

STUDII SI EXPERIMENTARI PRIVIND REALIZAREA UNUI SISTEM ROBOTIZAT CU ACTIONARI PARALELE PRIN CABLU PENTRU ACHIZITIONAREA DE IMAGINI PANORAMICE SI DE DETALIU

HARABARA Victor¹

Conducător științific: Prof. dr. ing. Adrian NICOLESCU

REZUMAT: Sistemul robotizat cu acționare prin cablu (numit și "cable-suspended robot" sau "wire-driven robot") este un tip de manipulator paralel în care cablurile flexibile sunt folosite ca dispozitive de acționare. Robotica pentru aplicații sociale este un domeniu de interes în creștere în ultimele decenii. În special, în această lucrare se va prezenta un studiu pentru introducerea unui sistem robotizat ca parte a unei echipe de filmare la un meci de fotbal.

CUVINTE CHEIE: Robot industrial, Automatizare, Roboți paraleli, Comanda numerică, Robot cu cablu

INTRODUCERE

Ultimele tendințe în robotică arată modul în care roboții viitorul va interacționa mai profund cu oamenii pentru mulți sarcini. Robotica pentru aplicații sociale este un domeniu de interes în creștere în ultimele decenii. În special, în această lucrare se va prezenta un studiu pentru introducerea unui sistem robotizat ca parte a unei echipe de filmare la un meci de fotbal. Acesta ar permite captarea de imagini din cele mai avantajoase locuri. Roboții pot fi de asemenea folosiți pentru sarcini cum ar fi transportul de greutate și de a ajuta persoanele cu dizabilități în orice mediu. Roboți care interacționează cu oamenii ar trebui în primul rând, să îndeplinească cerințele de siguranță, acestea nu trebuie să fie prea voluminoase.

Sistemul robotizat cu acționare prin cablu (numit și "cable-suspended robot" sau "wire-driven robot") este un tip de manipulator paralel în care cablurile flexibile sunt folosite ca dispozitive de acționare. Un capăt al fiecărui cablu este depănat în jurul unui rotor răsucit de un motor, iar celălalt capăt este conectat la end-effector.

Un exemplu celebru de roboți cu cablu este SKYCAM care este folosit pentru a muta o camera suspendată pe stadioane. Cablurile sunt mult mai ușoare decât legăturile rigide ale unui robot de serie sau paralel, și cabluri foarte lungi pot fi folosite fără a face mecanismul masiv.

Ca rezultat, end-effectorul al unui robot de cablu poate realiza accelerații mari și viteze mari de lucru și într-un spațiu de lucru foarte mare (de exemplu, un stadion).

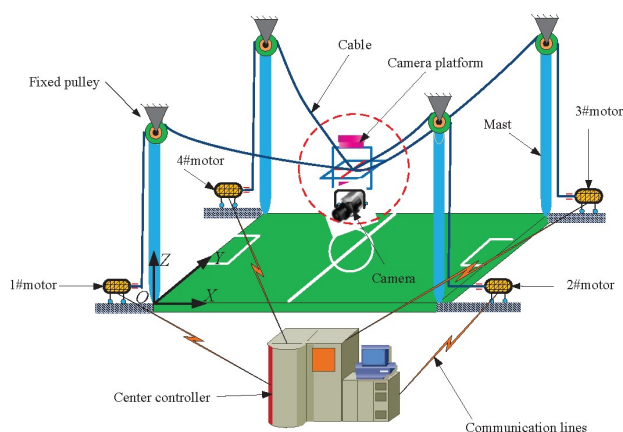


Fig.1: Reprezentarea schematica a unui manipulator paralel acționat prin cabluri pentru filmări în arii deschise.

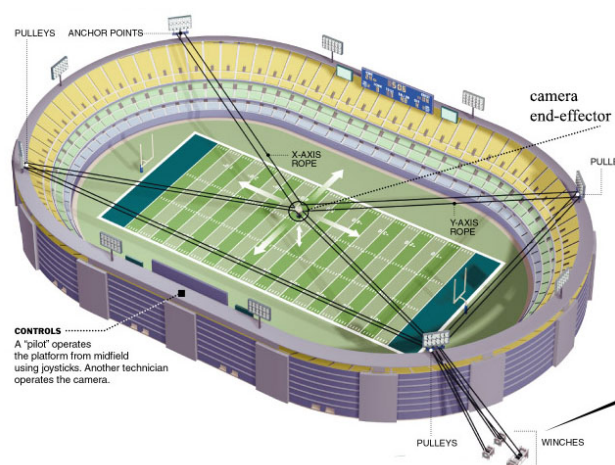
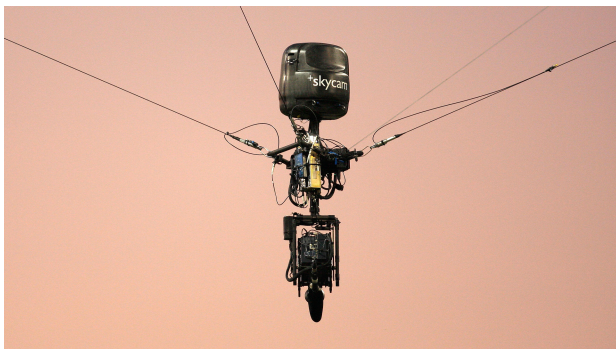


Fig.2: Reprezentarea unui sistem de filmat (manipulator paralel acționat cu cabluri) pe stadion

¹ Specializarea ROBOTICA, Facultatea IMST;

E-mail: victor_harabara@yahoo.com;



Analiza dinamică a roboților de cablu nu este aceeași cu cea al altor roboți paraleli deoarece cablurile pot doar trage un obiect, ele nu pot împinge. Prin urmare, manipulatorul este capabil de a efectua o sarcină numai dacă forțele în toate cablurile sunt non-negativ. Prin urmare, spațiul de lucru al roboților de cablu este definit ca o regiune în spațiu unde end-effectorul este capabil să exercite cheia necesară (forță și moment de vectori) pentru mediul înconjurător în timp ce toate cablurile sunt în tensiune (forțe non-negativ). Multe lucrări de cercetare s-au concentrat pe analiza spațiului de lucru și optimizarea de roboți de cablu (de exemplu, vezi [3] pentru o metodă de calcul și [1] pentru o metodă analitică de obținere a spațiului de lucru). Spațiu de lucru și controlabilitatea manipulatorilor de cablu poate fi îmbunătățită prin adăugarea de cabluri la structura robotului. În consecință, redundanța joacă un rol-cheie în proiectarea de roboți de cablu.

Cu toate acestea, analiza spațiului de lucru și de a obține tensiuni pozitive în cablurile unui manipulator cu cablu redundant poate fi complicată. În general, pentru un robot redundant, poate exista o soluție infinită, dar pentru un robot de cablu redundant este o soluție acceptabilă numai în cazul în care toate elementele vectorului tensiune sunt non-negativ.

Găsirea a o astfel de soluție poate fi o provocare, în special în cazul în care efectul final este de lucru de-a lungul unei traiectorii și o distribuție continuă și armonioasă a tensiunilor este de dorit în cabluri. În literatura de specialitate au fost prezentate mai multe metode pentru a rezolva astfel de probleme (de exemplu, în [3], este introdusă o metodă de

calcul bazată pe metoda Particle Swarm Optimization pentru a găsi soluții netede continue de-a lungul unei traiectorii pentru un robot prin cablu redundant).

PROTOTIPAREA LA SCARA A UNUI MANIPULATOR PARALEL ACTIONAT CU 4 CABLURI

În această etapă a lucrării va fi prezentată prototiparea la scară a unui manipulator paralel acționat cu 4 cabluri, care va fi utilizat la elaborarea algoritmilor de cinematică directă și inversă, controlul tensiunii din cabluri și testări.

Principalele specificații a prototipului:

- Dimensiunile cadrului 700 x 700 x 700 [mm]
- Actionarea cu motoare pas cu pas (stepper)
- Controller Arduino Mega
- Sarcina utilă 1kg

Configurarea sistemului:

Manipulatorul paralel acționat cu 4 cabluri este constituit din:

Structura rigidă, 4 vincluri cu motoare pas cu pas, sistemul de control (controllerul), sistemul de comandă (PC)

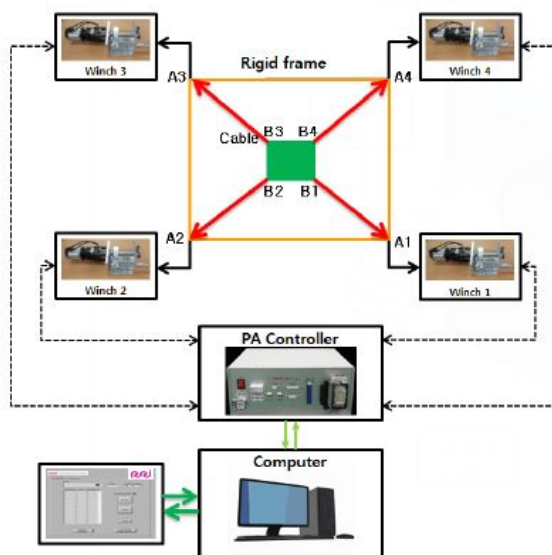


Fig. 3: Structura sistemului

1.1 Structura rigidă:

Aceasta este o structură simplă realizată din profile care va susține scripetii pentru suspendarea cablurilor.

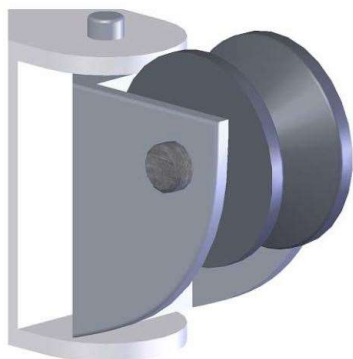


Fig.4. Scripete cu posibilitate de rotire la baza

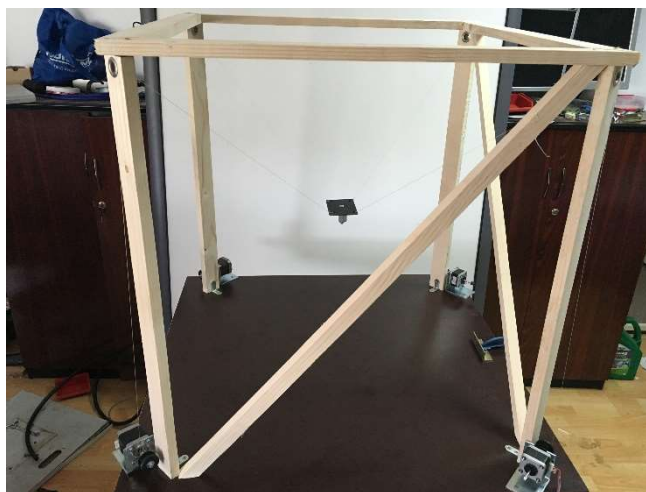


Fig5. Structura prototipului

1.2 Vincluri si motoare

Acesta este unitatea care va modifica lungimea cablurilor pentru realizarea deplasărilor și va susține greutatea cablurilor și a end-effectorului.

Tipuri de motoare utilizate la roboți:

- Servo motoare
- Motoare asincrone
- Motoare pas cu pas

Am ales utilizarea motoarelor pas cu pas (de acestea aveam recuperate din imprimante).

Pentru o înfășurare mai sigură a cablului acesta este cu înfășurare asistată pe tabur.

Au fost studiate 2 variante de înfășurare asistată:

Cu înaintarea cablului la înfășurare

Cu înaintarea taburului în timpul înfășurării

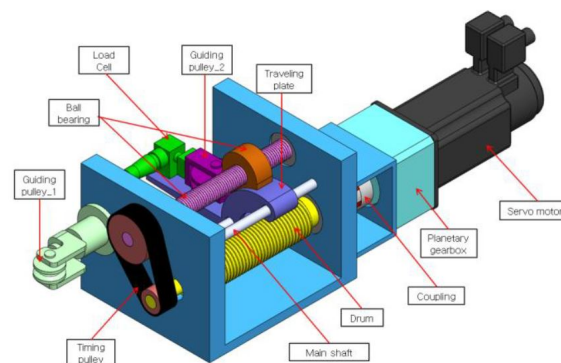


Fig. 6: Vinclu cu înaintarea cablului la înfășurare

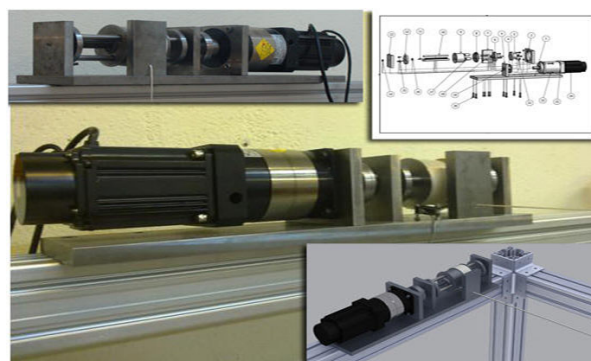


Fig. 7: Vinclu cu înaintarea tamburului în timpul înfășurării

La această etapă a proiectului vor fi folosite vincluri improvizate pentru punerea în funcțiune a manipulatorului.



Fig.8 : Motoarele pentru prototip

Pentru următoarea etapă a proiectului va fi implementată varianta de vinclu cu înaintarea cablului în timpul înfășurării.

1.3 Sistemul de control

Prototipul va fi controlat de placa de dezvoltare ARDUINO Mega 2560 și 4 drivere A4988 Stepper Motor Driver STEP DIR pentru motoare pas cu pas.

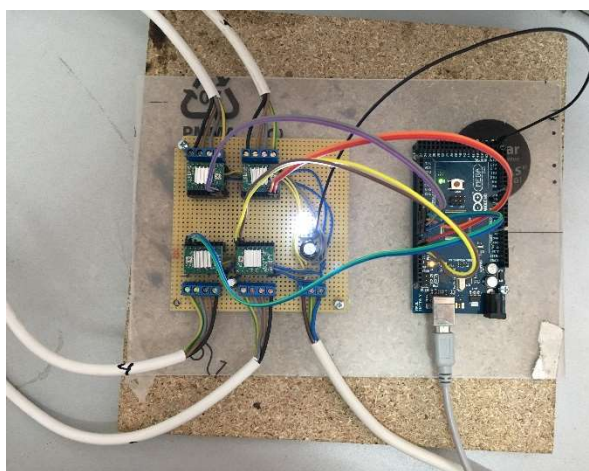


Fig.9 : Sistemul de control

În această fază sistemul este Open Loop

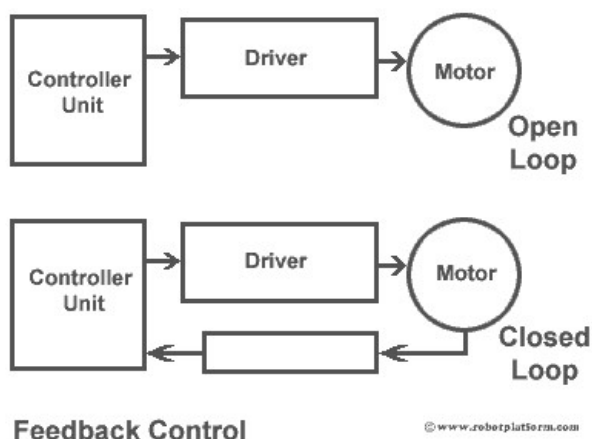


Fig 10: Tipul sistemului de control

Pentru viitor vor fi montate encodere de rotație, care transformă unghiul de rotație într-un număr caracteristic de impulsuri, care va însemna variația lungimii cablurilor pentru a asigura bucla închisă și precizia sistemului de control.



Fig. 11: Encodere de rotație

1.4 Sistemul de comandă

Acesta va reprezenta unitatea PC și softul de comandă bazat pe LinuxCNC cu modul de cinematică dedicată.



Fig. 12: Sigla softului de comandă.

CALCULUL PRIMAR PENTRU ALEGEREA MOTOARELOR ȘI A CABLURILOR

O analiză statică trebuie efectuată în scopul de a decide în mod corespunzător dimensionarea elementelor de acționare și cablurilor propuse pentru manipulator. În special, cele două cabluri sunt conectate la un singur capăt la efectul final, așa cum se arată simplificat schema din Fig. 13, în cazul în care m este cu masa efectului final, plus sarcina utilă.

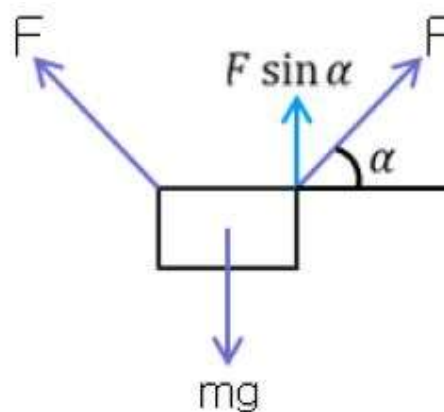


Fig.13 Schema simplificată bi-dimensională

Pentru aceste condiții, fiecare cablu este încărcat de o tensiune F a cărei direcție este înclinată cu un

unghi de α față de planul orizontal. Acest lucru, se poate scrie

$$2F \sin\alpha = mg + ma \quad (1)$$

O F_{nec} maximă este necesară, forța poate fi calculată ca în (2) pentru a satisface specificațiile de masa a end-effectorului. Cuplul necesar pentru dispozitivul de acționare poate fi calculată ca în (3), luând în considerare raza tamburului și raportul de transmisie.

$$F_{nec} = \frac{m(g+amax)}{2\sin\alpha_{min}} \quad (2)$$

$$\tau_{nec} = \frac{F_{nec} \cdot r}{G} \quad (3)$$

Acceleratia maxima si sarcina maxima se presupun a fi $2.5m/s^2$ si respectiv 1 kg . Raza tamburului de infasurare si raportul de trasmise la tambur sunt selectate pentru a $r = 40mm$ și $G = 5$, respectiv.

Este demn de remarcat faptul că, dacă α devine 0 cuplu necesar devine infinit. De fapt, în cazul în care toate cablurile sunt orizontale este un caz singular, în care toate tensiunile din cabluri sunt ortogonale în raport cu forța dată de gravitație (mg). Presupunând că $\alpha_{min} = 20$ grade, putem obține $Freq = 90N$ și $treq = 0.072Nm$.

Astfel, pentru considerațiile de mai sus menționate fiecare cablu ar trebui să producă o forță mai mare decât circa 90 N și fiecare dispozitiv de acționare are un cuplu nominal de aproximativ $0,1 \text{ Nm}$.

Aceste proprietăți pot fi realizate, la aceasta etapa a proiectului cu GUTA pe post de cablu si motoare pas cu pas cu acționare directa la tambur.

4. CINEMATICA

O schemă cinematică a manipulatorului paralel cu 4 cabluri este prezentată în Fig. 14. Două sisteme de referință au fost luate în considerare, și anume Oxy este referința fixa, atasata cadrului și $Ox'y'$ este referința in miscare atasata partii mobile. Punctele A_i , (Pentru $i = 1, \dots, 4$) se află pe fața superioară, care are o formă pătrată cu dimensiunile L , așa cum se arată în Fig. 14.

Conform schemei propuse, lungimile cablurilor au fost indicate cu l_i ($i = 1, \dots, 4$). Cablurile sunt conectate la efector final prin intermediul a două punctele de prindere A și B , ale căror coordonate, în

raport la cadrul fix sunt date de (x_A, y_A) și (x_B, y_B) , respectiv. Dimensiunea partii mobile este $2h$ și centrul său din masa G este situat la punctul O' . Originea O a sistemului fix de coordonate a fost aleasa sa coincida cu punctul A_1 și originea O' a cadrului în mișcare a fost aleasă ca coincident cu punctul G , ale căror coordonate sunt (x_G, y_G) . Punctul G este situat în centrul de masă al efector final.

Poziția end-effector-ului este dată de poziția punctului G și unghiul θ , care este unghiul dintre x și x' .

Problema cinematicii inverse a manipulatorului paralel cu 4 cabluri poate fi formulata ca calcularea lungimi de cablu l_i ca funcție de efector final. Constrângeri adecvate sunt din cauza poziției punctului G , ale căror coordonate x_G și y_G trebuie să se încadreze în limitele

$$h \leq x_G \leq L-h \text{ și } 0 \leq y_G \leq L;$$

și valoarea maximă pentru θ pentru Poziția dată punctului G , [5]. Limitarea pentru unghiul θ este legate de cabluri, care pot decit trage efectorul final nu si a-l impinge. Problema cinematicii inverse a manipulatorului paralel actionat cu 4 cabluri poate fi formulata astfel:

$$\begin{aligned} l_1 &= \sqrt{x_A^2 + y_A^2}; \\ l_2 &= \sqrt{x_A^2 + (L - y_A)^2} \quad (4) \\ l_3 &= \sqrt{(L - x_B)^2 + y_B^2}; \\ l_4 &= \sqrt{(L - x_B)^2 + (L - y_B)^2} \end{aligned}$$

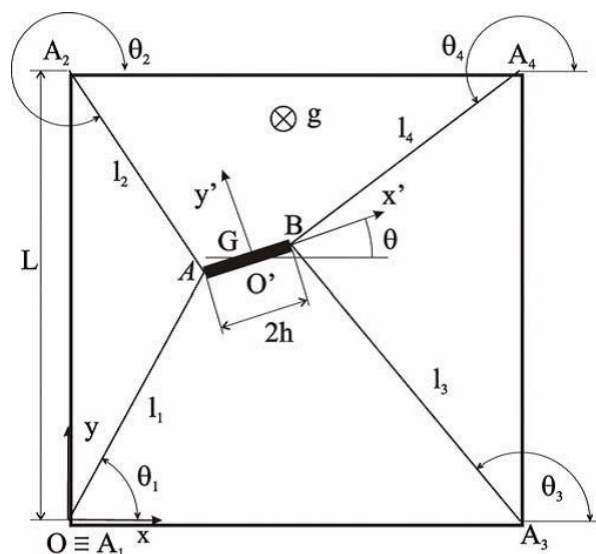


Fig.14 : Schema unui manipulator cu 4 cabluri si parametrii acestuia.

Unde (5)

$$x_A = x_G + h \cos(\theta + \pi); \quad y_A = y_G + h \sin(\theta + \pi);$$

$$x_B = x_G + h \cos(\theta); \quad y_B = y_G + h \sin(\theta + \pi);$$

Configuratia unghiulara θ_i a manipulatorului prezentata in fig. 14 poate fi exprimata ca:

$$\theta_1 = \arctan\left(\frac{y_A}{x_A}\right); \quad \theta_2 = \arctan\left(\frac{L-y_A}{x_A}\right);$$

$$\theta_3 = \pi - \arctan\left(\frac{y_B}{L-x_B}\right); \quad (6)$$

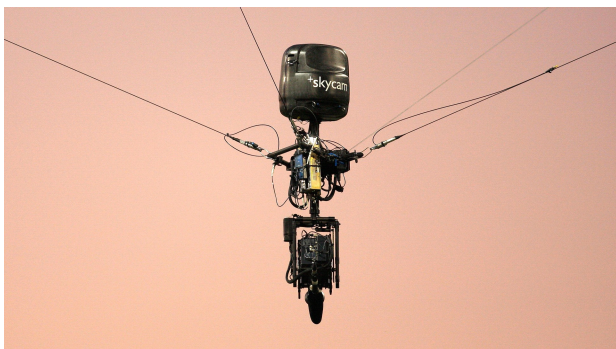
$$\theta_4 = \pi + \arctan\left(\frac{L-y_B}{L-x_B}\right);$$

5 APLICATII SI AVANTAJE A MANIPULATOARELOR PARALELE ACTIONATE CU CABLU

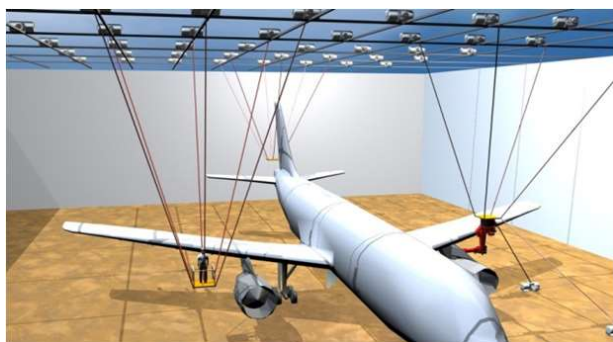
Manipuloarele paralele au o raspindire larga nu doar in unitati de productie dar sfera sociala.

Exemple de utilizare a manipuloarelor paralele actionate cu cablori pot fi foarte multe unele din ele sunt:

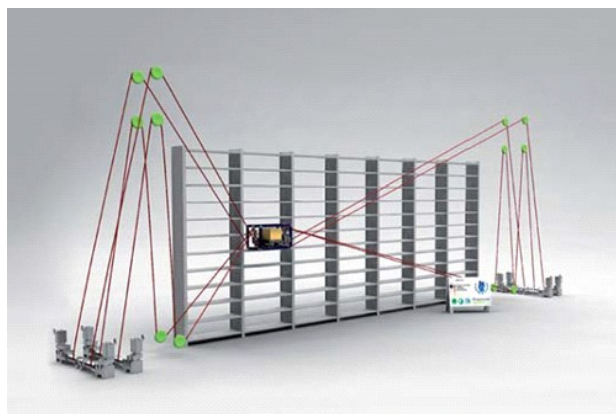
Sistem de achizitionare imagini pe un stadion/ arie extinsa; SkyCAM



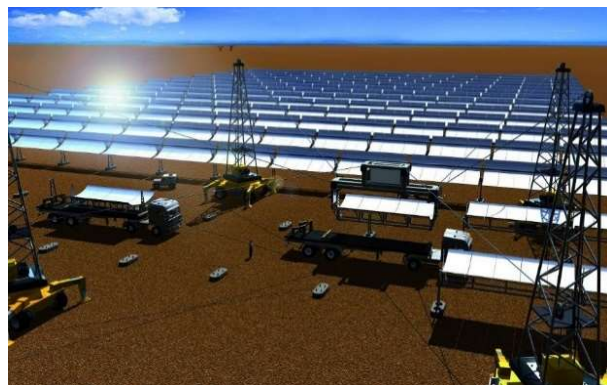
Sisteme de manipulare in cadrul productiei de aeronave, manipulare piese de dimensiuni mari CableBOT



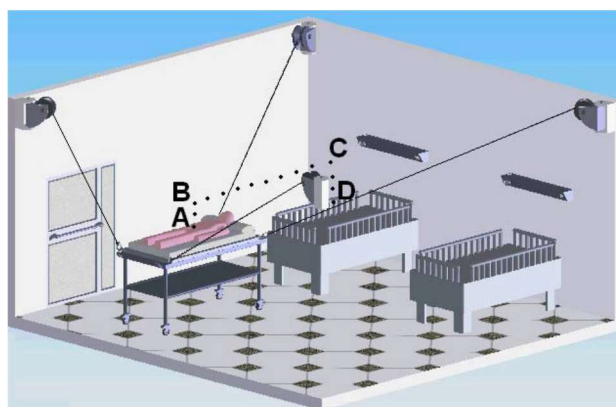
Sisteme de depozitare automate



Constructii



Asistare



Simulatoare



Avantajele de roboți paralele bazate pe cabluri

Manipuloarele paralele actionate cu cable sunt nu numai robuste dar, de asemenea, portabile și pot fi puse în aplicare în mod flexibil. Acest lucru le

permite să fie utilizate într-o gamă largă de medii de lucru. În funcție de aplicație, un spațiu de lucru de până la 100m x 100m x 30m este realizabil.

Transmisia eficientă a puterii prin intermediul cablurilor și utilizarea vinciurilor cu macara permit fiecărui cablu să suporte o sarcină de până la câteva tone. În același timp pentru aplicații de masă mică se pot obține viteze foarte mari de deplasare.

În aplicațiile în care siguranța este un factor critic, cum ar fi atunci când ridicarea sarcinilor extrem de grele sau fragile, cabluri suplimentare pot fi adăugate cu ușurință pentru a oferi o protecție mai mare împotriva eșecului componentelor individuale. În mod alternativ, spațiul de lucru poate fi prelungit. Acest lucru permite procese de fabricație și aplicații sociale care implică componente foarte mari pentru a fi automatizate, cum ar fi lamele rotorului pentru turbine eoliene sau aeronave fuzelaje.

CONCLUZII

Manipulatoarele paralele acționate prin cabluri sunt un domeniu important în dezvoltarea roboților industriali și sociali, acestea au un viitor strălucit datorită mobilității acestora și varietății mari de aplicații.

MULȚUMIRI

Vreau să mulțumesc **Eurodidactica SRL** pentru acordarea spațiului de lucru în care am realizat acest proiect.

End Effector”, In Proceedings of the ASME 2010, 10th Biennial Conference on Engineering Systems Design and Analysis, ESDA2010, Istanbul, Turkey, vol. 3, pp. 799-808.

[2]O. Saber (2014), “A Spatial Translational Cable Robot”. Journal of Mechanisms and Robotics (ASME), DOI: 10.1115/1.4028287.

[3] O. Saber, H. Zohoor (2013), “Workspace Analysis of a Cable-Driven Robot with Active/Passive Cables”, In Proceedings of the 37th Mechanisms and Robotics Conference, ASME International Design Engineering Technical Conferences, (IDETC/CIE), August 4-7, Portland, OR, DETC2013-12646.

[4] S. Abyaneh, O. Saber, H. Zohoor (2013), “A Cable Driven Grasping Mechanism Using Lock/Unlock Constraints”, In Proceedings of the ASME International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference (IDETC/CIE), August 4-7, Portland, OR, DETC2013-13109.

[5]Paone A.,”Design and Experimental Validation of a Cable Driven Parallel Manipulator”, Master Thesis, LARM, University of Cassino, 2004.

[6] Four-cable-driven parallel robot XueJun Jin¹, Dae Ik Jun¹, Andreas Pott², Sukho Park¹, Jong-Oh Park^{1*} and Seong Young Ko^{1*}

[7] A Low-Cost Easy Operation 4-Cable Driven Parallel Manipulator Erika Ottaviano, Marco Ceccarelli, Alessio Paone and Giuseppe Carbone

[8] A 4-4 Cable-Based Parallel Manipulator for an Application in Hospital Environment E. Ottaviano*, M. Ceccarelli and M. De Ciantis

[9] <http://www.arduino.cc/en/Reference>

BIBLIOGRAFIE

[1]O. Saber, S. Abyaneh, H. Zohoor (2010), “A Cable-Suspended Robot with a Novel Cable Based