

STUDY ON THE CONSTRUCTION AND OPERATION OF EXOSKELETON EQUIPMENT

POPESCU Doina-Maria

Facultatea: Inginerie Industrială și Robotică, Specializarea: Consultanță în proiectarea sistemelor mecanice, Anul de studii: I, e-mail: popescudoinamaria@gmail.com

Conducător științific: Conf.dr.ing. **Iulian TABĂRĂ**

ABSTRACT: In this paper, I present some exoskeleton models that have developed since 1960 to the present day. I present types of medical systems, used on patients who have had accidents or neurological disorders. For these patients, the exoskeletons are enhancers of strength and precision of specific movements of man, and this helps a lot to recover muscle tone, and also for the return of self-confidence and mental comfort. Hardiman, the exoskeleton studied from 1960 to 1971, was stopped, although the goal was to increase a man's power 30 times, because it was difficult to control both because of the very high weight of 380 kg and the lack of accuracy. Exercises performed with passive type exoskeletons, strengthen muscles, while the use of active ones, involves a protection of the muscles by their total non-involvement in the activity. I studied the movement of the lower limb for genuflexions, and I did the simulation of a quadrilateral mechanism with arches in SolidWorks, assisted by Mr. Ion Murzac. Finally, I talk about the March VI project, participant in Cybathlon at Zurich.

CUVINTE CHEIE: exoschelet, cuplă de rotație, cuplă de translație, mecanism patrulater, articulații.

1. Introducere

Exoscheletul este numit un cadru sau costum exterior, care permite unei persoane să facă acțiuni cu adevărat fantastice: ridicarea unor obiecte grele, alergare cu o viteză mai mare, efectuare de salturi uriașe, etc. Aceste sisteme mecanice, sunt proiectate cu obiectivele principale de a ajuta o persoană să efectueze acțiuni mortice cu precizie și forță mai mare decât cele specific potențialul fizic susținut de proprii mușchi. Exoscheletele sunt prevăzute cu senzori, care preiau impulsurile de la mușchi, pentru a controla mișcarea în direcția dorită și cu forța dorită. Exoscheletele sunt utilizate atât în domeniul medical cu scopul recuperării motorii ale pacienților ce au suferit diferite afecțiuni prin accidente fizice sau cerebrale, cât și în domeniul industrial sau militar, pentru a micșora efortul fizic necesar desfășurării anumitor activități fizice specific acestor domenii.

2. Descrierea unor tipuri de exoschelete

Primul Exoschelet a fost dezvoltat în comun de General Electric și Statele Unite în anii 60, numit Hardiman. Scopul era acela de a mări potențialul efortului fizic al unei persoane de cel puțin 30 de ori, astfel încât o persoană echipată cu acest exoschelet să poată ridica cel 1500 kg. A fost nepractic datorită masei sale semnificative de 680 kg (vezi figura 1). Proiectul nu a avut succes. Orice încercare de a folosi toate la intensitate maximă acest exoschelet, s-a încheiat cu o mișcare intensă necontrolată. Fiind un proiect ineficient, acesta a fost stopat în 1971. În urma acumulării de cunoștințe necesare și a avansării tehnologiei, s-a reușit realizarea primelor exoschelete pentru asistență de mers la Institutul Mihajlo Pupin Serbia, iar la începutul anilor '70 la Universitatea din Wisconsin-Madison din SUA. Printre primele exoschelete scoase pe piață, este exoscheletul Lokomat, care a fost lansat în 2001 și este utilizat în spitale și centre de reabilitare din întreaga lume.



Fig. 1. Exoscheletul Hardiman, 380 kg

Cercetările au continuat în vederea optimizării echilibrului gravitațional și realizarea unui design care să permită o greutate cât mai mică, pentru a putea fi mai ușor de manipulat.

Modele de exoschelete pentru echilibrarea gravitațională folosesc inteligent contragreutăți, arcuri și paralelograme auxiliare.

Matematic, echilibrarea gravitațională ar putea fi definită în diferite moduri și s-ar putea veni cu o metodă pentru fiecare definiție.

1) Echilibrarea gravitațională ar putea fi realizată prin fixarea centrului de masă al mecanismului, prin utilizarea unui mecanism de paralelogram (vezi figura 2) [1].



Fig. 2. Sistem exoschelet pasiv

2) S-ar putea realiza și făcând constantă energia potențială totală pentru toate configurațiile, prin utilizarea arcurilor în mecanism astfel încât suma energiei potențiale gravitaționale și a energiei potențiale să rămână constantă.

3) O altă modalitate este prin distribuție egală de masă în jurul suportului folosind contra-greutăți. Dispozitivul propus se încadrează în categoria exoschelete pasive.

4) Metoda de echilibrare a gravitației prin mecanismul plan cu arcuri împreună cu mecanismul paralelogram este o metodă hibridă care are avantajul că proiectarea ar putea fi utilizată pentru a echilibra

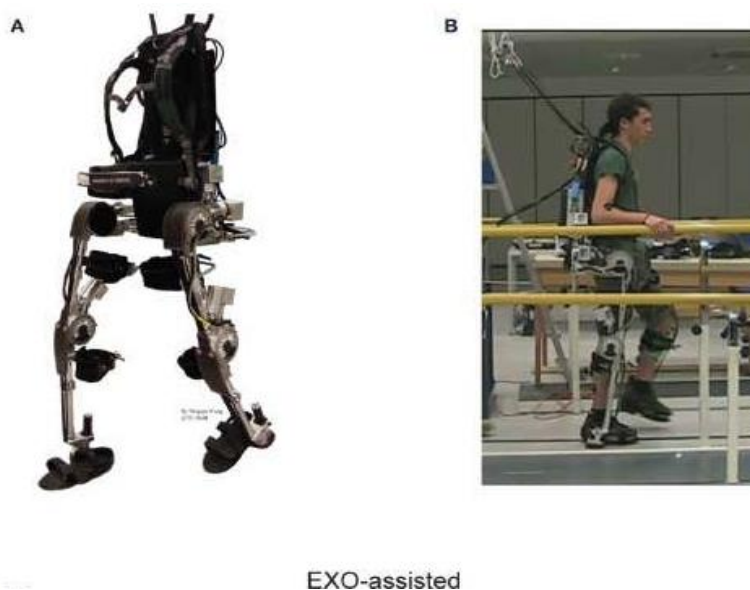
gravitația mecanismului în mai multe planuri (spatial). În situațiile terapeutice, terapeuții aplică adesea integral sau parțial sprijin la un membru afectat sau în unele cazuri la trunchi, pentru a ajuta la reducerea efectului gravitației asupra mișcării pacientului. Acest lucru este extrem de dificil de realizat în timpul unei activități dinamice precum mersul pe jos, unde greutatea piciorului poate crea probleme pentru pacientul ai cărui mușchi sunt slabi sau lipsiți de control neuromuscular datorat unei afecțiuni neurologice [2].

După studii, un prototip s-a fabricat din aluminiu astfel ca după aceea să fie efectuate experimente pentru a determina eficacitatea dispozitivului (vezi figura 3).



Fig. 3. Exoschelet mechanism patrulater cu arce

Un dispozitiv a fost dezvoltat folosind o metodă hibrid, care să poată echilibra greutatea piciorului într-o configurație totală, adică din punct de vedere tehnic, pune piciorul într-o stare de echilibru neutru. Împreună cu o bandă de alergare și deasupra capului sisteme de susținere prin cabluri s-a creat astfel, un bun dispozitiv de reabilitare vezi (figura 4).



EXO-assisted

Fig. 4. Exoschelet asistat prin cabluri de susținere

3. Ecuatii

Simularea numerică a parametrilor cinematici de poziție în cazul efectuării de genoflexiuni (vezi figura 5), sunt:

$$\begin{cases} L = x_1 \cdot \sin \theta_h + x_2 \cdot \sin \theta_k \\ H = x_1 \cdot \cos \theta_h + x_2 \cdot \cos \theta_k \end{cases} \quad (1)$$

Consider L = lungimea pasului și H înălțimea la care se ridică punctul corespunzător articulației de la gleznă în efectuarea mișcării.

Rezolvând două sisteme cu necunoscutele θ_h și L în două situații diferite, se pot analiza elementele mișcării.

Pentru sistemul S_1 consider:

$$\theta_h = u - \text{necunoscută}, \theta_k = 90^\circ, x_1 = 0,45m, x_2 = 0,395m, H = 0m, L = \text{necunoscută} \quad (2)$$

Sistemul S_1 devine:

$$\begin{cases} L = 0,45 \cdot \sin u + 0,395 \cdot \sin 90^\circ \\ 0 = 0,45 \cdot \cos u + 0,395 \cdot \cos 90^\circ \end{cases} \Rightarrow \cos u = 0 \Rightarrow u = 90^\circ, L = 0,845m \quad (3)$$

Pentru sistemul S_2 consider:

$$\theta_h = u - \text{necunoscută}, \theta_k = 60^\circ, x_1 = 0,45m, x_2 = 0,395m, H = 0m, L = \text{necunoscută} \quad (4)$$

Sistemul S_2 devine:

$$\begin{cases} L = 0,45 \cdot \sin u + 0,395 \cdot \sin 60^\circ \\ 0 = 0,45 \cdot \cos u + 0,395 \cdot \cos 60^\circ \end{cases} \Rightarrow \cos u = -0,438845, L = 0,74642263m \quad (5)$$

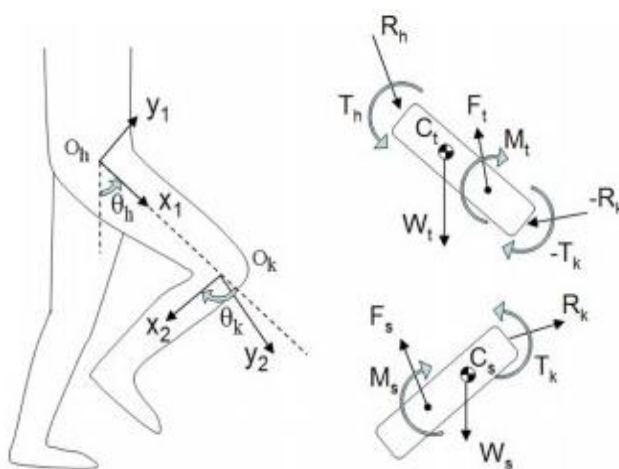


Fig. 5. Axele față de care se face analiza mișcării

4. Aport personal

Am realizat modelarea în SolidWorks a prototipului patruleter din lemn cu prinderi în șiruburi și fixări cu șaibe (vezi figura 6).

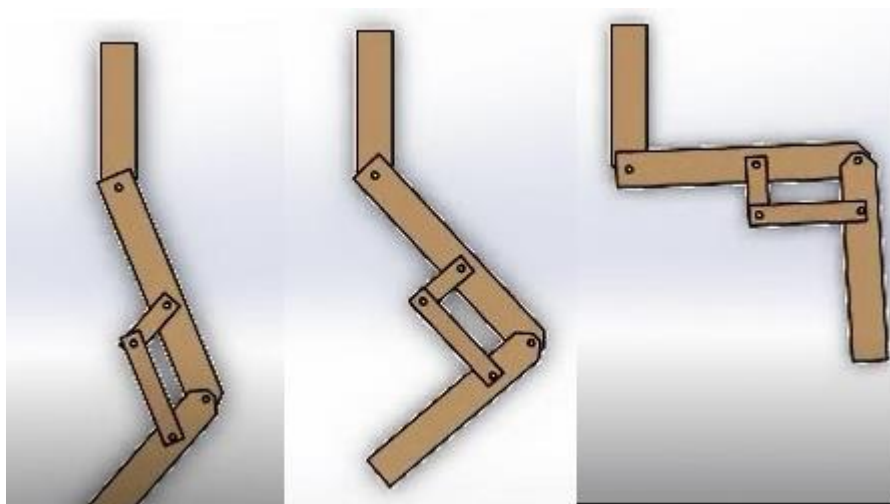


Fig. 6. Prototip mecanism patruleter din lemn

Am realizat prototip mecanism patruleter cu arcuri din aluminiu, cuple cu cilindru și rulmenți (vezi figura 7).

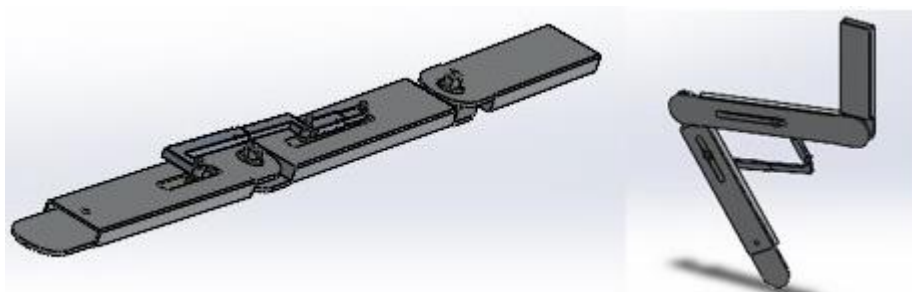


Fig. 7. Mecanism patruleter din aluminiu cu bile

5. Stadiul actual

La momentul present, începând din 2016, se organizează în fiecare an la Zurich o expunere a noilor modele de exoschelete, care vin cu îmbunătățiri la modelele lor mai vechi, iar odată la patru ani, se organizează concursul CYBATHLON ETH. Ideea Cyathlon este ca Jocurile Olimpice, acesta va avea loc la fiecare 4 ani în Zurich. Între aceste competiții anuale cvadrimore există un spin-off anual. Competițiile anuale Cyathlon se organizează în fiecare an cu probe diferite, astfel că echipele sunt provocate să continue să inoveze modelul de exoschelet pentru a participa din nou anul următor. Proiectul MARCH este singura echipă participantă formată în întregime din studenți, iar la ediția 2016 a câștigat locul [4].

Cuplele cinematice ale exoscheletului sunt elementele care permit exoscheletului să se miște, similar cu mușchii corpului uman. Exoscheletul MARCH VI are opt articulații active (vezi figura 8), care sunt fiecare responsabile pentru mișcări diferite:

- două cuple în fiecare șold, de asemenea, numit Hip Abduction & Adduction (HAA) și Hip Flexion & Extension(HFE).
- câte o cuplă la fiecare genunchi, care permite genunchiului să se îndoaie Flexion Knee & Extension (KFE)
- câte o cuplă la fiecare glezna, care permite ca glezna dorsiflexie și flexie plantară, glezna Dorsi- & Plantarflexion(ADPF).

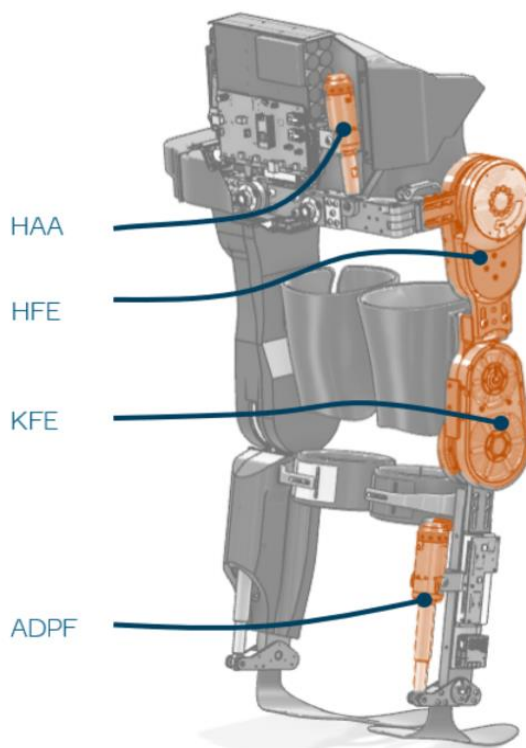


Fig. 8. Prototipul March VI, vedere de ansamblu a cuplelor

În proiectarea articulațiilor, au fost avute în vedere trei obiective cheie:

- siguranța pilotului, prin realizarea unui design robust și manipularea gamei de mișcare a îmbinărilor pilotului, pentru a nu roti un genunchi sau șoldul în toate direcțiile sau îndoi prea mult.
- crearea unui design care să permită o gamă de mișcări necesare pentru a obține un model de mers pe jos asemănător omului.
- estetica articulațiilor astfel ca acestea să fie solide și elegante. Îmbunătățirile față de celelalte modele din proiectul March a constat în re-proiectarea articulațiilor de rotație ale genunchiului și șoldului, efectuând calcule, realizând noul design, proiectarea modelului 3D și realizarea documentației tehnice.

Distingem două tipuri de cuple, de rotație (vezi figura 9) și de translație (vezi figura 10).

- actuatorii din cuplele de rotație conduc articulațiile HFE și KFE și realizează rotația genunchiului și a șoldului, permițându-le să se flexeze și să se extindă. Aceste cuple au fost proiectate pentru a le face mai puternice și mai subțiri.
- cuplele de translație conduc articulațiile HAA și ADPF. Actuatorul din cupla de translație HAA permite exoscheletului să facă un pas lateral, iar actuatorul din cupla de translație ADPF asigură gleznei să aibă dorsiflexie și flexie plantară. Actuatorii din cuplele de translație au fost aleși, deoarece nu a fost suficient spațiu și ambele articulații având un unghi mic de rotație, o articulație de rotație nu a fost deosebit de necesară.



Fig. 9. Cuplele de rotație și translație

6. Concluzii

Sistemele mecanice de tip exoschelet, reprezintă un domeniu de interes științific foarte mare, acestea fiind gândite ca amplificatoare ale forței și preciziei mișcărilor omului. La momentul actual, sunt foarte necesare pentru reabilitarea pacienților cu afecțiuni neurologice sau cu probleme locomotorii cauzate de accidente. Deasemenea, foarte multe tipuri de exoschelete sunt utilizate de muncitori care efectuează lucrări pentru care forța este amplificată cu ajutorul echipamentelor de tip exoschelet. În 2017 Ford testează un model de exoschelet, iar în 2018 extinde utilizarea în mai multe fabrici. Audi în 2018 achiziționează costume exoschelet pentru angajații fabricilor sale. Nu în ultimul rând, exoscheletele sunt extrem de utile în operațiuni militare precum și în acțiuni de explorare a spațiului cosmic, prin capacitatea de adaptare la gravitația specifică planetei pe care se dorește explorarea. Calitatea vieții umane este îmbunătățită pe foarte multe arii, datorită funcțiilor extraordinare pe care le au aceste sisteme robot.

7. Bibliografie

- [1]. Delft University of Technology, (2021, April), Project MARCH team 2021-2022, *Project MARCH team van komend academisch jaar*. Preluat în 2021 de pe <https://www.projectmarch.nl/en/march-vi-exoskeleton>
- [2]. Departamentul de Inginerie Mecanică, Universitatea din Deaware, Newark, De 19716, (2004, April 1), "A Gravity Balancing Leg Orthosis for Robotic Rehabilitation", (0.-7.-8.-3. ©. IEEE, Ed.) *International Conference on Robotics & Automation*, pp. 2474-2479.
- [3]. Sylos-Labini, F. (2014, June 16), "EMG patterns during assisted walking in the exoskeleton", *Frontiers in Human neuroscience*, 8(423), p. 12.
- [4]. Ienca, M. (2020, September 18), "Design etic în ingineria reabilitării și tehnologia sănătății", *Cyathlon ETH Zurich*. Preluat de pe <https://cyathlon.ethz.ch/en/projects-events/symposium>
- [5]. Agrawal, S. K. (2007, September 3), "Assessment of Motion of a Swing Leg and Gait Rehabilitation", *IEEE Transactions on neural systems and rehabilitation engineering*, pp. 410-419.