

MODELAREA 3D A UNUI MECANISM BIOMORF

DUMITRAȘCU (CHIȘAMERA) Mihaela¹, GOLEA Florina¹

Conducători științifici: Prof.dr.ing. Adriana COMĂNESCU, Ș.l.dr.ing. Ileana DUGĂEȘESCU

REZUMAT: Această lucrare are ca scop efectuarea analizei structural – cinematice și modelarea unui sistem biomorf de tip crab. Analiza structurală are ca scop determinarea gradului de mobilitate, a numărului de contururi, precum și elaborarea modelului structural și a schemei de conexiuni. Prin analiza cinematică se calculează parametrii dependenți de poziții, viteze, accelerații și se obțin traiectoriile extremităților picioarelor. Apoi, cu ajutorul unui software specializat se modelează fiecare element cinematic în parte și se obține ansamblul sistemului biomorf.

CUVINTE CHEIE: analiză structural – cinematică, sistem biomorf, modelare

1 INTRODUCERE

Roboții cu secvență fixă aparțin generației a doua de roboți și sunt acei roboți de tip braț robot sau roboți mobili, la care amplitudinea și succesiunea mișcărilor rămân imuabile.

În general, acestea sunt sisteme cu o structură mecanică cu un grad de mobilitate. Pentru ilustrarea acestei categorii de roboți se prezintă în cele ce urmează un microrobot pășitor.

Astfel de sisteme pot fi echipate cu diverse categorii de senzori – tactili, de proximitate, de sunet, de lumină etc.

2 DESCRIEREA SISTEMULUI BIOMORF

Microrobotul pășitor crab (fig.1) are trei mecanisme plane conectate paralel la actuatorul de rotație - micromotorul, care determină acționarea elementului cinematic 1.

Sistemul este acționat de un micromotor conectat la trei mecanisme conectate paralel și amplasate simetric transversal.



Fig. 1. Microrobotul pășitor crab

¹Specializarea Modelarea și Simularea Sistemelor Mecanice Mobile, Facultatea IMST;

E-mail: flory_gol@yahoo.com;

miha_chisamera@yahoo.com

Fiecare dintre aceste mecanisme are un singur grad de mobilitate și două elemente cu rol de susținere și deplasare.

3 ANALIZA STRUCTURAL-CINEMATICĂ A SISTEMULUI BIOMORF

3.1 Analiza structurală a sistemului biomorf

Robotul tip crab din figura 1 are pentru cele trei mecanisme paralele acționate de același micromotor schema cinematică din figura 2.

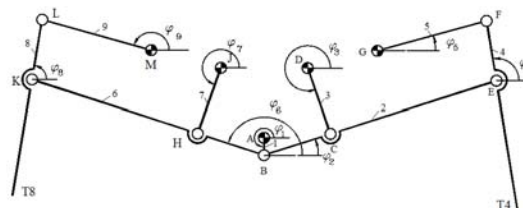


Fig. 2. Schema cinematică a sistemului biomorf

Susținerea și deplasarea sistemului este realizată prin elementele cinematice 4, 8 care realizează contactul cu suprafața de sprijin în punctele T_4 , T_8 prin acționarea elementului 1 prin cupla cinematică activă A . Mecanismul plan are $m = 9$ elemente cinematice și un număr de 13 cuple cinematice de rotație.

În consecință, mecanismul are în raport cu platforma – corpul crabului un grad de mobilitate ($M = 3 \cdot 9 - 2 \cdot 13 = 1$).

Modelul structural (fig.3) are schema de conexiuni din figura 4.

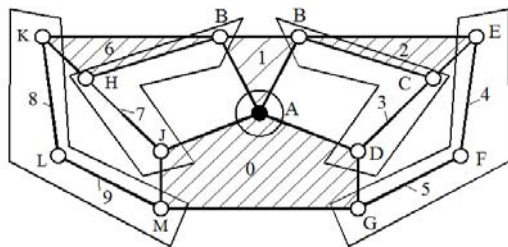


Fig. 3. Modelul structural

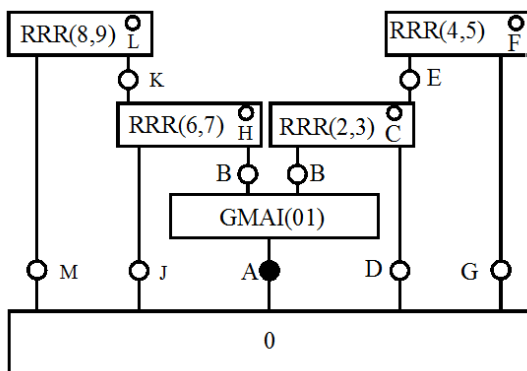


Fig. 4. Schema de conexiuni

Prin contactul punctiform cu suprafața de sprijin a elementelor cinematice 4 și 8 respectiv în punctele T_4 , T_8 se realizează totodată transportul platformei în raport cu solul.

Acționarea fiind realizată prin același micromotor, rezultă că mecanismul are un grad de mobilitate. În această fază mecanismul are un număr de zece elemente, 13 cuple cinematice, ceea ce conduce la $M = 3 \cdot 9 - 2 \cdot 13 = 1$. Acest model structural are $N = 13 - 9 = 4$ contururi independente.

Construcția microrobotului (fig.1) arată o extremitate plată a extremității piciorului, astfel încât transportul platformei poate fi explicat după cum urmează. Plasarea alternativă a elementelor cinematice 4 și 8 pe suprafața de sprijin determină solidarizarea instantanee a respectivului picior cu elementul fix, platforma fiind eliberată.

Pentru microrobotul de referință (v. fig.1) și modelul structural din figura 3 parametrii geometrici constanți sunt redați în tabelul 1.

Tabel 1

Parametrii geometrici constanți [m]	
$AB = 0.002 ; BC = 0.008 ;$ $DC = 0.008 ; CE = 0.02 ;$ $GF = 0.013 ;$ $EF = 0.007 ; BE = BC + CE$	
$BC' = 0.008 ; D'C' = 0.008 ;$ $C'E' = 0.02 ; G'F' = 0.013 ;$ $E'F' = 0.007 ; BE' = BC' + C'E'$	
$XA = 0 ; YA = 0 ; X1A = 0 ;$ $Y1A = 0 ; X2A = 0 ; Y2A = 0$	
$XD = 0.005 ; YD = 0.008 ;$ $X1D = 0 ; Y1D = 0 ; X2D = 0 ;$ $Y2D = 0$	
$XD' = -0.005 ; YD' = 0.008 ;$ $X1D' = 0 ; Y1D' = 0 ; X2D' = 0 ;$ $Y2D' = 0$	
$XG = 0.013 ; YG = 0.01 ;$ $X1G = 0 ; Y1G = 0 ; X2G = 0 ;$ $Y2G = 0$	
$XG' = -0.013 ; YG' = 0.01 ;$ $X1G' = 0 ; Y1G' = 0 ; X2G' = 0 ;$ $Y2G' = 0$	
$ET4 = 0.015 ; E'T8 = 0.015$	
Parametrul independent	
$\phi1 \in [0, 2\pi] ; \phi1 = \phi1(t) \text{ rad} ;$ $\phi10 \in [0, 360^0] ; \phi10 = \phi10(t) [0]$ $\omega1 = 1 \text{ sec}^{-1} ; \epsilon1 = 0 \text{ sec}^{-1}$	

3.2 Analiza cinematică a sistemului biomorf

- determinarea parametrilor dependenți de poziții:

$$XB_k := XA + AB \cdot \cos(\phi1_k)$$

$$YB_k := YA + AB \cdot \sin(\phi1_k) \quad (1)$$

- determinarea parametrilor dependenți de viteze:

$$X1B_k := X1A - AB \cdot \omega1 \cdot \sin(\phi1_k)$$

$$Y1B_k := Y1A + AB \cdot \omega1 \cdot \cos(\phi1_k) \quad (2)$$

- determinarea parametrilor dependenți de accelerații:

$$X2B_k := X2A - AB \cdot \varepsilon_1 \cdot \sin(\phi_{1k}) - AB \cdot \omega_1^2 \cdot \cos(\phi_{1k})$$

$$Y2B_k := Y2A + AB \cdot \varepsilon_1 \cdot \cos(\phi_{1k}) - AB \cdot \omega_1^2 \cdot \sin(\phi_{1k})$$

(3)

Modelul cinematic și parametrii dependenți, aferenți fiecărui modul de calcul sunt prezentați sintetic în tabelul 2.

Tabelul 2

Modelul / Parametrii dependenți de poziții
RRR(2,3)
$XB_k - XD + BC \cdot \cos(\phi_2) - DC \cdot \cos(\phi_3) = 0$
$YB_k - YD + BC \cdot \sin(\phi_2) - DC \cdot \sin(\phi_3) = 0$
Parametrii cuplei E
$XE_k := XB_k + BE \cdot \cos(\phi_{2k})$
$YE_k := YB_k + BE \cdot \sin(\phi_{2k})$
Parametrii cuplei C
$XC_k := XB_k + BC \cdot \cos(\phi_{2k})$
$YC_k := YB_k + BC \cdot \sin(\phi_{2k})$
RRR(4,5)
$XE_k - XG + EF \cdot \cos(\phi_4) - GF \cdot \cos(\phi_5) = 0$
$YE_k - YG + EF \cdot \sin(\phi_4) - GF \cdot \sin(\phi_5) = 0$
Parametrii cuplei F
$XF_k := XE_k + GF \cdot \cos(\phi_{4k})$
$YF_k := YE_k + GF \cdot \sin(\phi_{5k})$
RRR(6,7)
$XF_k := XE_k + GF \cdot \cos(\phi_{4k})$
$YF_k := YE_k + GF \cdot \sin(\phi_{5k})$
Parametrii cuplei H
$XH_k := XB_k + BH \cdot \cos(\phi_{6k})$
$YH_k := YB_k + BH \cdot \sin(\phi_{6k})$
Parametrii cuplei K
$XK_k := XB_k + BK \cdot \cos(\phi_{6k})$
$YK_k := YB_k + BK \cdot \sin(\phi_{6k})$

RRR(8,9)
$XK_k - XM + KL \cdot \cos(\phi_8) - ML \cdot \cos(\phi_9) = 0$
$YK_k - YM + KL \cdot \sin(\phi_8) - ML \cdot \sin(\phi_9) = 0$
Parametrii cuplei L
$XL_k := XK_k + KL \cdot \cos(\phi_{8k})$
$YL_k := YK_k + KL \cdot \sin(\phi_{8k})$
Traectoria punctului T4
$XT4_k := XE_k + ET4 \cdot \cos(\phi_{4k} + \pi)$
$YT4_k := YE_k + ET4 \cdot \sin(\phi_{4k} + \pi)$
Traectoria punctului T8
$XT8_k := XK_k + KT8 \cdot \cos(\phi_{8k} + \pi)$
$YT8_k := YK_k + KT8 \cdot \sin(\phi_{8k} + \pi)$
Modelul / Parametrii dependenți de viteze
RRR (2,3)
$A_k := \begin{pmatrix} -BC \cdot \sin(\phi_{2k}) & DC \cdot \sin(\phi_{3k}) \\ BC \cdot \cos(\phi_{2k}) & -DC \cdot \cos(\phi_{3k}) \end{pmatrix}$
$B_k := \begin{bmatrix} -(X1B_k - X1D) \\ -(Y1B_k - Y1D) \end{bmatrix}$
Parametrii cuplei E
$X1E_k := X1B_k - BE \cdot \omega_{2k} \cdot \sin(\phi_{2k})$
$Y1E_k := Y1B_k + BE \cdot \omega_{2k} \cdot \cos(\phi_{2k})$
Parametrii cuplei C
$X1C_k := X1B_k - BC \cdot \omega_{2k} \cdot \sin(\phi_{2k})$
$Y1C_k := Y1B_k + BC \cdot \omega_{2k} \cdot \cos(\phi_{2k})$
RRR (4,5)
$A_k := \begin{pmatrix} -EF \cdot \sin(\phi_{4k}) & GF \cdot \sin(\phi_{5k}) \\ EF \cdot \cos(\phi_{4k}) & -GF \cdot \cos(\phi_{5k}) \end{pmatrix}$
$B_k := \begin{bmatrix} -(X1E_k - X1G) \\ -(Y1E_k - Y1G) \end{bmatrix}$
Parametrii cuplei F
$X1F_k := X1E_k - GF \cdot \omega_{4k} \cdot \sin(\phi_{4k})$
$Y1F_k := Y1E_k + GF \cdot \omega_{5k} \cdot \cos(\phi_{5k})$

Tabelul 2 (continuare)

RRR(6,7)
$A_k := \begin{pmatrix} -BH \cdot \sin(\phi 6_k) & JH \cdot \sin(\phi 7_k) \\ BH \cdot \cos(\phi 6_k) & -JH \cdot \cos(\phi 7_k) \end{pmatrix}$ $B_k := \begin{bmatrix} -(X1B_k - X1J) \\ -(Y1B_k - Y1J) \end{bmatrix}$
Parametrii cuplei H
$X1H_k := X1B_k - BH \cdot \omega 6_k \cdot \sin(\phi 6_k)$ $Y1H_k := Y1B_k + BH \cdot \omega 6_k \cdot \cos(\phi 6_k)$
Parametrii cuplei K
$X1K_k := X1B_k - BK \cdot \omega 6_k \cdot \sin(\phi 6_k)$ $Y1K_k := Y1B_k + BK \cdot \omega 6_k \cdot \cos(\phi 6_k)$
RRR(8,9)
$A_k := \begin{pmatrix} -KL \cdot \sin(\phi 8_k) & ML \cdot \sin(\phi 9_k) \\ KL \cdot \cos(\phi 8_k) & -ML \cdot \cos(\phi 9_k) \end{pmatrix}$ $B_k := \begin{bmatrix} -(X1K_k - X1M) \\ -(Y1K_k - Y1M) \end{bmatrix}$
Parametrii cuplei L
$X1L_k := X1K_k - KL \cdot \omega 8_k \cdot \sin(\phi 8_k)$ $Y1L_k := Y1K_k + KL \cdot \omega 8_k \cdot \cos(\phi 8_k)$
Modelul / Parametrii dependenți de accelerații
RRR(2,3)
$C_k := \begin{bmatrix} -[X2B_k - X2D - BC \cdot (\omega 2_k)^2 \cdot \cos(\phi 2_k) + DC \cdot (\omega 3_k)^2 \cdot \cos(\phi 3_k)] \\ -[Y2B_k - Y2D - BC \cdot (\omega 2_k)^2 \cdot \sin(\phi 2_k) + DC \cdot (\omega 3_k)^2 \cdot \sin(\phi 3_k)] \end{bmatrix}$
Parametrii cuplei E
$X2E_k := X2B_k - BE \cdot \varepsilon 2_k \cdot \sin(\phi 2_k) - BE \cdot (\omega 2_k)^2 \cdot \cos(\phi 2_k)$ $Y2E_k := Y2B_k + BE \cdot \varepsilon 2_k \cdot \cos(\phi 2_k) - BE \cdot (\omega 2_k)^2 \cdot \sin(\phi 2_k)$
Parametrii cuplei C
$X2C_k := X2B_k - BC \cdot \varepsilon 2_k \cdot \sin(\phi 2_k) - BC \cdot (\omega 2_k)^2 \cdot \cos(\phi 2_k)$ $Y2C_k := Y2B_k + BC \cdot \varepsilon 2_k \cdot \cos(\phi 2_k) - BC \cdot (\omega 2_k)^2 \cdot \sin(\phi 2_k)$
RRR(4,5)
$C_k := \begin{bmatrix} -[X2E_k - X2G - EF \cdot (\omega 4_k)^2 \cdot \cos(\phi 4_k) + GF \cdot (\omega 5_k)^2 \cdot \cos(\phi 5_k)] \\ -[Y2E_k - Y2G - EF \cdot (\omega 4_k)^2 \cdot \sin(\phi 4_k) + GF \cdot (\omega 5_k)^2 \cdot \sin(\phi 5_k)] \end{bmatrix}$

Parametrii cuplei F
$X2F_k := X2E_k - GF \cdot \varepsilon 4_k \cdot \sin(\phi 4_k) - GF \cdot (\omega 4_k)^2 \cdot \cos(\phi 4_k)$ $Y2F_k := Y2E_k + GF \cdot \varepsilon 5_k \cdot \cos(\phi 5_k) + GF \cdot (\omega 5_k)^2 \cdot \sin(\phi 5_k)$
RRR(6,7)
$C_k := \begin{bmatrix} -[X2F_k - X2J - BH \cdot (\omega 6_k)^2 \cdot \cos(\phi 6_k) + JH \cdot (\omega 7_k)^2 \cdot \cos(\phi 7_k)] \\ -[Y2F_k - Y2J - BH \cdot (\omega 6_k)^2 \cdot \sin(\phi 6_k) + JH \cdot (\omega 7_k)^2 \cdot \sin(\phi 7_k)] \end{bmatrix}$
Parametrii cuplei H
$X2H_k := X2B_k - BH \cdot \varepsilon 6_k \cdot \sin(\phi 6_k) - BH \cdot (\omega 6_k)^2 \cdot \cos(\phi 6_k)$ $Y2H_k := Y2B_k + BH \cdot \varepsilon 6_k \cdot \cos(\phi 6_k) - BH \cdot (\omega 6_k)^2 \cdot \sin(\phi 6_k)$
Parametrii cuplei K
$X2K_k := X2B_k - BK \cdot \varepsilon 6_k \cdot \sin(\phi 6_k) - BK \cdot (\omega 6_k)^2 \cdot \cos(\phi 6_k)$ $Y2K_k := Y2B_k + BK \cdot \varepsilon 6_k \cdot \cos(\phi 6_k) - BK \cdot (\omega 6_k)^2 \cdot \sin(\phi 6_k)$
RRR(8,9)
$C_k := \begin{bmatrix} -[X2K_k - X2M - KL \cdot (\omega 8_k)^2 \cdot \cos(\phi 8_k) + ML \cdot (\omega 9_k)^2 \cdot \cos(\phi 9_k)] \\ -[Y2K_k - Y2M - KL \cdot (\omega 8_k)^2 \cdot \sin(\phi 8_k) + ML \cdot (\omega 9_k)^2 \cdot \sin(\phi 9_k)] \end{bmatrix}$
Parametrii cuplei L
$X2L_k := X2K_k - KL \cdot \varepsilon 8_k \cdot \sin(\phi 8_k) - KL \cdot (\omega 8_k)^2 \cdot \cos(\phi 8_k)$ $Y2L_k := Y2K_k + KL \cdot \varepsilon 8_k \cdot \cos(\phi 8_k) + KL \cdot (\omega 8_k)^2 \cdot \sin(\phi 8_k)$

Variația parametrilor dependenți, caracteristici fiecărei grupe modulare, este redată în figura 5.

Corelarea diagramelor de poziții, viteze și accelerații respectiv $(\phi 20, \omega 2, \varepsilon 2)$, $(\phi 30, \omega 3, \varepsilon 3)$, $(\phi 40, \omega 4, \varepsilon 4)$, $(\phi 50, \omega 5, \varepsilon 5)$, $(\phi 60, \omega 6, \varepsilon 6)$, $(\phi 70, \omega 7, \varepsilon 7)$ $(\phi 80, \omega 8, \varepsilon 8)$ constituie un argument pentru corectitudinea modelării cinematice a mecanismului pășitor.

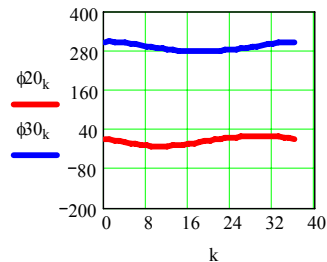


Fig. 5. Parametrii dependenți de poziții ai diadei RRR(2,3)

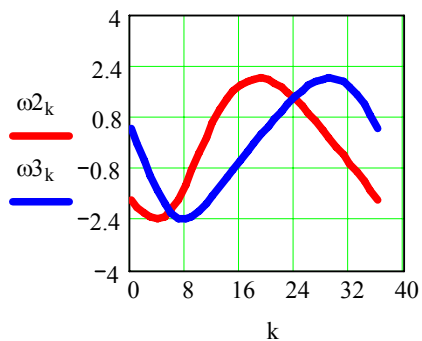


Fig. 6. Parametrii dependenți de viteze ai diadei RRR(2,3)

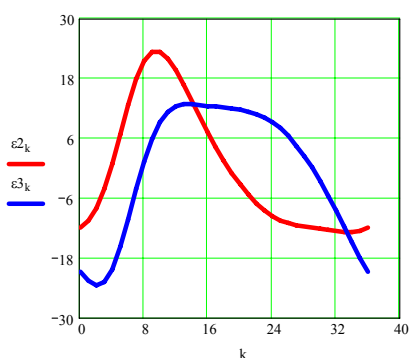


Fig. 7. Parametrii dependenți de acceleratii ai diadei RRR(2,3)

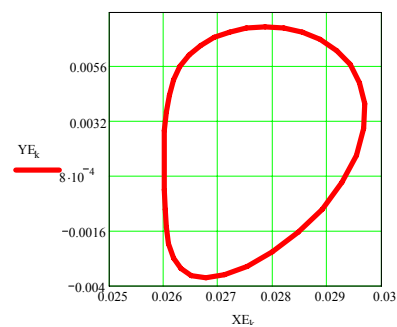


Fig. 8. Traiectoria punctului E

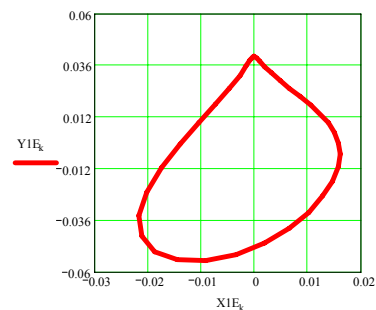


Fig. 9. Hodograful de viteze al punctului E

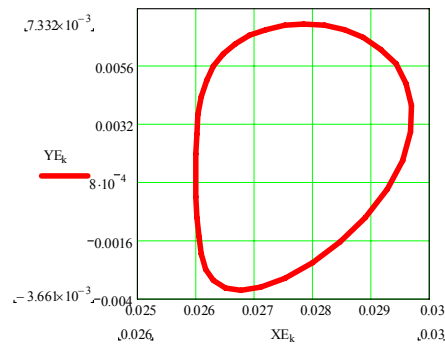


Fig. 10. Hodograful de acceleratii al punctului

E

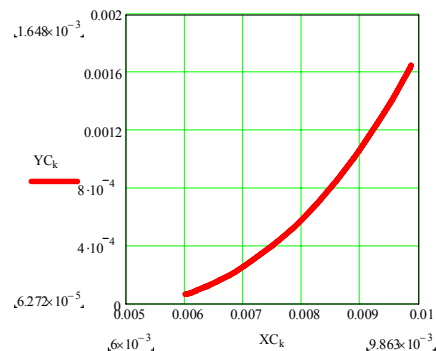


Fig. 11. Traiectoria punctului C

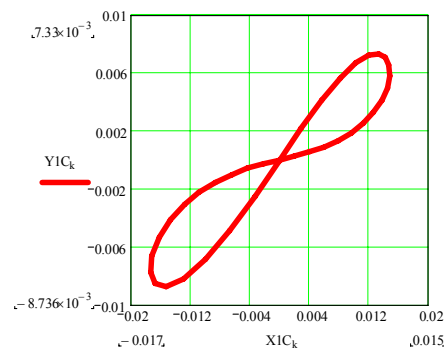


Fig. 12. Hodograful de viteze al punctului C

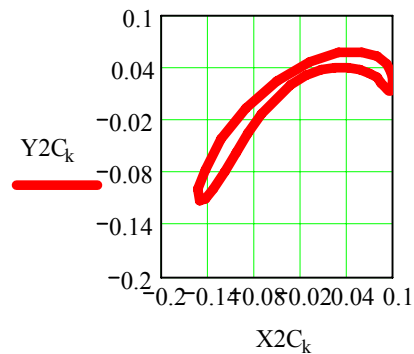


Fig. 13. Hodograful de acceleratii al punctului C

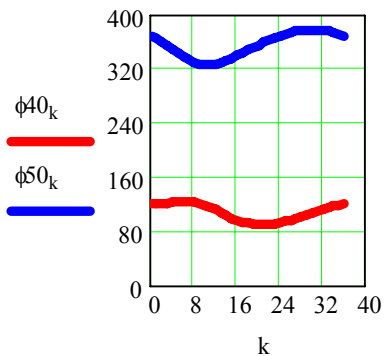


Fig. 14. Parametrii dependenți de poziții ai diadei RRR(4,5)

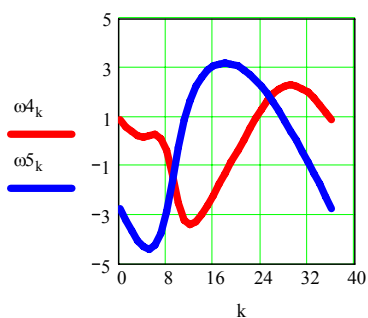


Fig. 15. Parametrii dependenți de viteze ai diadei RRR(4,5)

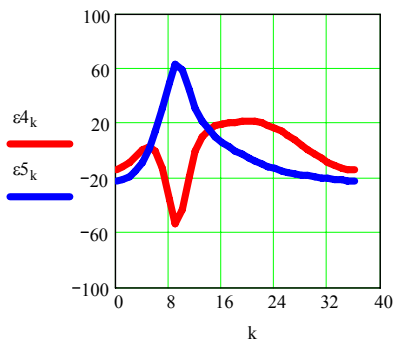


Fig. 16. Parametrii dependenți de acceleratii ai diadei RRR(4,5)

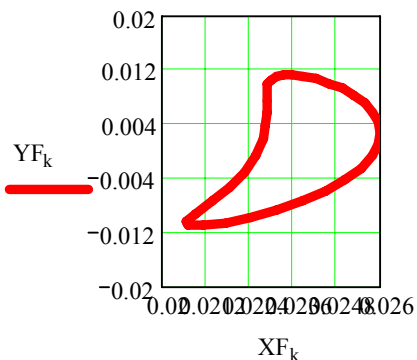


Fig. 17. Traectoria punctului F

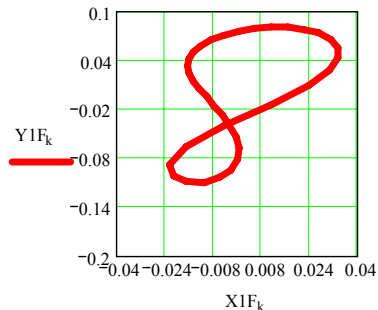


Fig. 18. Hodograful de viteze al punctului F

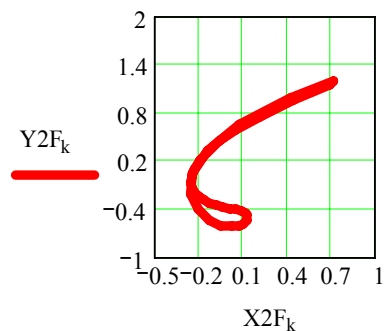


Fig. 19. Hodograful de acceleratii al punctului F

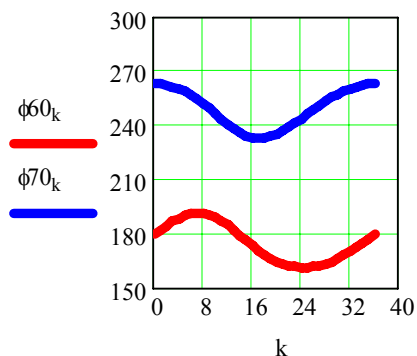


Fig. 20. Parametrii dependenți de poziții ai diadei RRR(6,7)

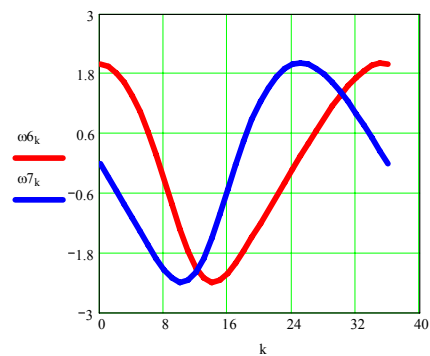


Fig. 21. Parametrii dependenți de viteze ai diadei RRR(6,7)

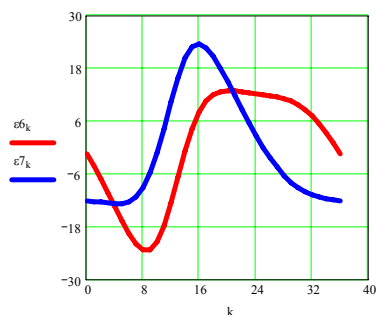


Fig. 22. Parametrii dependenți de acceleratii ai diadei RRR(6,7)

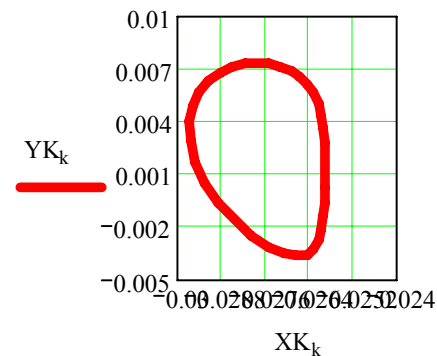


Fig. 26. Traiectoria punctului K

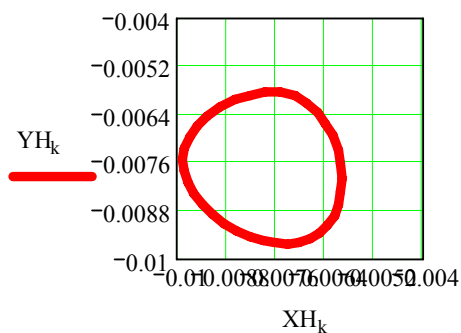


Fig. 23. Traiectoria punctului H

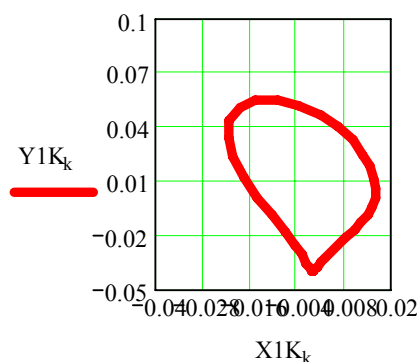


Fig. 27. Hodograful de viteze al punctului K

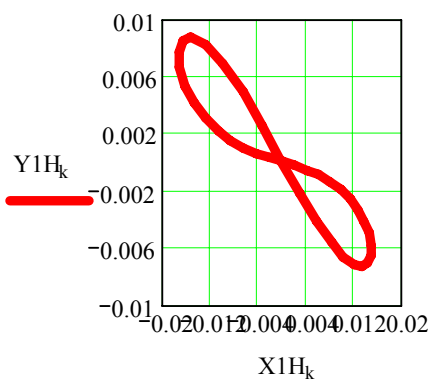


Fig. 24. Hodograful de viteze al punctului H

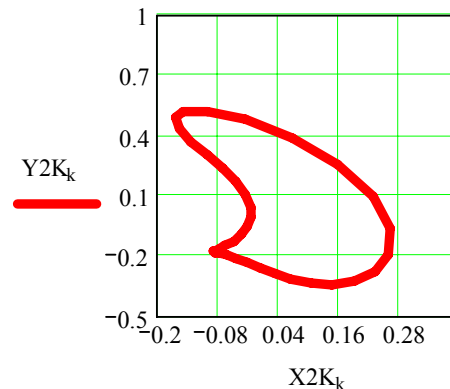


Fig. 28. Hodograful de acceleratii al punctului K

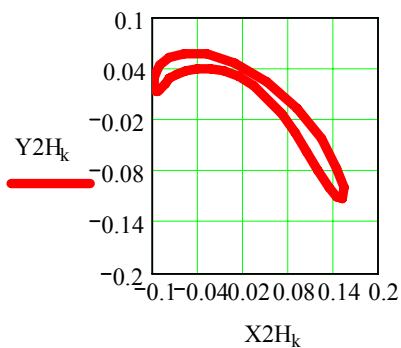


Fig. 25. Hodograful de acceleratii al punctului H

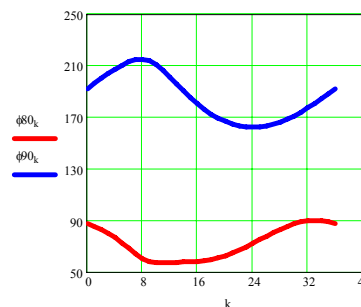


Fig. 29. Parametrii dependenți de poziții ai diadei RRR(8,9)

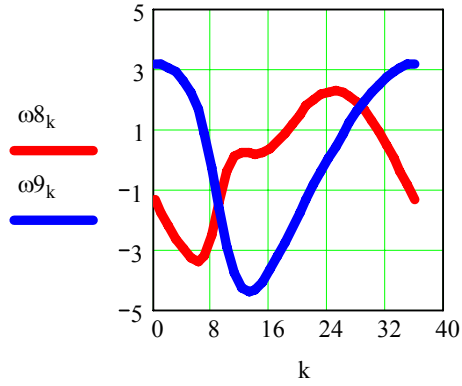


Fig. 30. Parametrii dependenți de viteze ai diadei RRR(8,9)

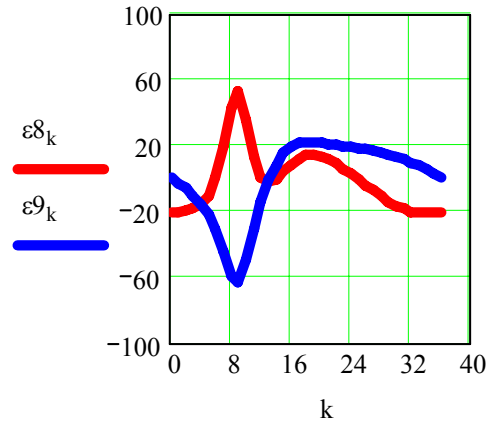


Fig. 31. Parametrii dependenți de accelerații ai diadei RRR(8,9)

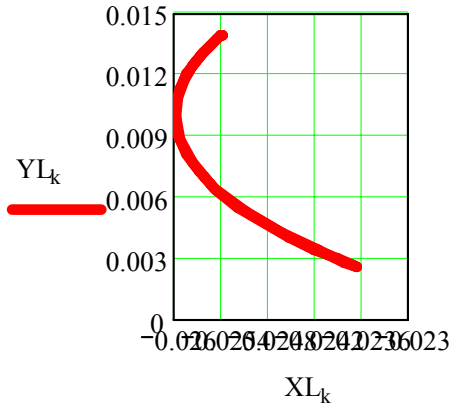


Fig. 32. Traectoria punctului L

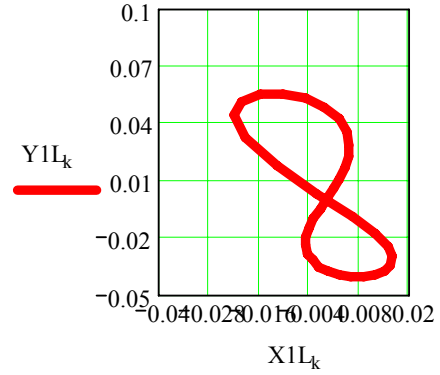


Fig. 33. Hodograful de viteze al punctului L

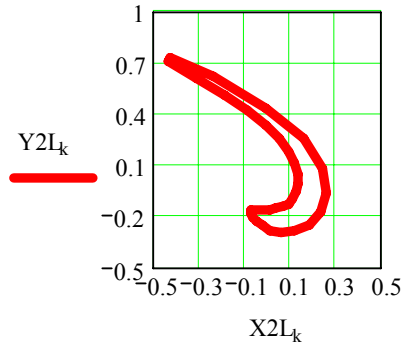


Fig. 34. Hodograful de accelerații al punctului L

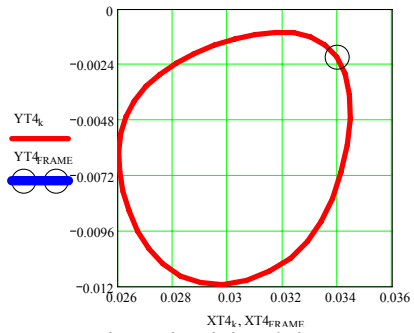


Fig. 35. Traectoria piciorului T4

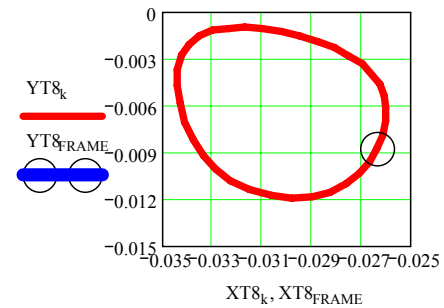


Fig. 36. Traectoria piciorului T8

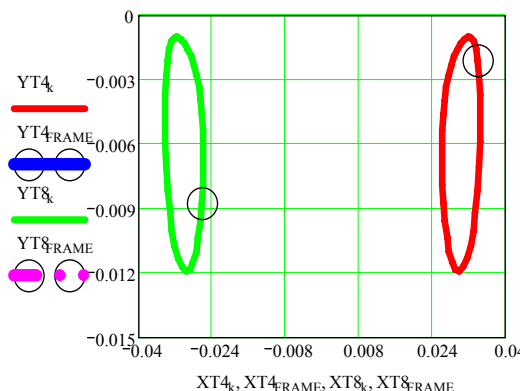


Fig. 37. Traectoria extremităților celor două picioare

4 MODELAREA SISTEMULUI BIOMORF

Software-urile CAD/CAM/CAE au o alcătuire de tip modular cu ajutorul căreia se poate realiza proiectarea unor produse performante.

Pentru a efectua modelarea fiecărui element cinematic din componența sistemului biomorf, prezentat în figura 1, se utilizează opțiunea Part.

Pentru modelarea fiecărui element cinematic se parcurg următorii pași:

Se deschide un fișier nou;

Se alege fereastra *Sketch*;

Se alege planul de lucru. În acest caz s-a ales *Front Plane*;

Se alege axa de simetrie și apoi forma *Straight Line*;

Cu ajutorul comenzii *Smart Dimension* se stabilesc cotele exacte ale elementelor cinematice.

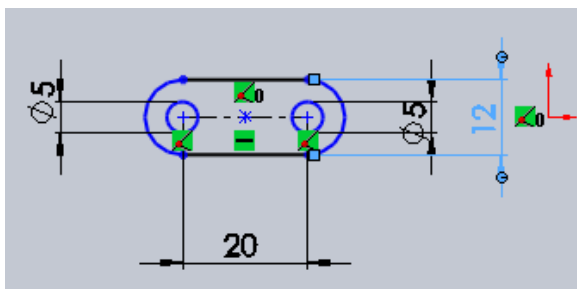


Fig. 38. Proiectarea elementului cinematic 1 – AB

După obținerea schiței din figura 38 se alege fereastra *Features*. Din această fereastră se alege comanda *Extruded Boss/Base* cu ajutorul căreia se obține extrudarea piesei (figura 39).

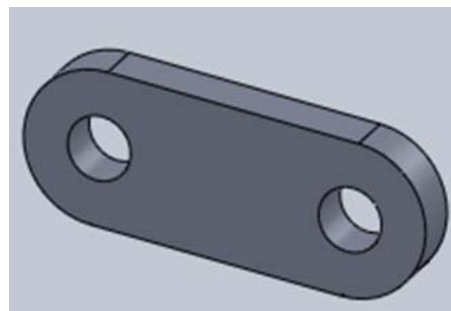


Fig. 39. Extrudarea elementului cinematic 1 – AB



Fig. 40. Proiectarea elementului cinematic 2

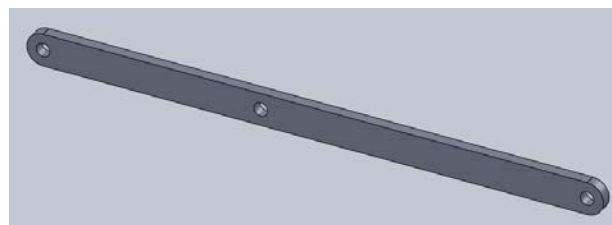


Fig. 41. Extrudarea elementului cinematic 2

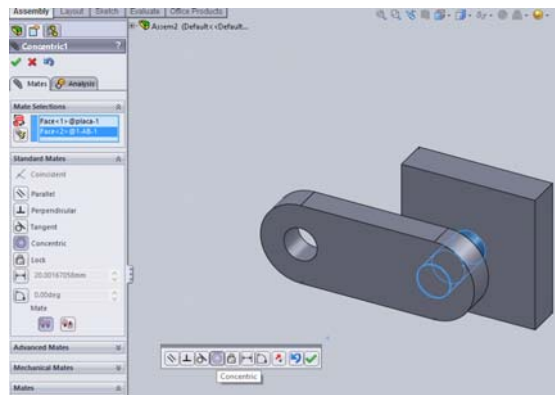


Fig. 42. Asamblarea elementelor cinematice

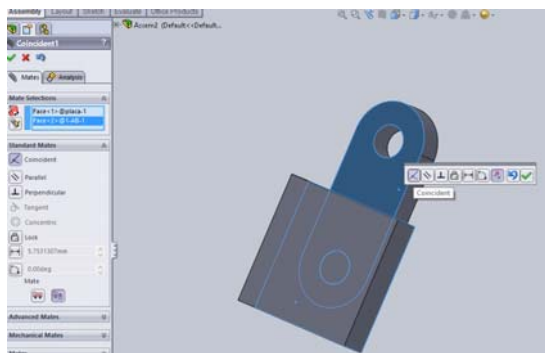


Fig. 43. Asamblarea elementelor cinematice cu ajutorul funcției de coincidență

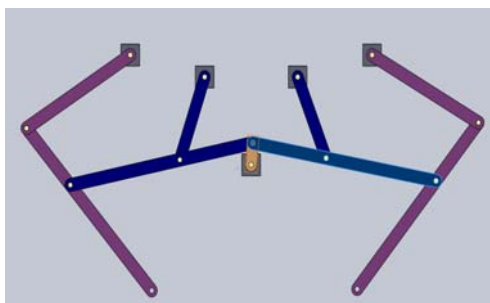


Fig. 44. Sistemul biomorf

Sistemului biomorf prezentat în figura 41 s-a obținut prin asamblarea tuturor elementelor cinematice și stabilirea constrângerilor dintre acestea.

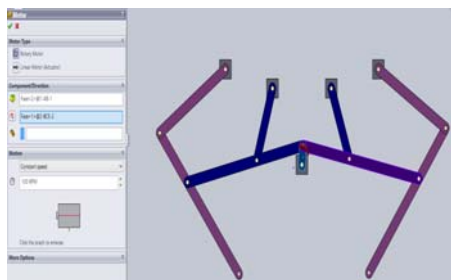


Fig. 45. Evidențierea motorului mecanismului

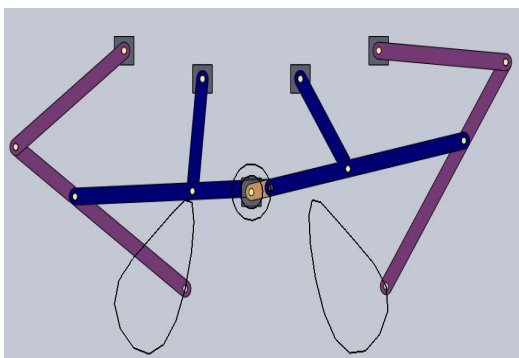


Fig. 46. Trajectoriile picioarelor crabului

5 CONCLUZII

În această lucrare s-a realizat analiza structural - cinematică a unui sistem biomorf de tip crab. Pentru acesta s-au pus în evidență grupele modulare active și pasive, cu ajutorul cărora s-a efectuat analiza cinematică. Un alt obiectiv al acestei lucrări a fost modelarea sistemului. Pentru aceasta s-au modelat toate elementele cinematice. Apoi, cu ajutorul constrângerilor s-a obținut ansamblul final și s-au evidențiat traiectoriile extremităților picioarelor și a elementului motor.



6 BIBLIOGRAFIE

- [1]. Comănescu, A., Comănescu, D., Dugăeșescu I., Boureci, A., (2010), *Bazele modelării mecanismelor*, Editura Politehnica Press, București
- [2]. Pelecudi, Chr., Comănescu, A., s.a., (1985), *Analiza cinematică a mecanismelor - probleme*, UPB
- [3]. Pelecudi, Chr., *Bazele analizei mecanismelor*, (1967), Editura Academiei Republicii Socialiste Romania

7 NOTAȚII

Următoarele simboluri sunt utilizate în cadrul lucrării:

- X, Y = parametrii de poziție [m];
- X1, Y1 = parametrii de viteză [m/s];
- X2, Y2 = parametrii de accelerație