

STEFAN – SAMOSTABILIZUJĄCY SIĘ EGZOSZKIELET KOŃCZYN DOLNYCH

Streszczenie

Artykuł porusza zagadnienia projektowania konstrukcji i układu sterowania samostabilizującego się egzoszkieletu kończyn dolnych. Na początku pracy został przedstawiony przegląd literatury pasywnych i aktywnych egzoszkieleatów kończyn dolnych. Następnie treść artykułu skupia się na propozycji nowatorskiego projektu egzoszkieleatu, który jest w stanie utrzymywać równowagę charakteryzując się sam w sobie strukturalną niestabilnością. Projekt nazwany przez autorów STEFAN (Self-stabilizing Exoskeleton For Assistive Neurotherapy) jest aktywnym egzoszkieleatem kończyn dolnych, który może stanowić środek lokomocji osoby niepełnosprawnej lub wspomagać jej fizjoterapię.

1. Wstęp

Egzoszkieleaty są układami mechanicznymi przeznaczonymi głównie w celu wspomaganie siły człowieka. Często określane są one również mianem ortez. Dzielą się na pasywne, nieposiadające napędów elektrycznych, w których wspomaganie realizowane jest za pośrednictwem układu sprężyn i naciągów oraz egzoszkieleaty aktywne, które są najczęściej sterowane za pośrednictwem silników elektrycznych. Najczęściej spotykanymi egzoszkieleatami są ortozy kończyn dolnych, kończyn górnych oraz palców ręki.

Egzoszkieleaty kończyn dolnych zasługują na szczególną uwagę, ponieważ mogą pełnić funkcję pionierów i są w stanie wspomagać chód osób sparaliżowanych. Zaprojektowanie tego typu egzoszkieleatu nie jest jednak trywialne i nie ma jeszcze w sprzedaży aktywnej ortozy kończyn dolnych, która mogłaby być używana przez osoby niechodzące. Opracowanie takiej technologii mogłoby zmienić podejście do przebudowy infrastruktury społecznej pod osoby poruszające się na wózkach inwalidzkich. Aktualnie w całej Unii Europejskiej wydaje się miliardy euro na zmiany projektów budowlanych i infrastruktury transportowej pod osoby niepełnosprawne. Opracowanie dobrego egzoszkieleatu byłoby znacznie tańsze.

Pierwsze próby stworzenia egzoszkieleatu były zrealizowane przez firmę General Electric. Firma ta opracowała egzoszkieleat zwany Hardiman'em. Nigdy nie pracował on jednak prawidłowo. Każda próba załączenia go kończyła się niekontrolowanymi ruchami [1].

Jednym z przykładów egzoszkieleatów kończyn dolnych nieposiadających napędów jest GBO – egzoszkieleat opracowany przez zespół działający na Uniwersytecie w Delaware w Newark [2]. Jest on wyposażony w układ sprężyn, które wspomagają ruch w najbardziej obciążonej fazie kroku. Podobnym projektem jest również przedstawiony w [3].

Obecnie jednym z najbardziej zaawansowanych egzozskieletów na świecie jest projekt HAL 5 (Hybrid Assistive Limb) [4]. Jest to egzozskielet, który został opracowany przez japońskiego inżyniera prof. Yoshiyuki Sankaiego z Uniwersytetu Sukuba. Przy wykorzystaniu tego mechanizmu człowiek jest w stanie unieść praktycznie dwukrotnie większą masę.

Projekt opracowany przez Murray'a i Michaela Goldfarb'a jest prostym egzozskieletem kończyn dolnych wyposażonym w cztery stopnie swobody. Przyszłe konstrukcje autorów zakładają sterowanie przy wykorzystaniu miopotencjałów [5].

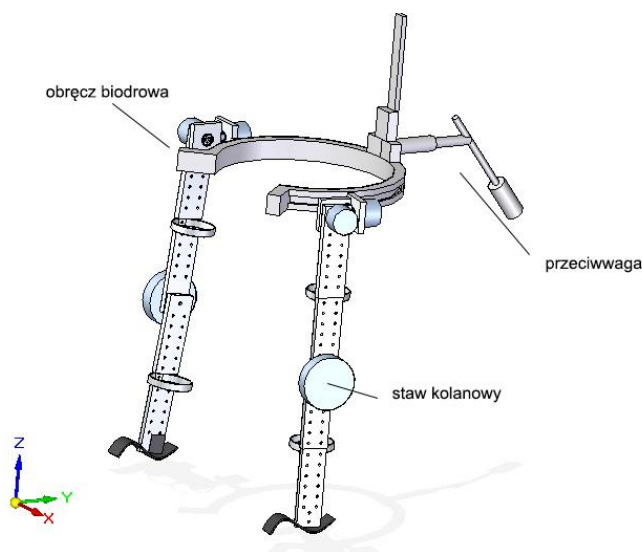
Egzozskielet kończyn dolnych, który został opracowany przez zespół Wan-soo Kim'a posiada 6 stopni swobody i może być sterowany przy wykorzystaniu miopotencjałów. Wadą tych egzozskieletów jest to, że ciężar konstrukcji w istocie spoczywa na ciele człowieka, ponieważ egzozskielet nie ma kontaktu z podłożem [6].

Jeden z najbardziej zaawansowanych egzozskieletów pochodzi z Berkeley University of California w USA. Projekt został nazwany BLEEX od nazwy miejsca, w którym został opracowany [7]. Projekt finansowany jest przez Amerykańską Agencję Obrony (DARPA). Składa się z kilku podstawowych części: projektu mechanicznego, systemu sterowania i zasilania oraz algorytmu sterowania. Jest on wyposażony w aktulatory hydrauliczne.

Przedstawiona w tej pracy konstrukcja i układ sterowania wzorowana jest na najbardziej zaawansowanych egzozskieletach. Dodatkową innowacyjnością, której nie posiadają wspomniane układy jest układ, który dopuszcza możliwość zaimplementowania algorytmu samostabilizacji egzozskieletu.

2. STEFAN (Self-stabilizing Exoskeleton For Assistive Neurotherapy)

Projekt został nazwany STEFAN, co można rozszyfrować jako samo-stabilizujący się egzozskielet przeznaczony do asystowania w neuroterapii kończyn dolnych. Projekt składa się z lekkiego egzozskieletu o możliwościach samostabilizacji, poprzez przeciwwagę umieszczoną z tyłu mechanizmu, jak również projektu systemu sterowania.



Rysunek 1 STEFAN - aktywny egzozskielet kończyn dolnych

Sterownik bazuje na informacjach z czujników ekstero- i proprioceptywnych. Konceptyjna postać systemu sterowania zakłada układ oparty na mikrokontrolerze ARM z systemem Linux czasu rzeczywistego, które komunikują się ze sterownikami niskopoziomowymi. Sterowniki niskopoziomowe są jednocześnie sterownikami mocy, które są dedykowane do konkretnych napędów. Sterownik wysokopoziomowy mógłby zostać zrealizowany w formie kilkunastu podprogramów komunikujących się wspólnie na jednej platformie serwerowej [8].

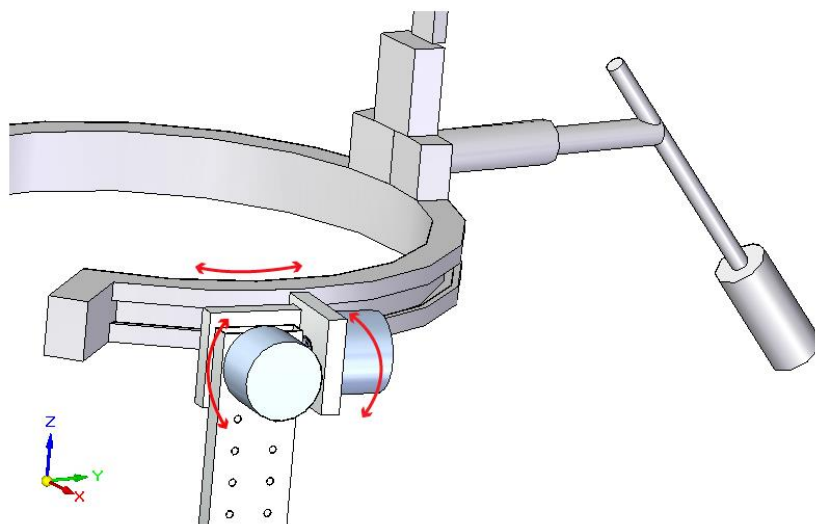
2.1 Konstrukcja

Cześć egzoszkieletu odpowiadającego za chód posiada 10 stopni swobody (po 5 stopni swobody przypadające na każdą z nóg). Zawiera również po 2 stopnie swobody nastawcze dla każdego z pedipulatorów, które opowiadają za dostosowanie długości ogniw do rozmiaru kończyn pacjenta. Przeciwwaga, która jest pakietem baterii zasilających została umieszczona na końcu ogona. Ogon posiada 2 stopnie swobody, które umożliwiają mu wychylenia na boki oraz przód-tył. Na przykład w przypadku lekkiego zachwiania równowagi w lewą stronę, ogon wychyli się w prawo. Ogon zachowuje jednak swoją skuteczność jedynie w pewnych granicach stabilności. Po przekroczeniu ich wymagane jest również przemieszczenie jednego z pedipulatorów robota.

Osie obrotu każdej z nóg znajdują się odpowiednio w stawie skokowym, stawie kolanowym oraz stawie biodrowym. Za opuszczanie/podnoszenie części udowej i piszczelowej nogi odpowiadają silniki prądu stałego z przekładniami harmonicznymi. Silniki te charakteryzują się dużymi przełożeniami i wyjściowym momentem obrotowym przekraczającym 200Nm (w zależności od wagi pacjenta i złącza). Tylko na tyle duże wartości pozwalają na poprawne przemieszczanie się człowieka i skuteczne utrzymanie naprężenia mechanizmu.

W stawie skokowym znajdują się silniki prądu stałego z przekładniami śrubowo-tocznymi. Silniki te odpowiadają za poprawne ustawienie stopy, w stosunku do podłoża oraz wspomaganie odbicia od podłoża podczas początkowej fazy ruchu.

Kluczową częścią jest budowa stawu biodrowego. W stawie tym znajdują się dwa stopnie swobody, wzajemnie do siebie prostopadłe. Pierwszy napęd przemieszcza się po łuku po specjalnej bieżni. Złącze to odpowiada za przywodzenie/odwodzenie części udowej kończyny dolnej. Jest to niezbędny element, który zapewnia prawidłową funkcjonalność samostabilizacji. W przypadku wychyłu bocznego pedipulator może przemieścić się na bok w stosunku do utrzymywanego kierunku ruchu. Złącze to jest również niezbędne w prawidłowej fazie generowania kroku.



Rysunek 2 Struktura kinematyczna stawu biodrowego. Panewka biodrowa porusza się po specjalnej bieżni. Czerwonymi strzałkami oznaczone zostały kierunki poszczególnych ruchów.

Do obręczy stanowiącej staw biodrowy doczepiona jest również specjalna obręcz stabilizacyjna, którą można odłączyć w przypadku osób zdrowych używających egzoszkieletu do wspomagania wykonywania ruchu.

W trakcie wykonywania kroku w sposób synchroniczny pracują wszystkie stopnie swobody. W związku z tym konstrukcja wymagała takiego zaprojektowania, aby umożliwić bezkolizyjną pracę wszystkich napędów.

2.2 Algorytm sterowania

Algorytm sterowania musiałby bazować na autonomicznym algorytmie samostabilizacji i przemieszczania się. Interakcja z egzoszkieletem mogłaby następować za pośrednictwem czujników nacisku zamontowanych w części biodrowej egzoszkieletu, jak również czujników sygnałów EMG, które mogłyby dostarczyć dodatkową informację na temat intencji pacjenta. Wychylenie się pacjenta powyżej założonego progu powodowałoby przemieszczenie pedipulatorów w określonym kierunku. W podobny algorytm sterowania wyposażony jest również popularny Segway [9].

Sygnały EMG mogłyby posłużyć jako dodatkowy sygnał aktywujący poszczególne funkcje [10]. Wymagane byłoby na przykład przełączenie robota w tryb pracy wchodzenia po schodach. Egzoszkielet zostałby wyposażony w wysokiej jakości czujniki zbliżeniowe oraz czujniki siły, byłby zatem w stanie wykryć zbliżający się próg, jak również załamanie powierzchni. To pozwoliłoby na przykład na automatyczne dostosowanie się kroku robota do rozmiarów schodów.

Wyposażenie robota w dodatkowe sprzężenie zwrotne od pacjenta byłoby kluczowe, ponieważ wymienione czujniki są podatne na zakłócenia oraz nie zbierają ze środowiska wszystkich potrzebnych informacji. Przetwarzanie sygnałów EMG następowałoby na zasadzie obserwacji stopnia aktywacji danych jednostek motorycznych.

3. Podsumowanie

W niniejszej pracy został przedstawiony projekt aktywnego egzozszkieletu kończyn dolnych, przeznaczony głównie do wspomagania ruchu osób częściowo lub całkowicie sparaliżowanych. Zaproponowana konstrukcja posiada 12 aktywnych stopni swobody, z czego 2 odpowiadają za utrzymanie równowagi, a pozostałe 10 za przemieszczanie się. Opracowanie poprawnego sterowania tego typu egzozszkieletu jest dużym wyzwaniem. Między innymi te problemy powodują, że do tej pory nie ma podobnego produktu na rynku.

Badania symulacyjne pokazały, że STEFAN jest w stanie skutecznie reagować na zakłócenia zewnętrzne, które mogłyby doprowadzić do utraty stabilności i przewrócenia się pacjenta. Budowa tego typu robota mogłaby być stosunkowo droga, głównie z uwagi na wysokie wymagania w stosunku do dynamiki i momentów układu napędowego, jak również ze względu na skomplikowaną pracę badawczą. Nie mniej jednak robot byłby w stanie znacznie przyczynić się do poprawy jakości życia osób niepełnosprawnych i szacuje się, że opracowanie takiej technologii wraz z późniejszym zakupem egzozszkieletów byłoby znacznie tańsze, niż przystosowanie infrastruktury społecznej do warunków życia osób niepełnosprawnych.

Przyszłe prace badawcze będą wiązać się z dokładniejszym zaprojektowaniem konstrukcji egzozszkieletu oraz przeprowadzeniem bardziej skomplikowanych analiz. Zostanie również podjęta próba zaimplementowania algorytmu sterowania modelem egzozszkieletu przy wykorzystaniu generatorów chodu sprzężonych ze sterownikami impedancyjnymi [11]. Zaawansowanie prac symulacyjnych może przyczynić się do podjęcia próby zdobycia funduszy na budowę robota.

Referencje:

1. J. Challoner , 1001 Wynalazków Które Zmieniły Świat, Elipsa, 09.2011.
2. Sunil K. Arawal at al. Assessment of Motion of a Swing Leg and Gait Rehabilitation With a Gravity Balancing Exoskeleton, IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering Vol. 15 No. 3, 2007.
3. Wietse van Dijk, Harman van der Kooij at al., A Passive Exoskeleton with Artificial Tendons, IEEE International Conference on Rehabilitation Robotics, 2011.
4. L. Greenemeier, Robotic Exoskeletons from Cyberdyne Could Help Workers Clean Up Fukushima Nuclear Mess, Scientific American, 11.2011.
5. S. Murray, M. Goldfarb, Towards the Use of a Lower Limb Exoskeleton for Locomotion Assistance in Individuals with Neuromuscular Locomotor Deficits, IEEE EMBS, 2012.
6. Wan-soo Kim at al. Development of the heavy load transferring task oriented exoskeleton adapted by lower extremity using quasi - active joints, IEEE ICROS-SICE, 2009.
7. H. Kazerooni, Exoskeletons for Human Power Augmentation, IEEE Explore.
8. A. Gmerek, High-level controller for an arm rehabilitation robot-positioning algorithms with respect to EMG data, IEEE Explore, MMAR 2011.
9. J. Heilemann, Reinventing the Wheel, Time (Business & Money), 12.2001.
10. A. Gmerek, Strategie sterowania modelem protezy ręki z wykorzystaniem miopotencjałów, Pomiary Automatyka Robotyka, str. 45-47, 10/2009.
11. A. Gmerek, Wykorzystanie quasi-chaotycznych oscylatorów do generowania rytmu chodu robotów kroczących, Postępy Robotyki 2012 red. Krzysztof Tchoń i Cezary Zieliński, 2012.