

RZECZPOSPOLITA
POLSKA



Urząd Patentowy
Rzeczypospolitej Polskiej

(12) **OPIS PATENTOWY**

(19) **PL**

(11) **238106**

(13) **B1**

(21) Numer zgłoszenia: **418936**

(22) Data zgłoszenia: **30.09.2016**

(51) Int. Cl.

A61H 1/02 (2006.01)

A63B 23/12 (2006.01)

B25J 9/06 (2006.01)

(54)

Sposób sterowania egzoszkieletem

(43) Zgłoszenie ogłoszono:

09.04.2018 BUP 08/18

(45) O udzieleniu patentu ogłoszono:

05.07.2021 WUP 14/21

(73) Uprawniony z patentu:

**ZACHODNIOPOMORSKI UNIWERSYTET
TECHNOLOGICZNY W SZCZECINIE, Szczecin, PL**

(72) Twórca(y) wynalazku:

**PAWEŁ HERBIN, Szczecin, PL
MIROSLAW PAJOR, Bezzecze, PL**

(74) Pełnomocnik:

rzecz. pat. Monika Wielecka

PL 238106 B1

Opis wynalazku

Przedmiotem wynalazku jest sposób sterowania egzoszkieletem. Egzoszkielet może być zarówno egzoszkieletem kończyny górnej jak i dolnej, oraz korzystnie egzoszkielet kończyny górnej ma siedem stopni swobody. Egzoszkielet kończyny górnej według wynalazku ma zastosowanie w sterowaniu urządzeniami rzeczywistymi, wirtualnymi z wykorzystaniem sterowania z siłowym sprzężeniem zwrotnym oraz w rehabilitacji ludzkich kończyn górnych.

Z amerykańskiego opisu patentowego US 7,410,338 B2 znany jest egzoszkielet o 16 stopniach swobody obejmujący swoją funkcjonalnością ramię, przedramię oraz nadgarstek. Kontakt z człowiekiem jest zapewniany poprzez pneumatyczne poduszki. Urządzenie montowane jest na płycie osadzonej na klatce piersiowej operatora w kształcie połowy zbroi. W rozwiązaniu wykorzystywane są przeguby obrotowe oraz przesuwne. Rozwiązanie cechuje się możliwością sterowania urządzeniem o korespondującej strukturze kinematycznej.

W publikacji PERRY, Joel C.; ROSEN, Jacob; BURNS, Stephen. Upper-limb powered exoskeleton design. *IEEE/ASME transactions on mechatronics*, 2007, 12.4: 408 zaprezentowano egzoszkielet o siedmiu stopniach swobody wyposażony w siedem niezależnych napędów elektrycznych. Rozwiązanie cechuje się trzema stopniami swobody umieszczonymi w barku, dwoma stopniami swobody umieszczonymi w łokciu oraz dwoma stopniami swobody w nadgarstku. Pierwsze pięć stopni swobody realizowane jest z wykorzystaniem silników elektrycznych umieszczonych poza konstrukcją egzoszkieletu poprzez napęd ciągnowy z zastosowaniem przekładni ciągnowej umieszczonej na konstrukcji egzoszkieletu. Napęd kolejnych przegubów jest realizowany za pomocą napędów elektrycznych umieszczonych na konstrukcji egzoszkieletu. Urządzenie umożliwia sterowanie elementami w przestrzeni wirtualnej. Układ sterowania oparty jest o pomiar momentu generowanego przez napędy oraz o elektromiografię powierzchniową. Pomiar pozycji jest realizowany na silnikach napędzających egzoszkielet.

Wszystkie znane ze stanu techniki egzoszkielety kończyny górnej posiadają bardzo złożoną strukturę kinematyczną z uwagi na równoległy łańcuch kinematyczny do ludzkiej kończyny górnej lub nie umożliwiają pełnej ruchomości kończyny operatora, co może powodować dyskomfort w czasie pracy oraz ogranicza funkcjonalność tychże urządzeń. Prezentowane urządzenia nie umożliwiają także bezpośredniego wielopunktowego pomiaru siły interakcji operatora z maszyną. W publikacji Lee, Hee-Don, et al. „Humanrobot cooperation control based on a dynamic model of an upper limb exoskeleton for human power amplification”. *Mechatronics* 24.2 (2014) zaprezentowano sposób sterowania oparty na pomiarze siły kontaktu trzy-osiowym sensorem siły umieszczonym w punkcie styku dłoni operatora z egzoszkieletem. W publikacji Anam, Khairul, and Adel Ali Al-Jumaily. „Active exoskeleton control systems: State of the art.” *Procedia Engineering* 41 (2012) przedstawiono przegląd rozwiązań egzoszkieletów kończyn górnych i dolnych. Przedstawione układy sterowania oparte były o pomiar napięcia aktywacji mięśni oraz jedno-punktowy pomiar siły kontaktu trzy-osiowym sensorem siły umieszczonym w punkcie styku dłoni operatora z egzoszkieletem. W publikacji Letier, Pierre, et al. „Bowden cable actuator for torque-feedback in haptic applications”. *Proc. Eurohaptics 2006 Conf.*, Paris, July 2006 przedstawiono metodę pomiaru momentu napędowego zastosowanego w konstrukcji egzoszkieletu przedstawionej w publikacji PERRY, Joel C.; ROSEN, Jacob; BURNS, Stephen. Upper-limb powered exoskeleton design. *IEEE/ASME transactions on mechatronics*, 2007, 12.4: 40. W przedstawionym rozwiązaniu pomiar wartości momentu generowanego przez napęd realizowany jest przez samodzielnie skonstruowany sensor umieszczony na osi aktuatora.

Sposób sterowania egzoszkieletem, według wynalazku, polegający na pomiarze położenia członów egzoszkieletu względem siebie (konfiguracji egzoszkieletu) i pomiarze sił i/lub momentów generowanych przez każdy z napędów z wykorzystaniem modelu kinematyki i dynamiki prostej, charakteryzuje się tym, że wymaganą trajektorię do wykonania przez aktuator egzoszkieletu kończyny górnej wyznacza się, za pomocą modelu dynamiki odwrotnej egzoszkieletu na podstawie położenia początkowego przegubów egzoszkieletu oraz sygnału, który stanowi różnicę pomiędzy wektorem wartości nominalnych momentów obciążeń aktuatorów a wektorem wartości sygnałów obciążeń napędów egzoszkieletu pochodzących od kontaktu z operatorem, wektorem wartości momentów napędowych generowanych przez napędy egzoszkieletu oraz wektorem wartości sił i momentów sił zewnętrznych. Wartości nominalnych momentów obciążeń aktuatorów wyznacza się na podstawie modeli dynamiki i kinematyki prostej egzoszkieletu z sygnałów pozycji przegubów, prędkości i przyspieszeń, które otrzymuje się poprzez różniczkowanie sygnałów położenia otrzymanych z przetworników obrotowo-impulsowych. Wartości sygnałów obciążeń napędów egzoszkieletu pochodzące od kontaktu z operatorem są transformowane do

momentów sił obciążeń przegubów za pomocą jakobianu egzozszkieletu w dziedzinie sił z wartości sygnałów z sensorów nacisku (przeliczenie siły kontaktu operatora na momenty obciążeń aktuatorów). Wartości sił i momentów sił zewnętrznych są wartościami otrzymywanymi od układu sterowania, obiektu sterowanego (wirtualnego lub rzeczywistego) i/lub interakcji egzozszkieletu z otoczeniem. Jakobian wyznacza się dla egzozszkieletu jako macierz pochodnych cząstkowych prędkości liniowej i kątowej ostatniego członu egzozszkieletu po prędkościach przegubów egzozszkieletu o wymiarach $6 \times n$, gdzie n jest liczbą przegubów. W wyniku rozwiązania modelu dynamiki odwrotnej otrzymuje się prędkości i przyspieszenia przegubów, na podstawie których wyznacza się zadany ruch aktuatorów.

Korzystnie od wartości nominalnych momentów obciążeń aktuatorów odejmuje się również wartości momentów sił generowanych w poszczególnych stawach ludzkiej kończyny górnej, które estymuje się z sił generowanych przez mięśnie szkieletowe, które wyznacza się z sygnałów napięcia aktywacji mięśni otrzymanych z systemu pomiaru sygnału układu do elektromiografii powierzchniowej oraz sygnałów z przetworników obrotowo-impulsowych.

Wartość momentu napędowego generowanego przez napędy egzozszkieletu mierzy się za pomocą tensometrycznego lub magnetycznego pomiaru skręcenia wału napędowego (opisane sposoby pomiaru momentu napędowego zastosowane w egzozszkiecie z przekładnią linkową wymagają umieszczenia sensora momentu bezpośrednio przy aktuatorze, co skutkuje rozbudową układu napędowego oraz koniecznością uwzględnienia modelu matematycznego przekładni w układzie sterowania aktuatorami), korzystnie za pomocą kół linkowych oraz tensometrycznych belek stanowiących elementy egzozszkieletu.

Zaletą zaproponowanego rozwiązania jest możliwość realizacji siłowego sprzężenia zwrotnego od sterowanego urządzenia lub obiektu, oraz możliwość wsparcia kończyny operatora w celu wykonania rehabilitacji ruchowej.

Wynalazek jest bliżej przedstawiony w przykładach wykonania i na rysunku, na którym Fig. 1 przedstawia schemat systemu sterowania egzozszkieletem, Fig. 2 przedstawia schemat systemu sterowania egzozszkieletem z wykorzystaniem układu do elektromiografii, Fig. 3 przedstawia egzozszkielet z tensometrycznymi belkami i linkowymi kołami w widoku perspektywicznym, Fig. 4 ilustruje egzozszkielet z Fig. 3 z rozłączonymi członami w widoku perspektywicznym, Fig. 5 ilustruje schemat struktury kinematycznej egzozszkieletu z tensometrycznymi belkami i linkowymi kołami.

Przykład I

Egzozszkielet kończyny dolnej o kontrolowanych trzech stopniach swobody wyposażony w napędy z sensorami momentu napędowego umieszczonymi bezpośrednio w konstrukcji, sensory wzajemnego położenia kątowego członów egzozszkieletu względem siebie, sensory siły kontaktu urządzenia z operatorem.

Zadaniem operatora jest wykonanie ruchu kończyną dolną. Egzozszkielet ma za zadanie wykonywać ruch zgodny z ruchem kończyny tak, aby zredukować siłę wymaganą od człowieka do wykonania ruchu (poprzez wspieranie pracy mięśni podczas ruchu). Siła kontaktu człowieka z urządzeniem jest utrzymywana na zadanym poziomie tak, aby kończyna dolna mogła się poruszać z zmniejszonym oporem.

Sposób sterowania egzozszkieletem kończyny dolnej polega na tym, że wymaganą trajektorię do wykonania przez aktulatory 1 egzozszkieletu kończyny dolnej wyznacza się, za pomocą modelu dynamiki odwrotnej 2 egzozszkieletu z sygnału 3, który stanowi różnicę pomiędzy wartościami nominalnych momentów 4 obciążeń aktuatorów 1 a wartościami sygnałów obciążeń 10 napędów egzozszkieletu pochodzących od kontaktu z operatorem, wartościami momentu napędowego 5 generowanego przez napędy egzozszkieletu i wartościami sił i momentów sił zewnętrznych 7 (siłową interakcję z operatorem realizuje się poprzez podanie odpowiedniego sygnału wartości sił i momentów sił zewnętrznych 7). Wartości nominalnych momentów 4 obciążenia aktuatorów 1 wyznacza się na podstawie modeli dynamiki 6 i kinematyki prostej 8 (macierze przekształceń jednorodnych) z sygnałów 9 z przetworników obrotowo-impulsowych. Wartości sygnałów obciążeń 10 napędów egzozszkieletu pochodzące od kontaktu z operatorem są transformowane za pomocą jakobianu 11 egzozszkieletu z wartości sygnałów 12 z sensorów nacisku. Wartość momentu napędowego 5 generowanego przez napędy egzozszkieletu mierzy się za pomocą sensorów momentu napędowego umieszczonych pomiędzy aktuatorami a osiami obrotu kolejnych przegubów egzozszkieletu.

Otrzymana trajektoria realizowana jest przez aktulatory 1 i jest przekazywana poprzez przekładnie na konstrukcję egzozszkieletu.

Przykład II

Sposób sterowania egzozszkieletem wykonany analogicznie jak w przykładzie I, przy czym stosuje się egzozszkielet kończyny górnej o siedmiu stopniach swobody wyposażony w siedem niezależnych napędów elektrycznych, układ pomiaru momentu napędowego oraz przetworniki obrotowo-impulsowe umieszczone bezpośrednio na napędach napędzających egzozszkielet. Urządzenie wyposażone jest także w układ do elektromiografii powierzchniowej, połączony z układem sterowania. Od wartości nominalnych momentów 4 obciążeń aktuatorów 1 odejmuje się również wartości momentów 13 sił generowanych w poszczególnych stawach ludzkiej kończyny górnej, które estymuje się z sił generowanych przez mięśnie szkieletowe, które wyznacza się z sygnałów napięcia aktywacji mięśni otrzymanych z systemu pomiaru 14 sygnału układu do elektromiografii powierzchniowej oraz sygnałów 9 z przetworników obrotowo-impulsowych.

Przykład III

Sposób sterowania egzozszkieletem kończyny górnej wykonany analogicznie jak w przykładzie II, przy czym zadaniem operatora jest przemieszczenie w środowisku wirtualnym przedmiotu o ustalonej masie. Egzozszkielet stawia opór ruchu zależny od sił wymaganych do transportu przedmiotu, zatem podczas kontaktu z w/w przedmiotem w środowisku wirtualnym operator odczuwa estymowaną siłę kontaktu z tym przedmiotem oraz jego bezwładność w postaci sprzężenia siłowego egzozszkieletu z kończyną górną człowieka.

Przykład IV

Egzozszkielet kończyny górnej ma kolejno połączone za sobą nieruchomy zerowy człon 15 i ruchome człony: pierwszy 16, drugi 17, trzeci 18, czwarty 19, piąty 20, szósty 21 i siódmy 22, pomiędzy którymi ma siedem osi napędów niezależnych od siebie. Zerowy człon 15 stanowi jego korpus, który połączony jest nieruchomo z parą pancerzy cięgien pierwszej osi i z obrotowo-impulsowym przetwornikiem pierwszej osi. Zerowy człon 15 połączony jest przegubowo (za pośrednictwem wału i łożyska ślizgowego) z pierwszym członem 16. Pierwszy człon 16 stanowi korpus, który połączony jest na jednym końcu (od strony zerowego członu 15) z linkowym kołem pierwszej osi napędu, a na drugim przeciwnym końcu z linkowym kołem drugiej osi (od strony drugiego członu 17), których budowa oparta jest na tensometrycznych belkach. Pierwszy człon 16 połączony jest przegubowo z drugim członem 17, który ma korpus połączony nieruchomo z parą łukowo-tocznych prowadnic, z przetwornikiem obrotowo-impulsowym drugiej osi i parą pancerzy cięgien drugiej osi. Trzeci człon 18 stanowi korpus połączony nieruchomo z parą wózków, z dwoma przetwornikami obrotowo-impulsowym i trzeciej osi i czwartej osi, z parą tensometrycznych belek trzeciej osi, z dwiema parami pancerzy cięgien trzeciej osi i czwartej osi. Korpus połączony jest ruchomo z pomiarowym kołem (przetwornika obrotowo-impulsowego trzeciej osi). Połączenie drugiego członu 17 i trzeciego członu 18 stanowi połączenie pary łukowo-tocznych prowadnic z parą wózków. Czwarty człon 19 stanowi korpus połączony nieruchomo z linkowym kołem czwartej osi, parą tensometrycznych belek piątej osi, przetwornikiem obrotowo-impulsowym piątej osi, z parą pancerzy cięgien piątej osi i przegubowo z pomiarowym kołem (przetwornika obrotowo-impulsowego piątej osi). Piąty człon 20 ma korpus, który połączony jest nieruchomo z przetwornikiem obrotowo-impulsowym szóstej osi, z parą pancerzy cięgien szóstej osi. Egzozszkielet, pomiędzy korpusem czwartego członu 19 a korpusem piątego członu 20, ma łożysko piątej osi. Łożysko to jest umieszczone pomiędzy pierścieniami, które są elementami korpusów czwartego członu 19 i korpusu piątego członu 20. Szósty człon 21 ma budowę analogiczną jak pierwszy człon 16, czyli ma korpus, który połączony jest na jednym końcu (od strony piątego członu 20) z linkowym kołem szóstej osi napędu, a na drugim przeciwnym końcu z linkowym kołem siódmej osi (od strony siódmego członu 22). Szósty człon 21 połączony jest z piątym 20 i siódmym 22 członem przegubowo. Siódmy człon 22 ma korpus połączony nieruchomo z obrotowo-impulsowym przetwornikiem siódmej osi, z parą pancerzy cięgien siódmej osi i rękojęścią egzozszkieletu. Każda z siedmiu osi ma napęd, który stanowi przekładnia cięgnowa i aktuator 1 w postaci siedmiu silników elektrycznych (może być również siłownik hydrauliczny i/lub siłownik elektryczny). Każda przekładnia cięgnowa jest to para pancerzy cięgien połączona z analogiczną parą pancerzy cięgien od strony aktuatora 1 poprzez napinacz i śruby. Śruby (połączone za pomocą gwintu z pancerzami) umożliwiają regulację napięcia cięgien i uczynienie przekładni cięgnowej bezluzową za pomocą wstępnego napięcia cięgien. Obrót koła aktuatora 1 powoduje pociągnięcie jednego z cięgien i wykonanie ruchu obrotowego połączonego z aktuatorem 1 poprzez cięgna przegubowego połączenia członów egzozszkieletu. W egzozszkiecie układ sterowania połączony jest ze wszystkimi aktuatorami 1, obrotowo-impulsowymi przetwornikami i parami tensometrycznych belek. Egzozszkielet na korpuse piątego członu 20 ma cztery sensory nacisku, a na korpuse czwartego członu 19 ma pięć sensorów nacisku.

Schemat rozmieszczenia osi obrotu członów egzoszkieletu jest następujący. Układ współrzędnych zerowy jest układem zerowego członu 15. Układ pierwszy jest powiązany z pierwszym członem 16 i realizuje obrót wokół osi Z_1 o kąt θ_1 , ruch ten odpowiada odwodzeniu i przywodzeniu w stawie ramiennym. Układ drugi jest powiązany z drugim członem 17 i realizuje obrót wokół osi Z_2 o kąt θ_2 , ruch ten odpowiada wyprostowi i zgięciu w stawie ramiennym. Układ trzeci jest powiązany z trzecim członem 18 i realizuje obrót wokół osi Z_3 o kąt θ_3 , ruch ten odpowiada rotacji do zewnątrz i wewnątrz w stawie ramiennym. Układ czwarty jest powiązany z czwartym członem 19 i realizuje obrót wokół osi Z_4 o kąt θ_4 , ruch ten odpowiada zginaniu i prostowaniu w stawie łokciowym. Układ piąty jest powiązany z piątym członem 20 i realizuje obrót wokół osi Z_5 o kąt θ_5 , ruch ten odpowiada odwracaniu i nawracaniu przedramienia. Układ szósty jest powiązany z szóstym członem 21 i realizuje obrót wokół osi Z_6 o kąt θ_6 , ruch ten odpowiada przywodzeniu łokciowemu i odwodzeniu promieniowemu w stawie nadgarstkowym. Układ siódmy jest powiązany z siódmym członem 22 i realizuje obrót wokół osi Z_7 o kąt θ_7 , ruch ten odpowiada zginaniu grzbietowemu i zginaniu dłoniowemu w stawie nadgarstkowym.

Zerowy człon 15 egzoszkieletu połączony jest przegubowo z członem pierwszym egzoszkieletu 16 realizując obrót wokół osi Z_1 schematu kinematycznego. Pierwszy człon 16 połączony jest z cięgnami napędu osi pierwszej poprzez koło linkowe pierwszej osi oraz z cięgnami napędu drugiej osi poprzez koło linkowe drugiej osi i przegubowo z drugim członem 17 realizując obrót wokół osi Z_2 schematu kinematycznego. Drugi człon 17 połączony jest przegubowo z trzecim członem egzoszkieletu 18 poprzez parę prowadnic łukowo-tocznych i parę wózków realizując obrót wokół osi Z_3 schematu kinematycznego. Trzeci człon 18 połączony jest z cięgnami napędu trzeciej osi egzoszkieletu oraz przegubowo z czwartym członem 19 realizując obrót wokół osi Z_4 schematu kinematycznego. Czwarty człon 19 połączony jest z cięgnami napędu osi czwartej poprzez koło linkowe czwartej osi oraz przegubowo z piątym członem 20 realizując obrót wokół osi Z_5 schematu kinematycznego. Piąty człon 20 połączony jest z cięgnami napędu osi piątej oraz przegubowo z szóstym członem 21 realizując obrót wokół osi Z_6 schematu kinematycznego. Szósty człon 21 połączony jest z cięgnami napędu osi szóstej poprzez koło linkowe szóstej osi oraz z cięgnami napędu siódmej osi poprzez koło linkowe siódmej osi i przegubowo z siódmym członem 22 realizując obrót wokół osi Z_7 schematu kinematycznego.

Sposób sterowania egzoszkieletem kończyny górnej prowadzi się jak w przykładzie 1, przy czym wartość momentu napędowego 6 generowanego przez napędy egzoszkieletu mierzy się za pomocą linkowych kół oraz tensometrycznych belek. Otrzymana trajektoria realizowana jest przez aktuatory 1 i jest przekazywana na konstrukcję egzoszkieletu za pomocą cięgien.

Wykaz oznaczeń

1. aktuator
2. model dynamiki odwrotnej
3. sygnał z różnicy
4. nominalne momenty obciążeń aktuatorów
5. wartość momentu napędowego generowanego przez napędy egzoszkieletu
6. model dynamiki prostej
7. siły i momenty sił zewnętrznych
8. model kinematyki prostej
9. sygnały z przetworników obrotowo-impulsowych
10. sygnały obciążeń napędów egzoszkieletu pochodzących od kontaktu z operatorem
11. jacobian egzoszkieletu
12. sygnały z sensorów nacisku
13. momenty sił generowanych w poszczególnych stawach ludzkiej kończyny górnej
14. system pomiaru
15. zerowy człon
16. pierwszy człon
17. drugi człon
18. trzeci człon
19. czwarty człon
20. piąty człon
21. szósty człon
22. siódmy człon

Zastrzeżenia patentowe

1. Sposób sterowania egzozszkieletem polegający na pomiarze położenia członów egzozszkieletu względem siebie i pomiarze sił i/lub momentów generowanych przez każdy z napędów z wykorzystaniem modelu kinematyki i dynamiki prostej, **znamienny tym**, że wymaganą trajektorię do wykonania przez aktuatory (1) egzozszkieletu kończyny górnej wyznacza się, za pomocą modelu dynamiki odwrotnej (2) egzozszkieletu na podstawie położenia początkowego przegubów egzozszkieletu oraz sygnału (3), stanowiącego różnicę pomiędzy wektorem wartości nominalnych momentów obciążeń (4) aktuatorów (1) a wektorem wartości sygnałów obciążeń (5) napędów egzozszkieletu pochodzących od kontaktu z operatorem, wektorem wartości momentów napędowych (6) generowanych przez napędy egzozszkieletu oraz wektorem wartości sił i momentów sił zewnętrznych (7), przy czym wartości nominalnych momentów (4) obciążenia aktuatorów (1) wyznacza się, na podstawie modeli dynamiki prostej (8) i kinematyki prostej (9) egzozszkieletu z sygnałów pozycji przegubów (10), prędkości i przyspieszeń, które otrzymuje się poprzez różniczkowanie sygnałów położenia otrzymanych z przetworników obrotowo-impulsowych, zaś wartości sygnałów obciążeń (5) napędów egzozszkieletu pochodzących od kontaktu z operatorem są transformowane do momentów sił obciążeń przegubów za pomocą jakobianu (11) egzozszkieletu w dziedzinie sił z sygnałów (12) z sensorów nacisku, przy czym jakobian wyznacza się dla egzozszkieletu jako macierz pochodnych cząstkowych prędkości liniowej i kątowej ostatniego członu egzozszkieletu po prędkościach przegubów egzozszkieletu o wymiarach $6 \times n$, gdzie n jest liczbą przegubów, a w wyniku rozwiązania modelu dynamiki odwrotnej otrzymuje się prędkości i przyspieszenia przegubów, na podstawie których wyznacza się zadany ruch aktuatorów (1).
2. Sposób sterowania egzozszkieletem według zastrz. 1, **znamienny tym**, że od wartości nominalnych momentów obciążeń (4) aktuatorów (1) odejmuje się wartości momentów sił (13) generowanych w poszczególnych stawach ludzkiej kończyny górnej, które estymuje się z sił generowanych przez mięśnie szkieletowe, które wyznacza się z sygnałów napięcia aktywacji mięśni otrzymanych z systemu pomiaru (14) sygnału elektromiografii powierzchniowej oraz sygnałów (10) z przetworników obrotowo-impulsowych.
3. Sposób sterowania egzozszkieletem według zastrz. 1 albo, 2, **znamienny tym**, że wartość momentu napędowego (6) generowanego przez napędy egzozszkieletu mierzy się za pomocą kół linkowych oraz tensometrycznych belek.

Rysunki

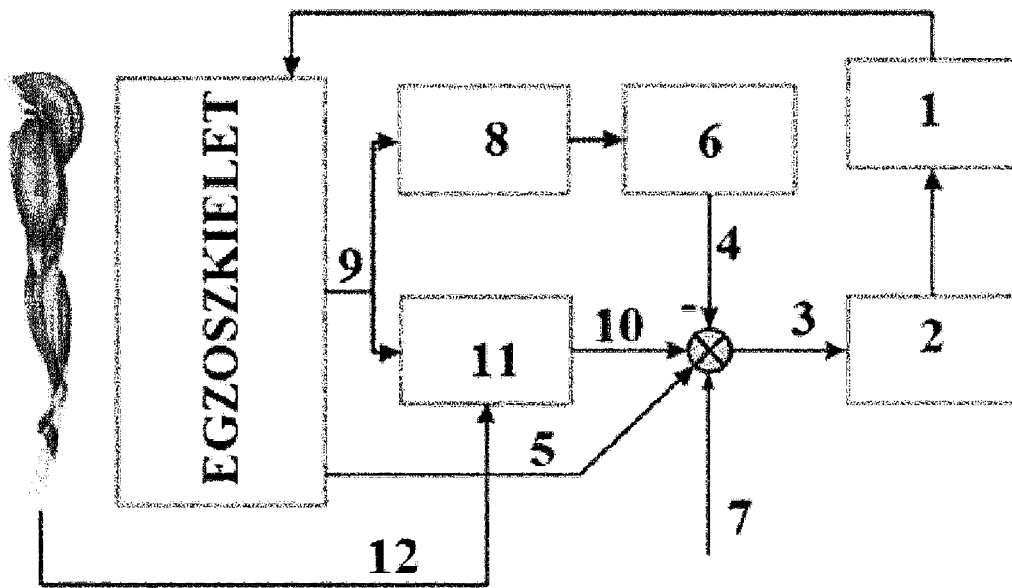


Fig. 1

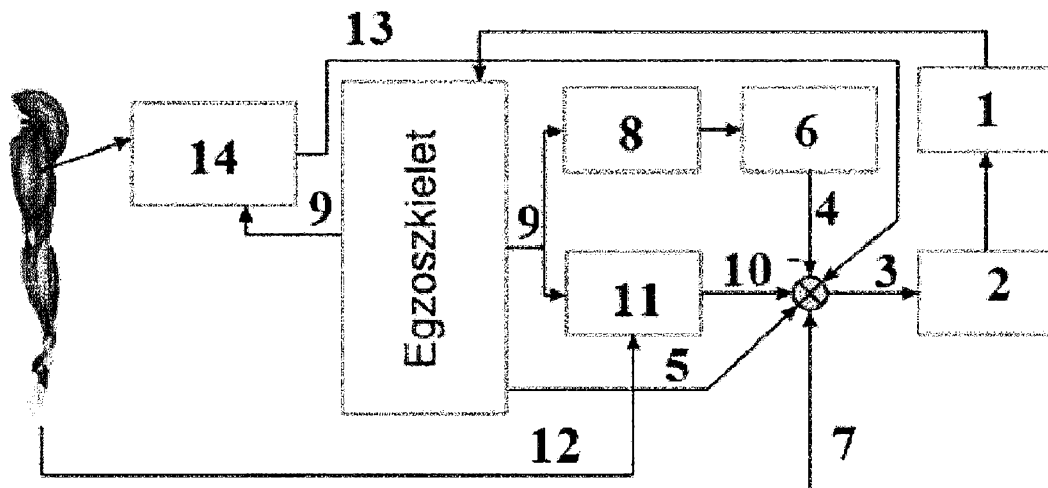


Fig. 2

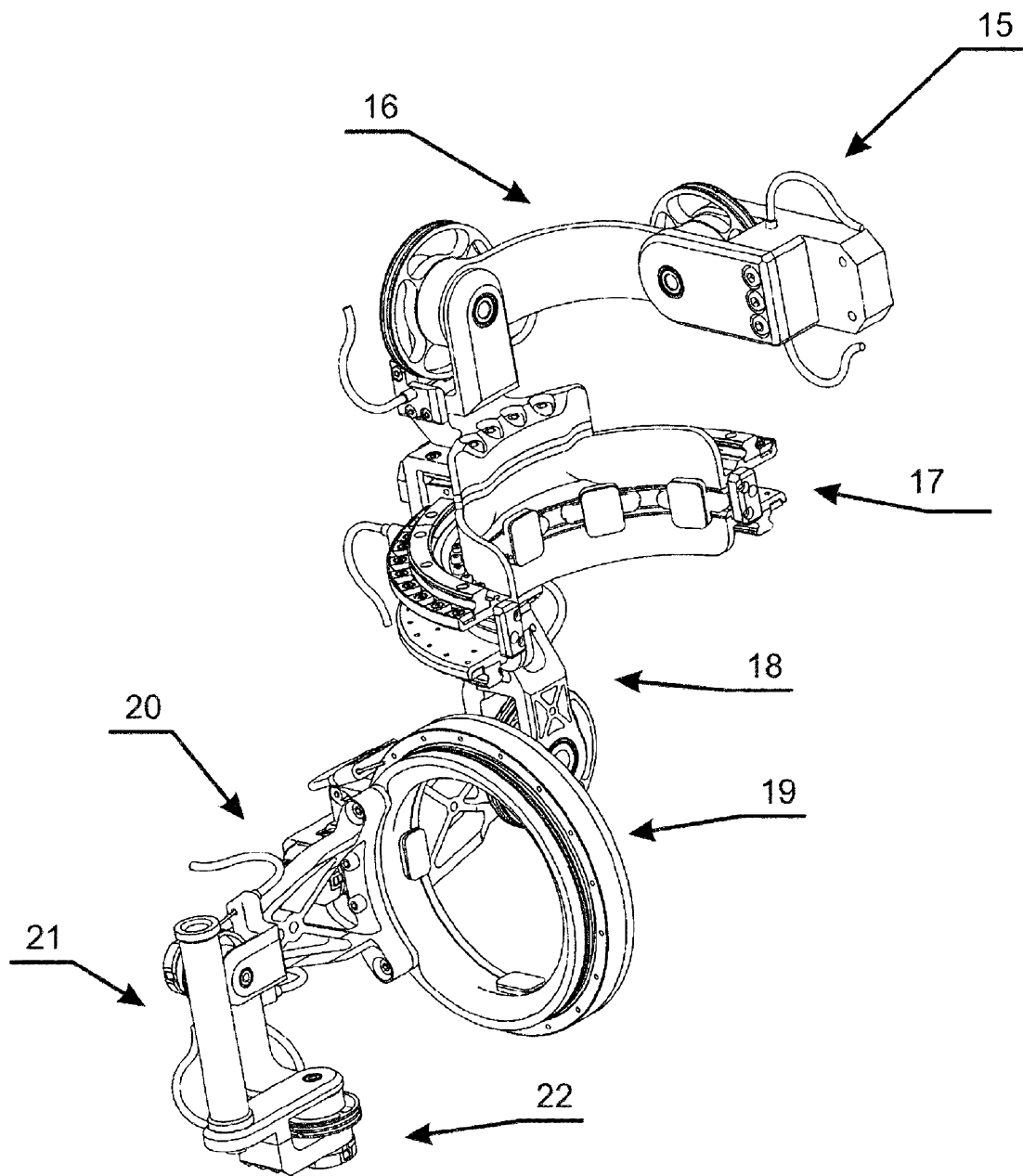


Fig. 3

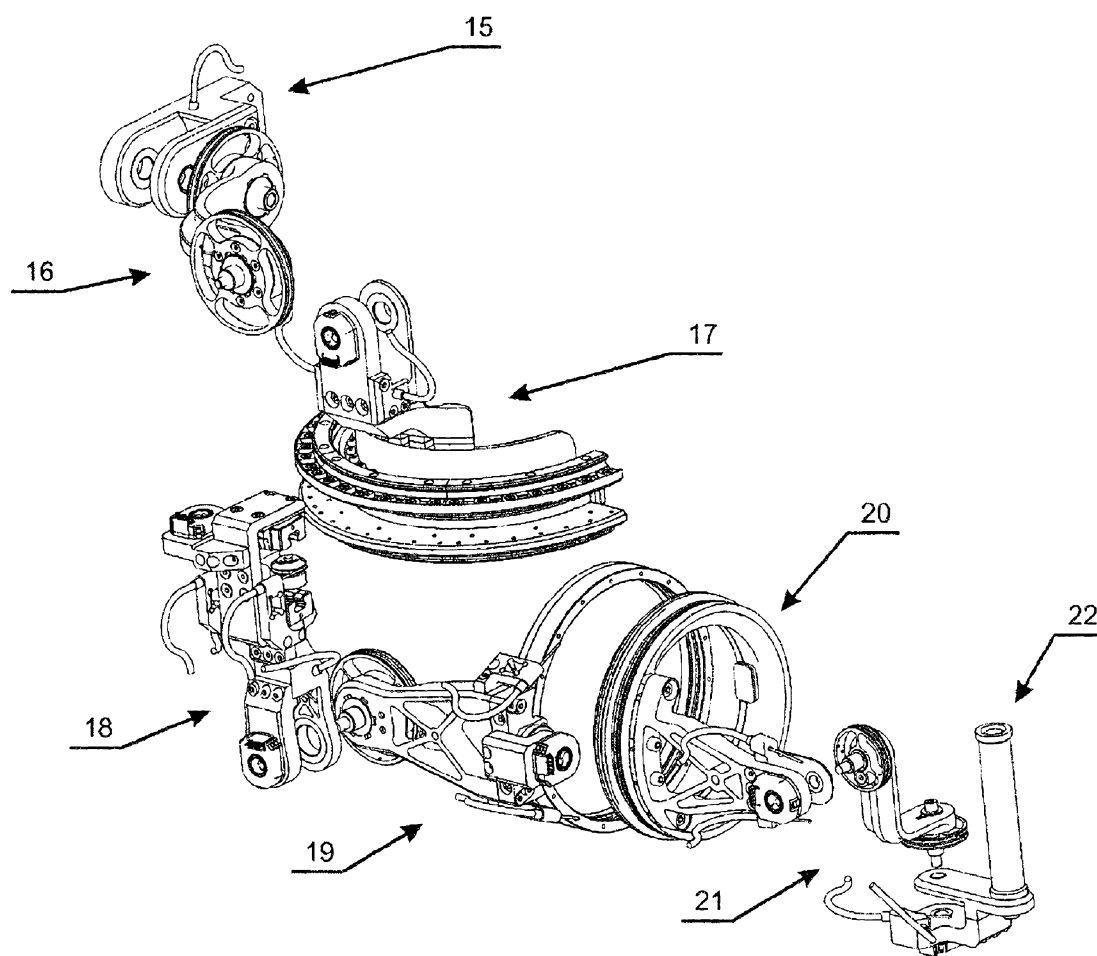


Fig. 4

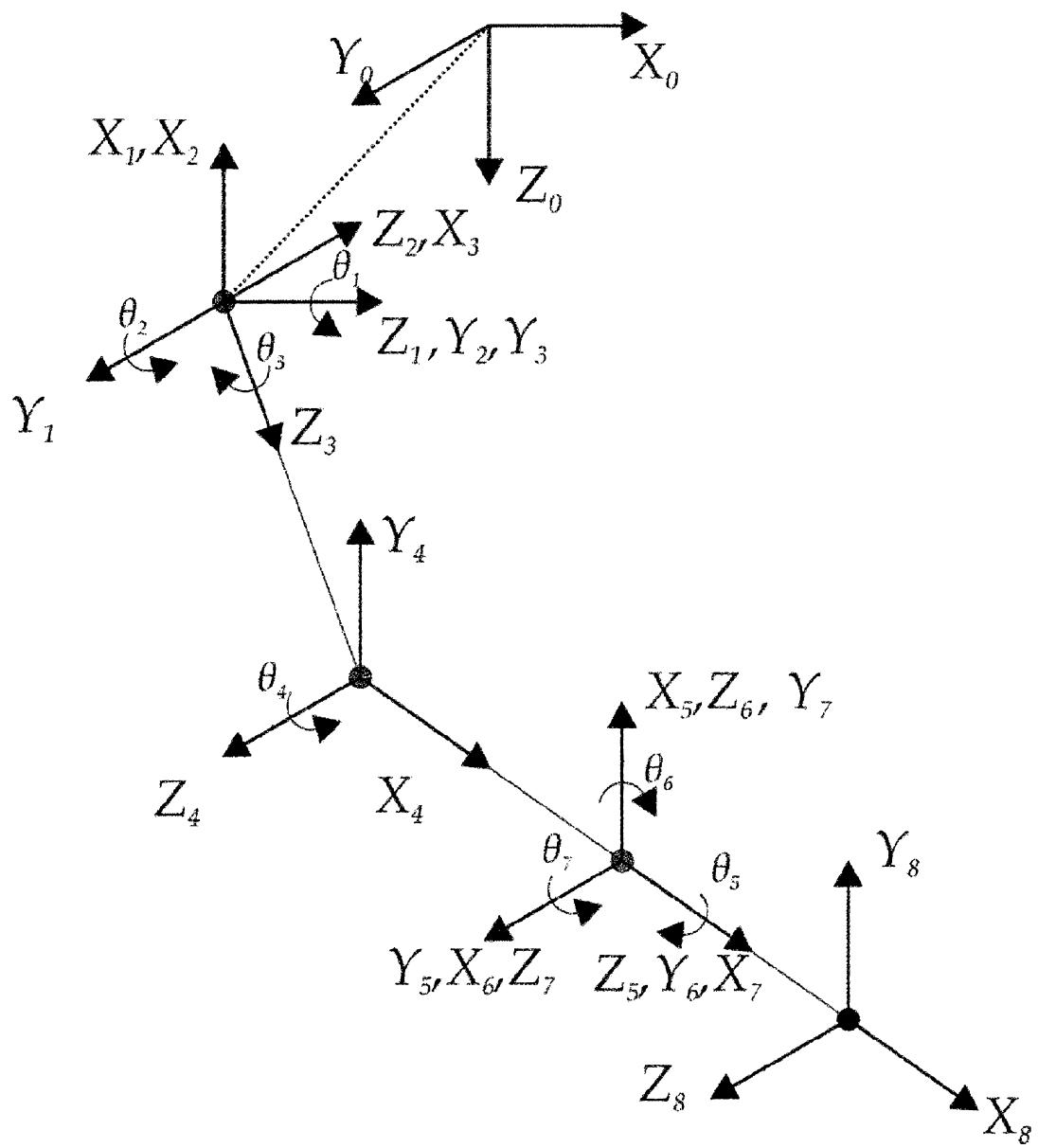


Fig. 5