

ANALIZA COMPARATIVĂ A UNOR PREHENSOARE ANTROPOMORFE PENTRU IDENTIFICAREA UNEI VARIANTE OPTIME

Dr. ing. Marian BOLBOE¹, Prof. univ. dr. ing. Eur Ing. Ionel STAREȚU²

¹INA Schaffler Braşov, ²Universitatea „Transilvania“ din Braşov

REZUMAT. Prehensiunea este deosebit de importantă în operațiile de manipulare și mai ales montare robotizată. Prehensiunea unor piese de forme și configurații variate a necesitat trecerea de la prehensoarele cu bacuri la prehensoarele antropomorfe, cu degete. În ultimii ani s-au realizat și experimentat un număr important de astfel de prehensoare, fără a se obține variante relativ simple, fiabile și la prețuri reduse, ceea ce a împiedicat multiplicarea aplicațiilor și utilizarea lor pe scară largă. Plecând de la această situație, în lucrare se prezintă o analiză comparativă a unor prehensoare antropomorfe reprezentative în scopul identificării caracteristicilor constructive și funcționale ale unui prehensor optimizat. În urma aplicării metodei de analiză multicriteriale se identifică particularitățile unui astfel de prehensor, pentru care se propune o schemă structurală și se prezintă proiectul CAD.

Cuvinte cheie: prehensiune robotizată, prehensor cu bacuri, prehensor antropomorf, analiză multicriterială, proiect CAD.

ABSTRACT. Prehension is particularly important in handling tasks and especially robotic assembly. The gripping of items with various shapes and configurations required the transition form of the grippers with jaws to the anthropomorphic grippers with fingers. A significant number of such grippers were made and tested in the last few years, but no relatively simple, reliable and low priced solution was found. This made the multiplication of applications and their widespread use impossible. Based on this situation, this paper presents a comparative analysis of anthropomorphic grippers, which are representative to identify structural and functional characteristics of an optimized gripper. After applying the multi-criteria analysis method, the features of such a gripper were identified, a structural scheme was proposed and a CAD project was presented.

Keywords: robotic gripping, gripper with jaws, anthropomorphic gripper, multi-criteria analysis, CAD project.

1. INTRODUCERE

Prehensiunea rămâne încă o problemă importantă în robotică și necesită cercetări și experimentări pentru conceperea unor variante de prehensoare performante și continuarea încercărilor de optimizare a procesului de prehensiune propriu-zis. După o perioadă (1980-2000) în care au predominat prehensoarele cu bacuri de tip clește [2, 12, 13], în special în aplicațiile roboticii industriale, în ultimii ani s-au multiplicat și diversificat preocupările pentru realizarea unor prehensoare antropomorfe (cu degete) cât mai performante [6, 14]. Din păcate au rezultat prehensoare deosebit de complicate, cu o funcționalitate teoretic ridicată dar cu fiabilitate scăzută și un preț ridicat. Acești doi ultimi factori au încetinit, chiar au stopat utilizarea pe scară largă a acestor prehensoare și trecerea reală și generalizată, de la prehensarea cu bacuri, limitată la o prindere simplă a unei game foarte restrânse de piese, chiar a unei singure piese, la prehensarea antropomorfă capabilă de a prehensa chiar de a micromanipula piese de forme și dimensiuni variate. În acest context este justificată încercarea de a concepe un prehensor care să aibă caracteristici

comune atât prehensoarelor cu bacuri (simplitate constructivă, robustețe, fiabilitate și un preț scăzut) cât și prehensoarelor antropomorfe (posibilități multiple de prehensiune). În această lucrare se prezintă un astfel de demers prin care în urma analizei comparative a unui număr semnificativ de prehensoare antropomorfe, pe baza unor criterii adoptate, se formulează particularitățile constructive și funcționale ale unui prehensor optimizat. Se prezintă aplicarea metodei analizei multicriteriale și proiectul CAD al prehensorului, urmând ca ulterior să se realizeze și să se testeze prototipul corespunzător.

2. ANALIZA COMPARATIVĂ A PREHENSOARELOR ANTROPOMORFE SEMNIFICATIVE

Pentru identificarea unei variante optime a unei structuri, produs oarecare, se pot folosi mai multe metode, cum ar fi: metoda Greedy [14]; metoda Backtracking; metoda Divide et Impera și metoda analizei multicriteriale [3]. Dintre aceste metode s-a

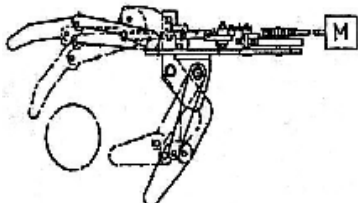
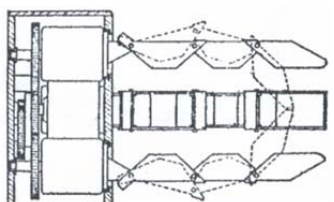
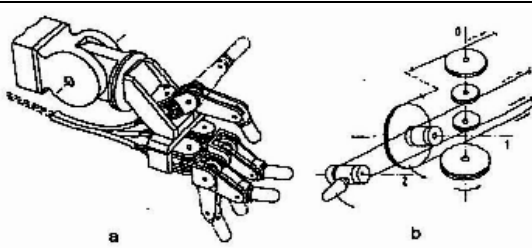
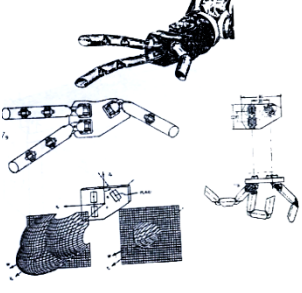
ANALIZA COMPARATIVĂ A UNOR PREHENSOARE ANTROPOMORFE

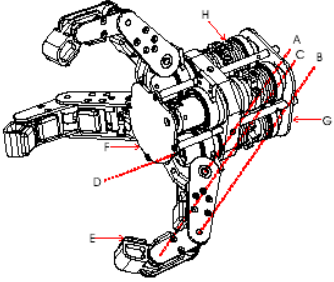


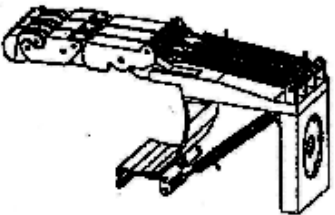

ales pentru a fi aplicată metoda analizei multi-criteriale [9]. Această metodă comparativ cu primele trei enumerate, ține cont de mai multe criterii de selecție, rezultând în final o variantă optimă sau un hibrid de variante, astfel încât se poate defini clar tema de proiectat. Criteriile adoptate pentru aplicarea acestei metode cu scopul obținerii unei structuri de prehensiune optimizate au fost: a) prehensur cu minim două și maxim patru degete, b) structura mecanică simplă, c) raportul dimensional între prehensur și mâna umană să fie 1:1, max. 1,5:1, d) posibilități de prehensiune suprafețe complexe, e) se preferă o structură tip paralelogram, cu bare articulate și două

falange/ deget (robust) și f) existența controlului în forță al prehensiunii (senzori).

S-au stabilit 16 variante de prehensoare antropomorfe considerate semnificative [6, 7, 12, 13, 14, 17], pentru care s-au identificat caracteristicile constructive și funcționale prin particularizarea următorilor parametri: 1) numărul de degete; 2) numărul de falange pe deget; 3) gradul de mobilitate; 4) elementele caracteristice falangelor; 5) manevrabilitatea degetelor; 6) energia de acționare; 7) traductoarele și senzorii; 8) masa manipulată; 9) proporția față de mâna umană și 10) masa proprie. Sistematizarea acestor date este prezentată în tabelul 1.

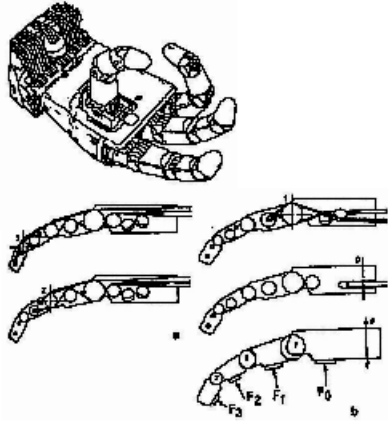


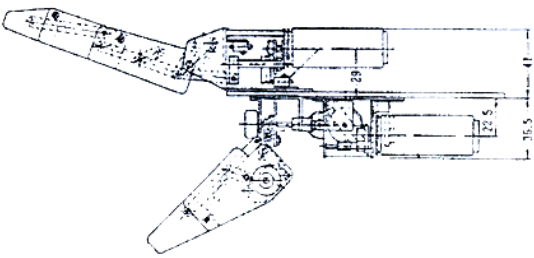

Tabelul 1

Nr. variantă	Varianta de analizat	Caracteristici
1	 <p>Prehensorul are două degete opuse, acționate de un singur element motor</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Numărul de degete = 2 2. Numărul de falange = 2 + 2 3. Gradul de mobilitate = 1 4. Elementele caracteristice falangelor = Bare articulate 5. Manevrabilitatea degetelor = Medie 6. Energia de acționare = Electrică 7. Traductoarele și senzorii utilizați = - 8. Masa manipulată = 4 - 6 kg 9. Proporția față de mâna umană = 1:1 10. Masa proprie = 2,5 kg
2	 <p>Degetele sunt dispuse triunghiular echilateral, fiecare deget fiind acționat independent</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Numărul de degete = 3 2. Numărul de falange = 3 + 3 + 3 3. Gradul de mobilitate = 1 + 1 + 1 = 3 4. Elementele caracteristice = Roți și fire 5. Manevrabilitatea degetelor = Medie 6. Energia de acționare = Electrică 7. Traductoarele și senzorii utilizați = - 8. Masa manipulată = 8 Kg 9. Proporția față de mâna umană = 1,3:1 10. Masa proprie = 4 kg
3	 <p>Degete dispuse triunghiular isoscel; fiecare deget are 3 cuple de rotație acționate independent.</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Numărul de degete = 3 2. Numărul de falange = 2 + 2 + 2 3. Gradul de mobilitate = 3 + 3 + 3 = 9 4. Elementele falangelor = Roți și fire 5. Manevrabilitatea degetelor = mare 6. Energia de acționare = Electrică 7. Traductoarele și senzorii utilizați = Traductoare de poziție și senzori tactili 8. Masa manipulată = 0,8 kg 9. Proporția față de mâna umană = 1:1 10. Masa proprie = 0,6 kg [11].
4	 <p>Trei degete dispuse triunghiular dreptunghic, degetele având la bază cupla sferică cu bolț.</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Numărul de degete = 3 2. Numărul de falange = 3 + 3 + 2 3. Gradul de mobilitate = 4 + 4 + 3 = 11 4. Elementele caracteristice = Roți și fire 5. Manevrabilitatea degetelor = f. mare 6. Energia de acționare = Electrică 7. Traductoarele și senzorii utilizați = - 8. Masa manipulată = 0,5 kg 9. Proporția față de mâna = 1,2:1 10. Masa proprie = 0,24kg

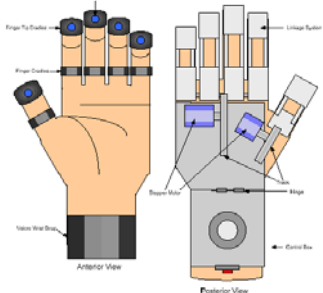
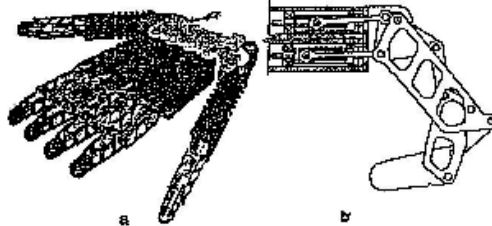
Nr. variantă	Varianta de analizat	Caracteristici
5	 <p>Degete identice dispuse în formă de stea. Acționarea se face prin intermediul a 5 elemente motoare.</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Numărul de degete = 3 2. Numărul de falange = 3×3 3. Gradul de mobilitate = $2 + 2 + 1$ 4. Elementele caracteristice falangelor = Bare articulate 5. Manevrabilitatea degetelor = Mare 6. Energia de acționare = Electrică 7. Traductoarele și senzorii utilizați = Senzori tactili și traductori de forță 8. Masa manipulată = - 9. Proporția față de mâna umană = 1:1 10. Masa proprie = 2 kg
6	 <p>Degete identice dispuse triunghiular isoscel, cu acționare pe fiecare falangă</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Numărul de degete = 3 2. Numărul de falange = 2×3 3. Gradul de mobilitate = $2 + 2 + 2 = 6$ 4. Elementele = Bare articulate 5. Manevrabilitatea degetelor = Medie 6. Energia de acționare = Electrică 7. Traductoarele și senzorii utilizați = Forță + proximitate 8. Masa manipulată = 15 kg 9. Proporția față de mâna umană = 2:1 10. Masa proprie = - [16].
7	 <p>Trei degete acționate independent; două falange/deget</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Numărul de degete = 3 2. Numărul de falange = 2×3 3. Gradul de mobilitate = $3 + 3 + 2$ 4. Elementele caracteristice = Roți și fire 5. Manevrabilitatea degetelor = Mare 6. Energia de acționare = Electrică 7. Traductoarele și senzorii utilizați = Senzori tactili; de forță; Traductoare de rotație 8. Masa manipulată = 0,8 9. Proporția față de mâna umană = 1:1 10. Masa proprie = -
8	 <p>Trei degete dispuse în linie și unul opozant, cu acționare pe fiecare deget</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Numărul de degete = 4 2. Numărul de falange = $3 + 3 + 3 + 1$ 3. Gradul de mobilitate = $1 + 1 + 1 + 1 = 4$ 4. Elementele falangelor = Bare articulate 5. Manevrabilitatea degetelor = Mare 6. Energia de acționare = Pneumatică 7. Traductoarele și senzorii utilizați = - 8. Masa manipulată = 8 kg 9. Proporția față de mâna umană = 1,2:1 10. Masa proprie = - [12].
9	 <p>Patru degete neidentice, dispuse asemănător mâinii umane. Palma are geometria mâinii umane, fiecare falangă fiind acționată independent.</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Numărul de degete = 4 2. Numărul de falange = 3×4 3. Gradul de mobilitate = $4 + 4 + 4 + 4 = 16$ 4. Elementele caracteristice falangelor = Roți și fire 5. Manevrabilitatea degetelor = Foarte mare 6. Energia de acționare = Electrică 7. Traductoarele și senzorii utilizați = Traductori de forță și moment 8. Masa manipulată = - 9. Proporția față de mâna = 1,5:1 10. Masa proprie = -

ANALIZA COMPARATIVĂ A UNOR PREHENSOARE ANTROPOMORFE

Tabelul 1 (continuare)

Nr. variantă	Varianta de analizat	Caracteristici
10	 <p>Patru degete neidentice, dispuse asemănător mâinii umane</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Numărul de degete = 4 2. Numărul de falange = 3×4 3. Gradul de mobilitate = 16 4. Elementele caracteristice falangelor = Roți și fire 5. Manevrabilitatea degetelor = Foarte mare 6. Energia de acționare = Electrică 7. Traductoarele și senzorii utilizați = Senzori tactili 8. Masa manipulată = 4 kg 9. Proporția față de mâna umană = 1:1 10. Masa proprie = 2 kg [10].
11	 <p>Patru degete în linie și unul opus în dreptul degetului 2.</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Numărul de degete = 5 2. Numărul de falange = $3 \times 4 + 2$ 3. Gradul de mobilitate = $1 + 1 + 1 + 1 + 1 = 5$ 4. Elementele caracteristice falangelor = Bare articulate 5. Manevrabilitatea degetelor = Mare 6. Energia de acționare = Electrică 7. Traductoarele și senzorii utilizați = Traductoare optice de poziție și senzori tactili 8. Masa manipulată = -- 9. Proporția față de mâna umană = 1,5:1 10. Masa proprie = --
12	 <p>Cinci degete dispuse după modelul mâinii umane.</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Numărul de degete = 5 2. Numărul de falange = 3×5 3. Gradul de mobilitate = 20 4. Elementele caracteristice falangelor = Roți și fire 5. Manevrabilitatea = Foarte mare 6. Energia de acționare = Pneumatică (mușchi artificiali) 7. Traductoarele și senzorii utilizați = Senzori tactili și traductori de forță și deplasări în cuple 8. Masa manipulată = -- 9. Proporția față de mâna umană = 1:1 10. Masa proprie = 3,5 kg [15].
13	 <p>Patru degete identice dispuse în linie și un deget opozant</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Numărul de degete = 5 2. Numărul de falange = $3 \times 4 + 2$ 3. Gradul de mobilitate = $1 + 1 + 1 + 1 + 1 = 5$ 4. Elementele = Bare articulate 5. Manevrabilitatea degetelor = Mare 6. Energia de acționare = Electrică 7. Traductoarele și senzorii utilizați = Traductoare optice de poziție și senzori tactili 8. Masa manipulată = 2,1 kg 9. Proporția față de mâna umană = 1,5:1 10. Masa proprie = 0,9 kg [12].
14		<ol style="list-style-type: none"> 1. Numărul de degete = 5 2. Numărul de falange = 2×5 3. Gradul de mobilitate = 5 4. Elementele caracteristice falangelor = bare articulate 5. Manevrabilitatea degetelor = Mare 6. Energia de acționare = Electrică 7. Traductoarele și senzorii utilizați = Senzori de presiune 8. Masa manipulată = -- 9. Proporția față de mâna umană = 1:1 10. Masa proprie = 0,560 kg [18]

Tabelul 1 (continuare)

Nr. variantă	Varianta de analizat	Caracteristici
15	 <p>Cinci degete dintre care patru sunt amplasate în linie și unul opozant. Mecanism de acționare roată dințată – cremalieră</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Numărul de degete = 5 2. Numărul de falange = 3×5 3. Gradul de mobilitate = $1 + 1 = 2$ 4. Elementele caracteristice falangelor = Bare articulate + roți dințate 5. Manevrabilitatea degetelor = Medie 6. Energia de acționare = Electrică 7. Traductoarele și senzorii utilizați = Senzori de presiune 8. Masa manipulată = – 9. Proporția față de mâna umană = 1:1 10. Masa proprie = –
16	 <p>Patru degete amplasate în linie și două opozante. Fiecare deget este acționat de două motoare.</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Numărul de degete = 6 2. Numărul de falange = 3×6 3. Gradul de mobilitate = $2 + 2 + 2 + 2 + 2 + 2 = 6$ 4. Elementele caracteristice falangelor = Bare articulate 5. Manevrabilitatea degetelor = Foarte mare 6. Energia de acționare = Electrică 7. Traductoarele și senzorii utilizați = Traductoare optice de poziție 8. Masa manipulată = 12 kg 9. Proporția față de mâna umană = 1,2:1 10. Masa proprie = – [12]

În continuare s-a aplicat metoda analizei multicriteriale, în prima etapă efectuându-se analiza morfologică pe baza criteriilor: a...f, de apreciere [1, 2]. Analiza se va face tabelar, acordând punctaj 1, dacă varianta respectă criteriul, respectiv punctaj 0 dacă varianta nu respectă criteriul. În ultima coloană este înscrisă suma criteriilor pe care le respectă fiecare variantă (tabelul 2).

Întrucât nici una dintre variantele constructive cunoscute nu îndeplinește toate criteriile (nu a obținut punctaj maxim), se impune realizarea unei analize multicriteriale a variantelor care au acumulat minim 4 puncte, căutând soluția hibrid între cele mai bune 2-3 variante clasate. Variantele care au obținut 4 puncte sunt: $V_1, V_3, V_5, V_6, V_7, V_9, V_{10}$.

În continuare se stabilește ponderea criteriilor. Se va determina coeficientul γ de importanță a unui criteriu comparativ cu celelalte criterii luate în calcul, acordându-se punctajul 1 sau 0 pentru „mai important sau nu”. În tabelul 3 se compară criteriile așezate pe ordonată cu cele așezate pe abscisă. În exemplu: se compară criteriul a cu a; fiind identic se

va înscrie valoarea $\frac{1}{2}$; se compară criteriul b = (structura mecanică simplă) cu criteriul a = (prehensor cu minim două și maxim patru degete).

Tabelul 2

Criteriul Varianta	a	b	c	d	e	f	Σ_i
1	1	1	1	0	1	0	4
2	1	0	1	0	0	0	2
3	1	0	1	1	0	1	4
4	1	0	1	1	0	0	3
5	1	0	1	1	0	1	4
6	1	0	0	1	1	1	4
7	1	0	1	1	0	1	4
8	1	1	1	0	0	0	3
9	1	0	1	1	0	1	4
10	1	0	1	1	0	1	4
11	0	0	1	1	0	1	3
12	0	0	1	1	0	1	3
13	0	1	1	0	0	1	3
14	0	0	1	1	0	1	3
15	0	0	1	1	0	1	2
16	0	0	1	1	0	0	2

Tabelul 3

Criterii	a	b	c	d	e	f	Punctaj obținut	Coef. γ
a	$\frac{1}{2}$	0	1	0	0	0	1,5	0,57
b	1	$\frac{1}{2}$	1	0	0	0	2,5	1,17
c	0	0	$\frac{1}{2}$	0	0	0	0,5	0,12
d	1	1	1	$\frac{1}{2}$	1	1	5,5	5,33
e	1	1	1	0	$\frac{1}{2}$	1	4,5	3,25
f	1	1	1	0	0	$\frac{1}{2}$	3,5	2

ANALIZA COMPARATIVĂ A UNOR PREHENSOARE ANTROPOMORFE

Criteriul b este mai important decât criteriul a, deci se va înscrie valoarea 1 pe coloană respectiv 0 pe linie, analog efectuându-se întreaga analiză. În penultima coloană a tabelului 3 se înscrie suma punctajelor obținute de fiecare criteriu. Coeficientul γ aferent fiecărui criteriu ia în calcul, pe lângă punctajul obținut și numărul total de criterii, numărul de criterii surclasate, punctajele criteriilor de pe primul și ultimul loc (conform relației 2.1, formula FRISCO).

Coeficientul γ se calculează cu formula:

$$\gamma = \frac{P + \Delta P + m + 0,5}{-\Delta P' + n / 2} \quad (1)$$

unde: P este punctajul obținut de criteriul respectiv; ΔP – punctaj calculat – punctaj element de pe ultimul loc (diferență de punctaj $\Delta P > 0$); $\Delta P'$ – punctaj calculat – punctaj element de pe primul loc (diferență de punctaj $\Delta P < 0$); n – număr criterii; m – număr criterii surclasate.

Astfel rezultă valorile coeficientului de importanță:

$$\gamma_a = \frac{1,5 + 1 + 1 + 0,5}{4 + 6 / 2} = 0,57;$$

$$\gamma_b = \frac{2,5 + 2 + 2 + 0,5}{3 + 6 / 2} = 1,17;$$

$$\gamma_c = \frac{0,5 + 0 + 0 + 0,5}{5 + 6 / 2} = 0,12;$$

$$\gamma_d = \frac{5,5 + 5 + 5 + 0,5}{0 + 6 / 2} = 5,33;$$

$$\gamma_e = \frac{4,5 + 4 + 4 + 0,5}{1 + 6 / 2} = 3,35;$$

$$\gamma_f = \frac{3,5 + 3 + 3 + 0,5}{2 + 6 / 2} = 2$$

Rezultatele coeficientului γ arată o prioritizare a criteriilor în ordinea: **d – e – f – b – a – c**. Analizând tabelul 3, *prehensorul optim de proiectat, trebuie în primul rând să fie capabil să prehenseze suprafețe complexe, apoi să fie robust, să fie dotat cu senzori astfel încât să existe control în procesul de prehensiune, structura mecanică să fie simplă și e mai puțin important numărul de degete sau raportul dimensional față de mâna umană.*

În urma analizei multicriteriale a rezultat că nici una din variantele comparate nu a îndeplinit în totalitate criteriile, astfel s-a căutat o soluție hibrid. Variantele prezentate (cele șapte variante) vor fi supuse analizei multicriteriale luându-se în calcul și coeficientul γ și coeficientul N . Coeficientul N reprezintă nota obținută (pe scala de la 0 la 10) de un prehensor în raport cu un criteriu (nota este acordată de persoana sau echipa care face analiza putând fi subiectivă). Pentru exemplu, varianta 6 (poziția 6 din tabelul 1) a obținut nota 10 la criteriul a (prehensor

cu minim două și maxim patru degete) și nota 0 la criteriul c (raportul dimensional între prehensor și mâna umană să fie 1:1, max. 1,5:1); prehensorul exemplificat are 3 degete și un raport de 2:1 față de mâna umană.

Se aplică apoi relația:

$$V_{optim} = \sum N_i * \gamma_i, \quad (2)$$

iar rezultatele sunt arătate în tabelul 4.

Tabelul 4

Variante	Nota (N)						$\sum N_i * \gamma_i$
	a	b	c	d	e	f	
V1	10	10	10	5	10	2	81,79
V3	10	6	10	7	2	8	73,79
V5	10	7	10	7	10	7	98,96
V6	10	5	0	8	10	6	98,71
V7	10	4	10	8	2	7	74,79
V9	10	2	10	10	0	9	80,63
V10	10	3	10	8	0	8	69,13

În urma analizei multicriteriale, cele mai bune variante (din punct de vedere compatibilitate cu criteriile stabilite inițial) sunt: $V_5 = 98,96$ puncte, prehensorul cu trei degete dispuse în stea, $V_6 = 98,71$ puncte, prehensorul cu trei degete dispuse triunghiular isoscel și $V_1 = 81,79$ puncte, prehensorul cu două degete opuse. Ca urmare soluția pentru proiectat se va baza pe un hibrid între cele 3 variante, ținând cont și de prioritizarea criteriilor definită anterior.

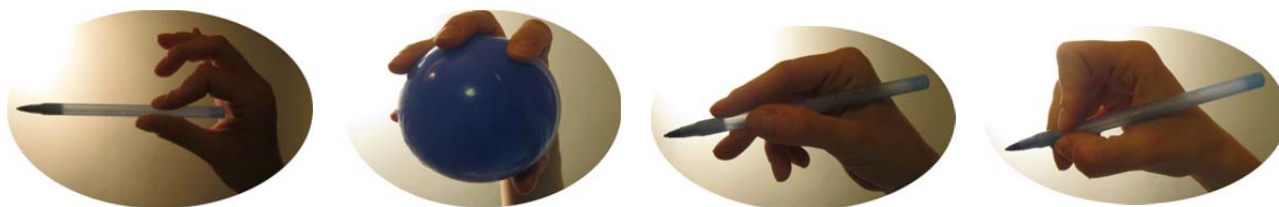
3. CONCEPEREA/PROIECTAREA UNUI PREHENSOR ANTROPOMORF OPTIM

În urma analizei multicriteriale și a unui proces de definire a prehensorului de proiectat, în timpul unei ședințe de brainstorming s-a putut defini prehensorul optimizat luând în considerare în special: **posibilitățile de prehensare, robustețea sistemului, controlul prehensiunii și structura simplă** [4, 8].

Analiza **posibilităților de prehensat** a arătat că, în baza posibilităților de prehensare ale mâinii umane (orice tip de obiect în anumite limite dimensionale) (figura 1), prinderea cu două degete are potențial deosebit [3, 5].

Totodată s-a stabilit că dezavantajul contactului pe falangă, similar cu cel pe un bac, se poate elimina prin adăugarea unor bacuri suplimentare autoreglabile (fig. 2), articulată sferic cu falanga.

Referitor la **Sistemul de prehensiune robust**, s-a stabilit că mecanismul de transmitere a mișcării cu bare articulate este de departe cel mai robust, simplu și sigur în exploatare. S-a ajuns la o structură pentru un deget ca cea reprezentată în figura 3.



a) prindere tip pensetă

b) prindere tip clopot

c) prindere complexă

d) prindere complexă

Fig. 1. Posibilități de prindere ale mâinii umane.

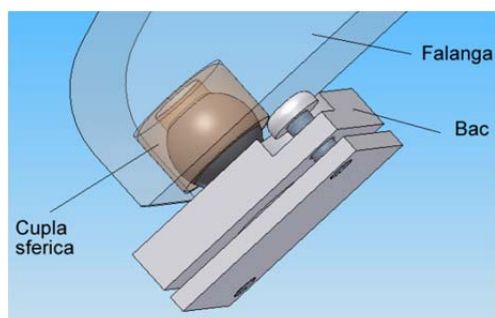


Fig. 2. Bac cu cuplă sferică.

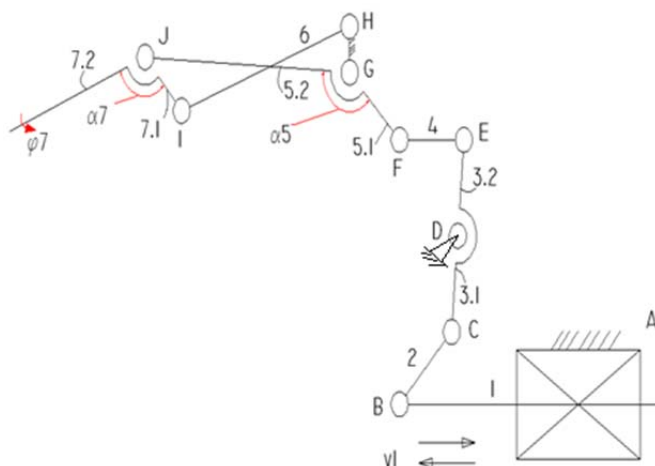
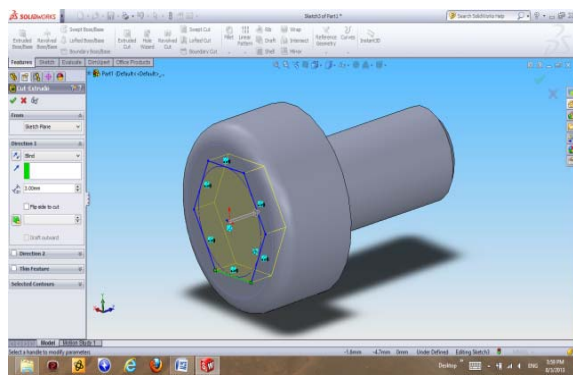


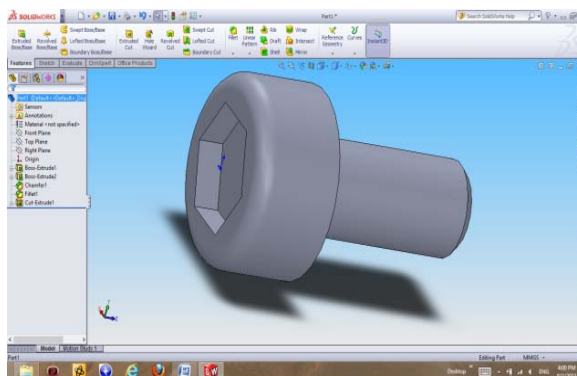
Fig. 3. Propunere de structură mecanică cu bare articulate.

Controlul prehensiunii se va asigura prin senzori plasați pe modulele articulate prin cuple sferice cu falangele. Referitor la **structură simplă** se impune evident varianta cu două degete, așa cum a rezultat și din aplicarea analizei multicriteriale.

După schițarea prehensorului și definirea dimensiunilor primare, următorul pas l-a constituit modelarea 3D a componentelor acestuia (fig. 4a) și ansamblului prehensorului, iar în final s-a obținut proiectul 3D al prehensorului arătat în figura 4b.



a



b

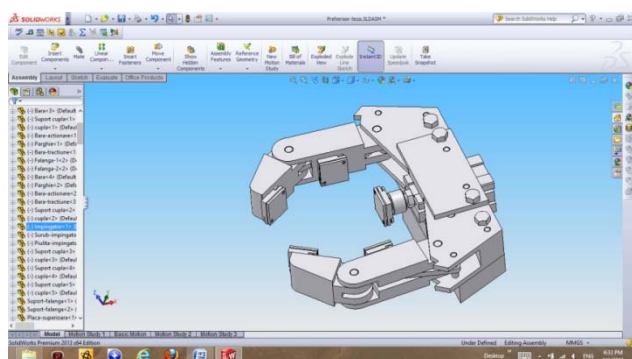


Fig. 4. Asamblarea CAD a prehensorului.

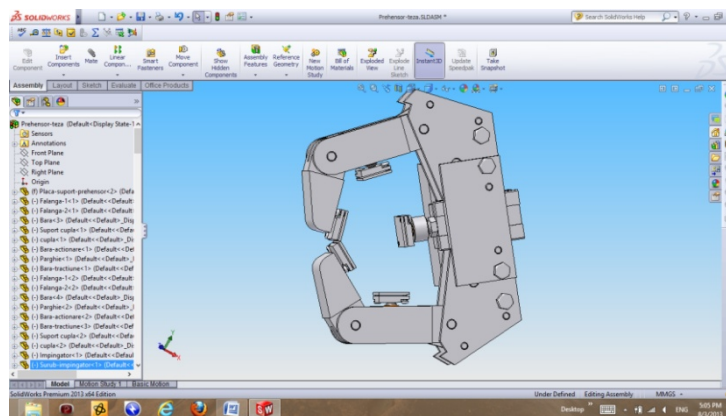


Fig. 5. Verificarea funcționării și închiderii corecte.

4. SIMULAREA FUNCȚIONALĂ

Închiderea prehensurului presupune contactul dintre ultimele falange ale degetelor astfel încât prehensiunea să se realizeze în condiții optime, închiderea acestuia trebuie să țină seama de pozițiile relative ale degetelor și de deplasările din cuple. Proiectarea 3D prezintă și avantajul simulării până la detaliu a funcționării prehensurului, ținând cont de legăturile stabilite între elemente. Astfel, este deosebit de ușor să se stabilească dacă prehensurul se închide sau nu corect – figura 5.

5. CONCLUZII

În baza celor prezentate, succint în această lucrare, se pot formula următoarele concluzii:

- analiza multicriterială atestă faptul că prehensoarele cu număr redus de degete sunt recomandate din punct de vedere al raportului performanță / complexitate (preț);
- definirea etapelor de proiectare asistată de calculator, se bazează pe un mers logic al procesului, care odată respectat, elimină erorile de proiectare;
- varianta de mecanism propusă (varianta optimă), se distinge prin simplitate, performanță și un cost (preț) rezonabil.

BIBLIOGRAFIE

[1] Birglen, L., Gosselin C., *Optimal Design of 2-Phalanx Under-actuated Finger*, Intelligent Manipulation and Grasping, 2004, p. 110-116.

[2] Belfiore N. P., Pennestri, E., *An Atlas of linkage – Type Robotic grippers*, *Mechanism and Machine Theory*. Vol. 32, No7, 1997, p. 811-833.

[3] Bolboe, M., *Cercetări teoretice și experimentale ale prehensoarelor antropomorfe cu număr redus de degete pentru roboți*, Teză de doctorat, Universitatea „Transilvania” din Brașov, 2013.

[4] Crossley, F. R. E., Umholtz, F. G., *Design for a Three - fingered Hand*, *Mechanism and Machine Theory*, Vol. 12, 1977, p. 85 - 93.

[5] Cutkosky M. R., Wright, P. K., *Modeling manufacturing grips and correlation with the design of robotic hands*, in Proc. of the 1986 IEEE International Conference on Robotics and Automation, pages 1533–1539, San Francisco, CA, 1986.

[6] Kato, I., *Mechanical hands illustrated*, Japan, 1977.

[7] Kawasaki, H. et al., *Dexterous Anthropomorphic Robot Hand with Distributed Tactile Sensor: Gifu Hand II*, IEEE/ASME Transaction on Mechatronics (2002), Vol. 7, No. 3, pp. 296-303

[8] Kerr, J., Roth, B., *Analysis of Multifingered Hands*, The International Journal of Robotics Research, Vol. 4, 1986.

[9] Krenich S., *Multicriteria design optimization of Robot gripper mechanisms*, Iutam Symposium on Evolutionary Methods in Mechanics, Cracow, 2002, p. 207-218.

[10] Jacobsen, S. C. a.a., *The UTAH/MIT dextrous hand: Work in progress*. The International Journal of Robotics Research, vol. 3, NO. 4, 1984.

[11] Mason, M. T. and Salisbury, J. K., *Robots Hands and the Mechanics of Manipulation*, MIT Press, 1985.

[12] Staretu, I., Neagoie, M., Albu, N., *Mechanical hands. Anthropomorphic Gripping Mechanisms for prosthesis and robots* (in Romanian), Ed. Lux Libris, Brașov, 2001

[13] Staretu, I., *Sisteme de prehensiune*, Ed. Lux Libris, Brasov, 1996(ediția I), 2010(ediția a II-a).

[14] Staretu, I., *Gripping systems*, Derc Publishing House, USA, 2011.

[15] <http://www.shadowrobot.com/hand/>

[16] <http://www.barrett.com/robot/products-hand.htm>

[17] <http://www.kk-dainichi.co.jp/e/gifuhand.html>

[18] <http://www.bebionic.com/wp-content/uploads/bebionic-Product-Brochure-Final.pdf>

Despre autori

Dr. ing. **Marian BOLBOE**
INA Schaffler – Brașov

A absolvit Facultatea de TCM a Universității „Transilvania” din Brașov în 2002, iar în 2003 a absolvit specializarea de studii aprofundate de Robotică la aceeași universitate. Între 2004 (mai) și 2005 (iunie) a efectuat o specializare în tehnologie la Schaeffler KG în Germania. Din 2004 este doctorand la Universitatea „Transilvania” din Brașov. A

CREATIVITATE. INVENTICĂ. ROBOTICĂ

lucrat ca inginer proiectant la S.C. Tractorul UTB S.A. (2002-2004), iar din 2004 a activat ca inginer tehnolog, apoi în diverse funcții de conducere la INA Schaffler Brașov. A publicat, în colaborare, 15 lucrări științifice în țară și în străinătate și a contribuit la rezolvarea a trei granturi de cercetare științifică. În anul 2013 a obținut titlul de doctor inginer la Universitatea „Transilvania” din Brașov. Are preocupări în optimizarea constructivă și funcțională a prehensoarelor mecanice pentru roboți. E-mail: bolboe@yahoo.com

Prof. univ. dr. ing. Eur Ing. **Ionel STAREȚU**
Universitatea „Transilvania” din Brașov

Este absolvent al Facultății TCM a Universității Transilvania din Brașov(1983). A obținut titlu de Doctor Inginer în specializarea Roboți Industriali în 1995. Specializări în :Tribologie (Universitatea „Transilvania” -1990), Robotique et Productique (INSTN din Saclay, Franța – 1992/1993), Managementul Organizației (IAI și Universitatea „Transilvania”-1999/2000), Managementul Calității(2003) și Auditul Calității(2004) la Universitatea „Transilvania”.Din 2003 este Expert tehnic extrajudiciar și Consultant certificat de CERTEXPERT București și A.E.X.E.A. Paris. Activează din 1985 la catedra de Design de Produs și Robotică de la Universitatea „Transilvania” din Brașov. A publicat: 6 cărți, 5 lucrări didactice și peste 170 de articole științifice în țară și în străinătate. Este autor sau coautor la 11 brevete de invenție. A contribuit la rezolvarea a peste 24 granturi de cercetare științifice naționale și internaționale (la 4 ca director de grant). Este președintele Filialei Brașov a Societății Române de Robotică , vicepreședinte al Filialei AGIR Brașov, membru ARoTMM și expert în Robotică al Societății Academice din România, membru CRIFȘT – Academia Română. Este conducător de doctorat în domeniul Ingineriei Industriale. E-mail: staretu@unitbv.ro