcjonalna. Związane z tym są takie zagadnienia jak: dobór napędów, sensorów oraz materiału, z jakiego wykonana będzie orteza.

Proponowane rozwiązania

Założone sterowanie ortezą bioniczną będzie odbywało się za pomocą sygnałów pochodzących z aktywności bioelektrycznej mięśni odczytywanych za pomocą elektromiografu. Sygnał ten będzie wykorzystywany jako biologiczne sprzężenie zwrotne (biofeedback) w urządzeniu rehabilitacyjnym. W procesie klasyfikacji sygnałów pochodzących z EMG wykorzystany zostanie proces uczenia maszynowego.



Rys. 1. Przykład zmienności sygnałów z SEMG podczas wykonywania czynności antagonistycznych

Badania eksperymentalne

Przeprowadzone zostały badania dotyczące klasyfikacji sygnałów z elektromiografii powierzchniowej (*Surface Electromyography*, SEMG). Sygnały aktywności bioelektrycznej mięśni przedramienia przedstawione na rys. 1 mogą zostać wykorzystane w sterowaniu ortezą bioniczną. Pomiary zostały przeprowadzone na grupie osób małoletnich, ponieważ klasyfikacja sygnałów z SEMG dla osób dorosłych jest już opracowana, a jej skuteczność sięga 98,12% [11]. U dzieci skuteczność klasyfikatorów opisanych w literaturze jest nawet dwukrotnie niższa. W związku z powyższym zebrane sygnały poddano kondycjonowaniu, a następnie porównano trzy klasyfikatory: maszyny wektorów nośnych (*suport vector machines*, SVM), K najbliższych sąsiadów (*K nearest neighbors*, KNN) oraz drzewo decyzyjne (*decision tree*, DT). Sygnały zostały również poddane kondycjonowaniu za pomocą następujących miar: MAV, długość przebiegu w czasie (*wave lenght*, WL), amplitudę Willsona (*Willson amplitude*, WAMP) oraz współczynnik zmiany zbocza (*slope sign change*, SSC). Najwyższy współczynnik poprawnej klasyfikacji dla osób małoletnich osiągnął 70% [12].

Podsumowanie

Zastosowanie ortez bionicznych w rehabilitacji znacznie skróci czas trwania terapii, przyczyniając się do większej ruchomości kończyny. Wykorzystanie robotyki w medycynie pozwala na efektywniejszą pracę lekarzy i rehabilitantów. Z tego powodu rozwój egzoszkieletów wykorzystywanych do zastosowań medycznych jest niezbędny. Konstrukcja tego typu ortez powinna być wydajna, prosta w obsłudze, kompaktowa oraz koszt jej produkcji powinien być umiarkowany. Cechy te są konieczne, aby w przyszłości nastąpiło spopularyzowanie egzoszkieletów przeznaczonych do zastosowań rehabilitacyjnych.

Literatura

[1] G. Jefferson: The Mind of Mechanical Man, BMJ, Vol. 1, No. 4616, p. 1105-1110, June 1949.
[2] N. Hockstein, C. Gourin, R. Faust, R. Terris: A history of robots: from science fiction to surgical robotics, Jurnal of Robotic Surgery, Vol. 1, No. 2, p. 113-118, January 2007.
[3] C. Fleischer, G. Hommel: Exoskeletons and robotic prosthetics:a review of recent developments , Industrial Robot: An International Journal, Vol. 36, No. 5, p. 421 – 427, 2009.
[4] K. Boldt: Three axis mechanical joint for a power assist device, Patente, 5,282,460, 1994.
[5] E. Brokaw, I. Black, R. Holley, P. Lum: Hand Spring Operated Movement Enhancer (HandSOME): A Portable, Passive Hand Exoskeleton for Stroke Rehabilitation, IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering, Vol. 19, No. 4, p. 391-399, August 2011.
[6] S. Farmer, V. Durairaj, I. Swain, A. Pandyan: Assistive technologies: Can they contribute to rehabilitation of the upper limb after stroke?, Archives of Physical Medicine and Rehabilitation, Vol. 95, No. 5, p. 968-985, May 2014.
[7] G. Prange, M. Jannink, C. Groothuis-Oudshoorn, H. Hermens, M. IJzerman: Systematic review of the effect of robot-aided therapy on recovery of the hemiparetic arm after stroke, The Journal of Rehabilitation Research and Development, Vol. 43, No. 2, March 2006.
[8] A. Frisoli, C. Procopio, C. Chisari, I. Creatini, L. Bonfiglio, M. Bergamasco, B. Rossi, M. Carboncini: Positive effects of robotic exoskeleton training of upper limb reaching movements after stroke, Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation, Vol.9, No. 1, 2012.
[9] G. Kwakkel, B. Kollen, H. Krebs: Effects of Robot-Assisted Therapy on Upper Limb Recovery After Stroke: A Systematic Review, Neurorehabilitation and Neural Repair, Vol. 22, No. 2, p. 111-121, 2007.
[10] G. Xu, A. Song, L. Pan, H. Li, Z. Liang, S. Zhu, B. Xu, J. Li: Adaptive Hierarchical Control for the Muscle Strength Training of Stroke Survivors in Robot-aided Upper-limb Rehabilitation, International Journal of Advanced Robotic Systems, Vol. 9, No. 4, June 2012.
[11] A. Palkowski, G. Redlarski: Basic Hand Gestures Classification Based on Surface Electromyography, Computational and mathematical methods in medicine, May 2016.
[12] G. Rzyman, G. Redlarski, M. Krawczuk: Komputerowo wspomagana klasyfikacja wybranych sygnałów elektromiografii powierzchniowej, Modelowanie Inżynierskie, Vol. 62, p. 81-87, 2017.

Artykuł został opublikowany w „Studium Doktoranckim Wydziału Elektrotechniki i Automatyki Politechniki Gdańskiej", Sesja sprawozdawcza w r. ak. 2016/2017.

mgr inż Gustaw Rzyman
Studium Doktoranckie Wydziału Elektrotechniki i Automatyki Politechniki Gdańskiej
Opiekun naukowy:
dr hab. inż. Grzegorz Redlarski, prof. nadzw. PG
Katedra Mechatroniki i Inżynierii Wysokich Napięć