

LOCOMOTIA BIOSISTEMELOR - MODEL DE INSPIRATIE IN MINI / MICROROBOTICĂ

Olimpiu TĂTAR, Dan MÂNDRU, Ion LUNGU

Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, Facultatea de Mecanică

Catedra: Mecanisme, Mecanică Fină și Mecatronică,

400641, Cluj-Napoca, B-dul Muncii 103-105, e-mail: olimpiut@yahoo.com

Abstract: In the first part of the paper, the locomotion of the biosystems is presented. Within the bionics, the locomotion of the biosystems is a source of inspiration for the mini / microrobots. In the second part, the locomotion methods of the mini/ microrobots are emphasized and the authors' contributions in this field are described.

1. LOCOMOTIA BIOSISTEMELOR

Biosistemele se caracterizează prin mișcare mecanică (a lor și a subsistemelor componente), la nivel molecular, subcelular și supracelular. Mișcarea activă a ființelor vii constă fie în mobilitate (capacitatea de a-și schimba poziția în spațiu), fie în contractilitate (capacitatea de a genera forțe), [2]. Deplasarea organismelor poate avea loc [3], [5]:

a) *la limita de separație dintre două medii*. Astfel, deplasarea poate avea loc la limita dintre apă și uscat (animale ce se deplasează pe fundul apelor), la limita dintre aer și uscat (animale ce se deplasează pe suprafața pământului, prin târâre sau pășire) sau la limita dintre aer și apă (animale ce se deplasează la suprafața apei).

b) *în cuprinsul aceluiași mediu (în apă sau în aer)*. Mișcarea în cuprinsul aceluiași mediu poate fi *înot (locomotie acvatică)* și *zbor (locomotie aeriană)*.

Organismele unicelulare se deplasează fie cu ajutorul mișcărilor amiboidale fie cu ajutorul cililor sau al flagelilor. Mișcarea ciliară și flagelară dă posibilitatea deplasării cu ușurință a organismelor în mediul lor extern. Mișcarea cililor este de "vâslire ciliară", (Fig. 1) un ciclu având cursa utilă (C.U. 1-2-3) și cursa de revenire (C.R. 4-5-6). În timpul C.U. cilul se înclină spre bază, împingând lichidul pe lângă suprafața de care este ancorat (săgeata indică sensul de deplasare al fluidului). În timpul cursei de revenire, care este mai lung decât al celei utile, cilul nu mai este rigid, ci se îndoaie treptat, revenind în poziția "1" gata de a începe un nou ciclu. Cilii vâslesc cu o frecvență de 10-14 Hz și realizează o viteză de transport a filmului de lichid de aproximativ 1 mm/s. Frecvența cililor depinde de specia considerată dar și de condițiile de mediu. Cilii nu se mișcă aleatoriu ci coordonat, ca un lan de grâu în bătaia vântului, producând un flux neîntrerupt de lichid pe lângă suprafață. Figura 1 b prezintă astfel de cili (numiți metacroni) în diferite faze ale cursei utile.

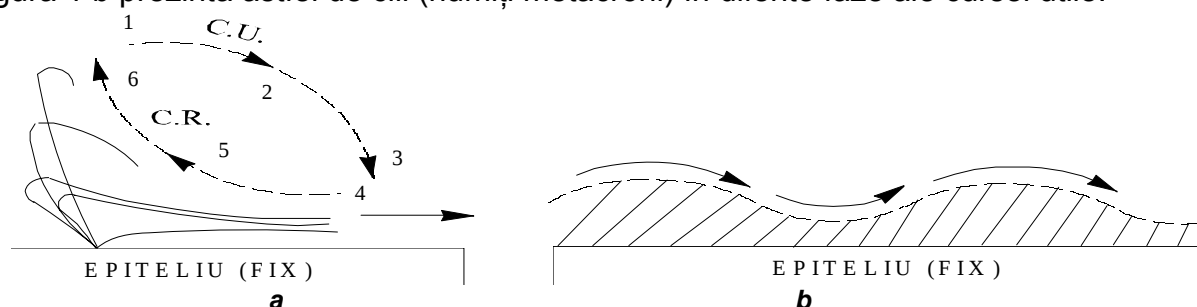


Fig. 1 Mișcarea ciliară

Flagelii sunt specializați pentru realizarea înotului într-un lichid. Ei constau din protuberanțe ale membranei plasmatic umplute cu un mănunchi de tubule cu diametre comparabile cu ale cililor ($0,5 \mu\text{m}$) dar cu lungimi mai mari, de la $0,1 \div 0,2 \text{ mm}$ până la câțiva mm. Ei execută o mișcare în plan, ondulatorie, care se propagă de la baza lor, de lângă membrană, spre vârf asigurându-le prin reacțiune, o împingere înainte (Fig. 2). Săgeata indică sensul de înaintare. Frecvența bătailor flagelilor este de $40 \div 60 \text{ Hz}$, viteza de deplasare a celulei fiind de $5 \div 50$ lungimi de flagel pe secundă.

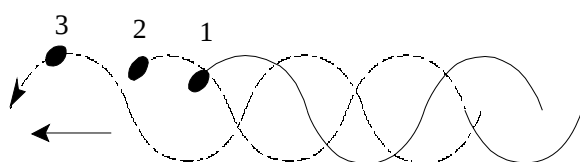


Fig. 2 Mișcarea flagelilor

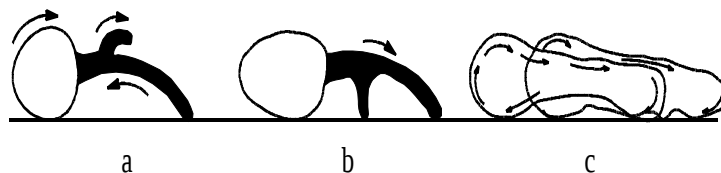


Fig. 3 Deplasarea amibe

Mișcarea organismelor animale ce nu au un țesut muscular se realizează prin mecanisme primitive bazate pe existența unor elemente contractile în protoplasmă, a unor formațiuni contractile sau pe mișcarea protoplasmei. Astfel cea mai primitivă formă de mișcare din lumea animală este mișcarea amiboidală. Principial există două tipuri de amiboism: prin *tracțiune* și prin *rostogolire*. Excitantul cel mai frecvent al unei amibe este o substanță alimentară. Când aceasta ajunge în contact cu corpul amibe, o excită și determină formarea unui pseudopod. Acesta aderă cu capătul lui la suport și, contractându-se, trage corpul amibe înainte (Fig. 3 a, b); apoi se formează un nou pseudopod. În cazul amiboismului prin rostogolire, pseudopodul format înaintază continuu iar protoplasma se rostogolește ca și șenilele unui vehicul (Fig. 3 c).

Deplasarea prin târâre presupune înaintarea prin mișcări specifice, cu trupul lipit de pământ, ceea ce conduce la o pierdere mare de energie prin frecare. Performanțele cele mai mari la deplasarea prin târâre, le obțin animalele fără picioare (apodele): șerpii, râmele, melcii, omizile etc.

Astfel, deplasarea șerpilor se realizează prin ondulații laterale orizontale, prin așa-numita mișcare serpentiformă (Fig. 4). Ondulațiile se propagă din regiunea anterioară spre regiunea posterioară, asperitățile terenului servind ca puncte de sprijin. Solzii ventrali sunt folosiți drept pârghii pentru înaintarea corpului. Un alt tip de mișcare specifică șarpelui este mișcarea tip concertină, executată în spații înguste (Fig. 5). Șarpele își strânge o parte a corpului său în câteva bucle cu care presează pereții tunelului, în felul acesta fixând acea parte. În acest timp partea anterioară se îndreaptă în sensul de deplasare. Apoi are loc fixarea corpului șarpelui în noua poziție și reluarea procesului de înaintare.

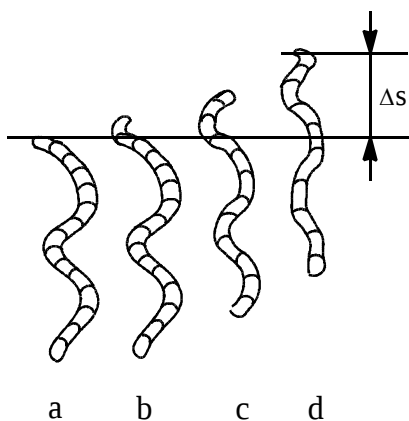


Fig. 4 Mișcarea serpentiformă a șarpelui

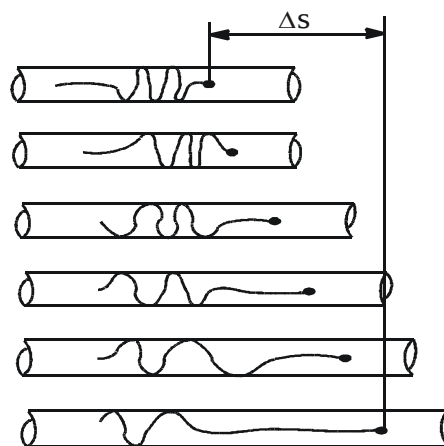


Fig. 5 Mișcarea concertină a șarpelui

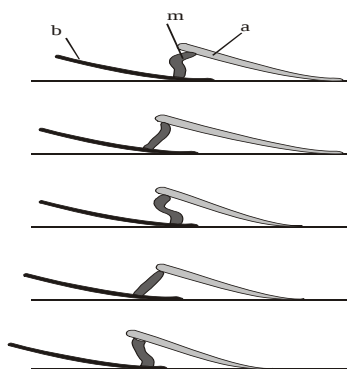


Fig. 6 Acțiunea solzilor ventrali

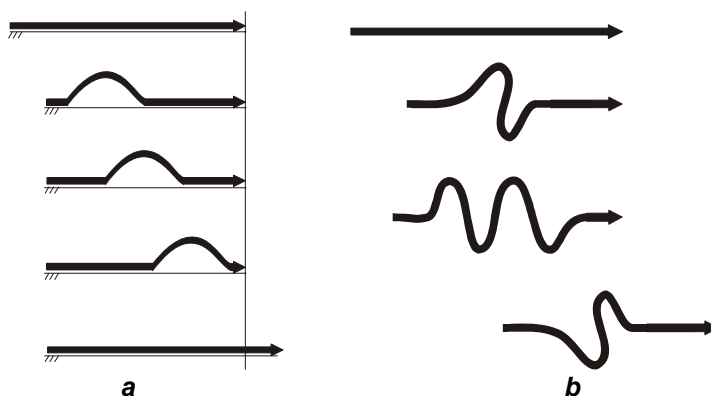


Fig. 7 Principiul de deplasare al viperei și al cobrei

În figura 6 este ilustrat schematizat mecanismul acțiunii solzilor ventrali la înaintarea șarpelui. S-au utilizat notațiile: a – solz posterior, b – solz anterior, m – mușchi tegumentar. Solzii tegumentari ventrali sunt dispuși transversal față de axa corpului. Prin contracția mușchilor tegumentari un solz este ridicat și tras înainte. Acesta se sprijină cu marginea lui posterioară de o asperitate, astfel încât servește ca pârghie pentru tragerea înainte a solzului următor. În acest fel, pornind din regiunea anterioară, până în regiunea posterioară, corpul este tras treptat înainte.

În figura 7 a este reprezentat schematic principiul de deplasare al viperei, bazat pe ondulații în plan vertical comparativ cu al cobrei, bazat pe ondulații și extensii în plan orizontal, (Fig. 7 b).

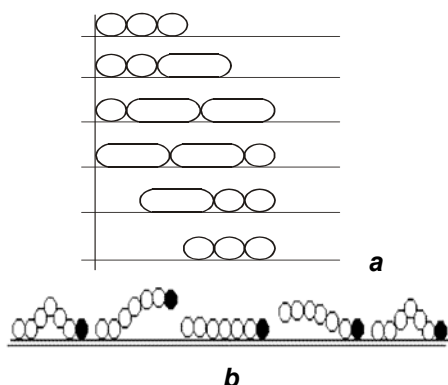


Fig. 8 Alte principii de locomoție

Principiul de deplasare al viermilor – bazat pe extensie în plan orizontal este prezentat în figura 8 a iar în figura 8 b este un alt exemplu de locomoție specifică lumii vii.

Locomoția râmei se face tot prin târâre prin mișcări ce se aseamănă cu cele peristaltice folosind ca pârghii de sprijin perișorii laterali ai corpului și asperitățile terenului (Fig. 9). În prima fază are loc o subțiere și o împingere înainte a regiunii anterioare a corpului prin contracția musculaturii circulare și relaxarea celei longitudinale. Apoi urmează o trecere înainte a regiunii posterioare a corpului prin contracția musculaturii longitudinale și relaxarea celei circulare, având ca punct de sprijin perișorii laterali îndreptați cu vârful spre înapoi. Astfel întregul corp, sau unele segmente, se poate deplasa spre înainte dar nu mai poate reveni la poziția inițială. Scurtările și lungirile succesive ale unor porțiuni din corpul râmei se obțin prin îngroșarea și subțierea acestora și nu prin curbare ca la șarpe.

Deplasarea lipitorilor se realizează printr-un mecanism asemănător, alungirile și scurtările corpului determinate de contracția succesivă a musculaturii circulare și longitudinale fiind însoțite de fixarea prin intermediul ventuzelor (Fig. 10).

Din totalitatea speciilor regnului animal, vertebratele reprezintă 9%, insectele 70% și celelalte grupe de animale 21%. Din cele peste 4 milioane de specii de insecte, au fost studiate numai aproximativ 750.000 [3], [8]. Insectele se deplasează cu ajutorul picioarelor sau al aripilor, acționate de un mare număr de mușchi.

Mecanismul general al locomoției vertebratelor presupune următoarea succesiune: impuls nervos, contracție musculară, acțiune a pârghiilor osoase și mobilitate articulară. Un număr de viețuitoare (cangurul, iepurele, broasca, lăcusta) se deplasează prin salt, în condiții de consum energetic minim, viteză de deplasare mare și echilibrare dinamică.

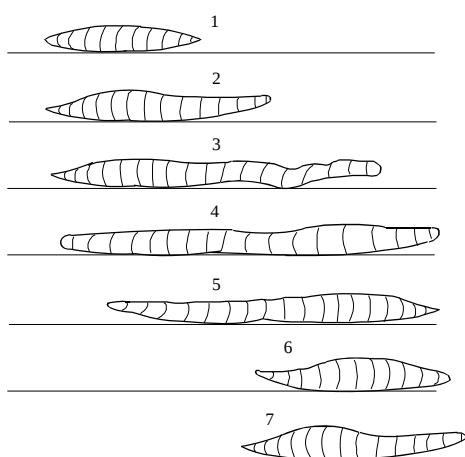


Fig. 9 Locomoția râmei

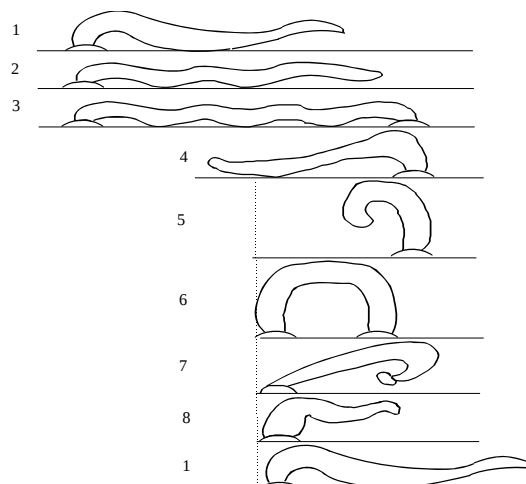


Fig. 10 Locomoția lipitorilor

La broască (Fig. 11) salturile se bazează pe picioarele din spate, ale căror dimensiuni sunt mult mai mari decât ale celor din față, permițând o cursă mare a saltului. Membrele anterioare au rolul de a amortiza șocul la cădere pe sol, după săritură.

Diversitatea anatomică și morfologică a faunei acvatice se regăsește și în diversitatea mecanismelor fiziologice cu ajutorul cărora reprezentanții se deplasează în acest mediu. O primă categorie de animale sunt cele care plutesc datorită formei și densității corpului lor (*înot surfactant*). Insectele cu această posibilitate de deplasare, au la capătul abdomenului glande ce secretă o substanță care micșorează tensiunea superficială a apei [8].



Fig. 11 Saltul unei broaște



Fig. 12 Fazele unei întoarceri executate de un pește

Cele mai multe animale acvatice se deplasează, însă, activ în masa apei, în moduri foarte diferite - prin alunecare, prin mișcare de "tumbă" (actiniile), prin mișcări serpentiforme (viermii), cu ajutorul picioarelor (crustaceii), prin aruncarea bruscă a apei din cavitățile lor (meduzele, cefalopodele) sau prin înot (crustaceii și peștii).

Corpul peștilor, fusiform, asigură o rezistență minimă de înaintare din partea apei. Acest lucru nu este datorat numai formei corpului ci și utilizării unor generatori de vârtejuri în regiunea codală, utilizării mucusului pentru micșorarea rezistenței la înaintare. Deplasarea peștilor este datorată mișcărilor ondulatorii efectuate de înotătoarea codală sau de întregul corp, având ca punct de sprijin masa de apă. Celelalte înotătoare asigură menținerea unei anumite poziții a corpului la schimbarea direcției de înot. În figura 12 sunt ilustrate fazele unei întoarceri efectuate de un pește.

Locomoția aeriană se referă la zborul păsărilor și al insectelor. Două treimi din totalul speciilor animale pot zbura. Ele utilizează energia musculară pentru a echilibra greutatea corpului lor și pentru a învinge rezistența opusă de aer la înaintare. La păsări, densitatea este micșorată datorită sacilor aerieni și structurii poroase a oaselor, iar la insecte, datorită sistemului respirator troheal, plin cu aer. Zborul poate fi planat sau batant. Frecvența bătailor variază de la 5 Hz la fluturi, până la 1000 Hz la musculițe. Multe insecte pot zbura lateral, pe verticală sau chiar înapoi. Păsările pot atinge până la 160 km/h.

2. LOCOMOȚIA ÎN MINI / MICROROBOTICĂ

Prin analogie cu locomoția biosistemelor, în funcție de modalitatea de locomoție a mini si microroboților mobili, se disting următoarele posibilități de deplasare, (Tab.1), [10].

Tabelul 1 Modalități de locomoție ale mini / microroboților mobili

Locomoția într-un singur mediu	- locomoția în aer - locomoția în lichid
Locomoția la limita de separare a două medii	- locomoția pe suprafață solidă (la limita solid-aer) - locomoția pe suprafața lichidului (la limita lichid-aer) - locomoția pe fundul apei (la limita lichid-solid)

În concordanță cu cele prezentate în [1], [5], [8], [10], în figura 13 sunt prezentate câteva exemple reprezentative de mini sau microroboți mobili, având metode diferite de locomoție si sisteme de acționare variate.

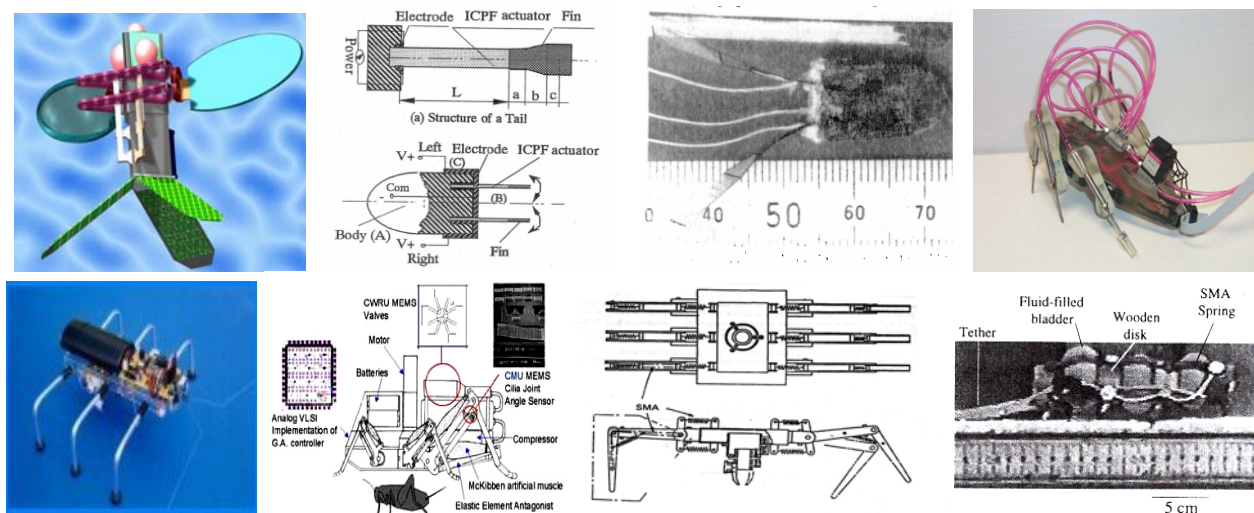


Fig. 13 Exemple reprezentative de mini/microroboți mobili

Din punctul de vedere al elementelor de contact cu mediul de deplasare, mini/microroboții mobili pot fi clasificați în următoarele categorii: cu roți; cu șenile; cu picioare; zburători; înotători; cu sisteme de deplasare combinate (roți-picioare, roți-senile).

În tabelul 2 sunt sistematizate câteva modalități de locomoție utilizate în microrobotică în corespondență cu sistemele de acționare ale acestora.

Tabelul 2 Modalități de locomoție și sisteme de acționare specifice

Modalități de locomoție	Căi de rulare	Acționarea
Fără roți	- pe perii (târâre) - pe picioare înclinate (fără pășire) - pe picioare (pășire)	- Electromecanică - Piezoelectrică - Actuatori pe bază de memoria formei - Electrostatică
	- fără contact	- Pneumatică - Electrostatică - Electromecanică

Cu roți	- pe roți	- Electromagnetică	- motoare de curent continuu - motoare pas cu pas fără fire (de ex. prin transfer optic de energie)
		- Piezoelectrică	- micromotore ultrasonice
		- Pneumatică	- motoare rotative
Cu șenile	- pe șenile	- Electromecanică - Pneumatică	
Sisteme hibride	- cu roți și picioare - cu roți și șenile	- Electromagnetică - Piezoelectrică - Actuatori pe bază de memoria formei	

Sistemele de acționare pentru mini/microroboții mobili trebuie să facă față următoarelor constrângeri generale: putere mică / eficiență mare; control simplu; să reziste în medii ostile. În același timp mini/microroboții trebuie: să traverseze terenuri cu obstacole mai mari decât propriile dimensiuni; să dispună de mecanisme simple de escaladare; să fie ușor de realizat.

3. CONTRIBUȚII ÎN DOMENIUL MINI / MICROROBOȚILOR MOBILI

Contributia autorilor in acest domeniu (modelarea, simularea si realizarea mini / microrobotilor mobili) este focalizată pe dezvoltarea de modele experimentale de sisteme cu locomoție de tip inchworm, având diferite soluții de acționare. Caracteristica comună constă în faptul că în structura lor se regăsesc două module, mobile pe direcție axială una față de alta, pentru a realiza un pas al deplasării. Acestea sunt suținute de picioare inclinate care transforma mișcarea liniară bidirecțională în mișcare unidirecțională.

Astfel, în figura 14 este prezentat un microrobot acționat prin intermediul unui actuator electromagnetic liniar. Această soluție de acționare este justificată de performanțele bune ale actuatorului și de simplitatea sistemului de alimentare. Microrobotul include în structură: un electromagnet alcătuit dintr-o bobină (6) și o armătură de tip plonjor (8), un arc elicoidal (7), două elemente profilate (1,2), un opritor (3), patru picioare miniaturizate (5, 5').

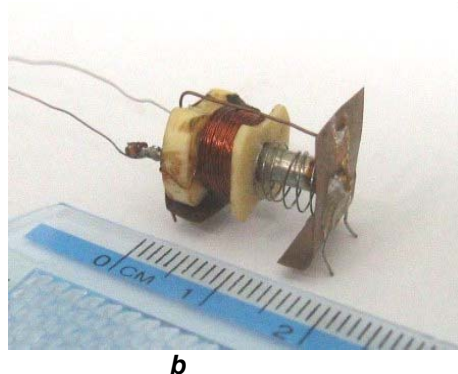
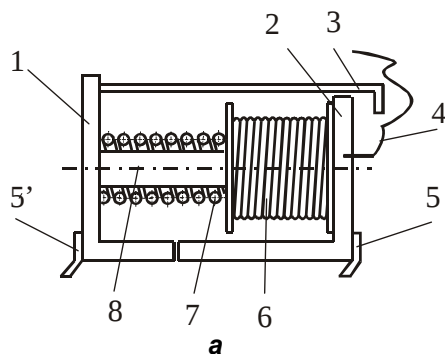


Fig. 14 Schema structurală și fotografia microrobotului cu actuator electromagnetic liniar

Mișcarea în ambele sensuri, generată de către forțele elastică și electromagnetică este transformată în mișcare unidirecțională de către picioarele (5, 5') care se află în contact cu suprafața de deplasare, dispuse la baza elementelor (1, 2). Deplasarea microrobotului este posibilă numai pe suprafețe plane. Microrobotul are dimensiunile $[10 \times 15 \times 10] \text{ mm}^3$ și cântărește aproximativ 2 g.

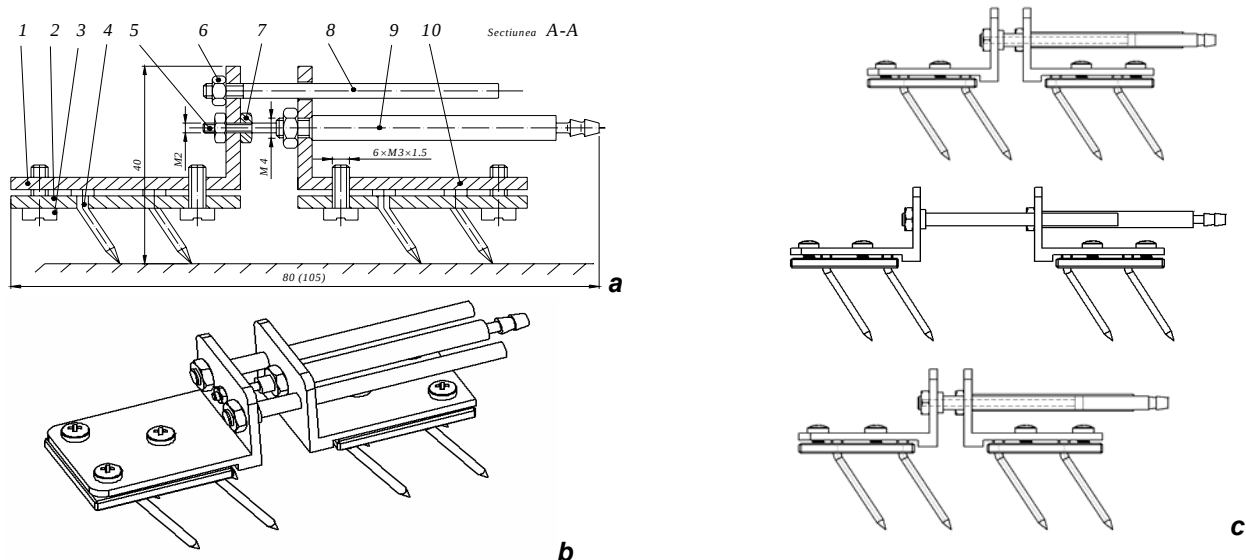


Fig. 15 Schema microrobotului cu actuator pneumatic liniar și fazele efectuării unui pas

Același principiu de deplasare este specific și sistemului mobil din figura 15. Acționarea este asigurată de un piston pneumatic miniaturizat, cu simplă acțiune, de tip Festo EG-4-20-PK-2, prin aplicarea unor impulsuri de presiune de o anumită durată. Mărimea unui pas este 25 mm, egală cu cursa pistonului.

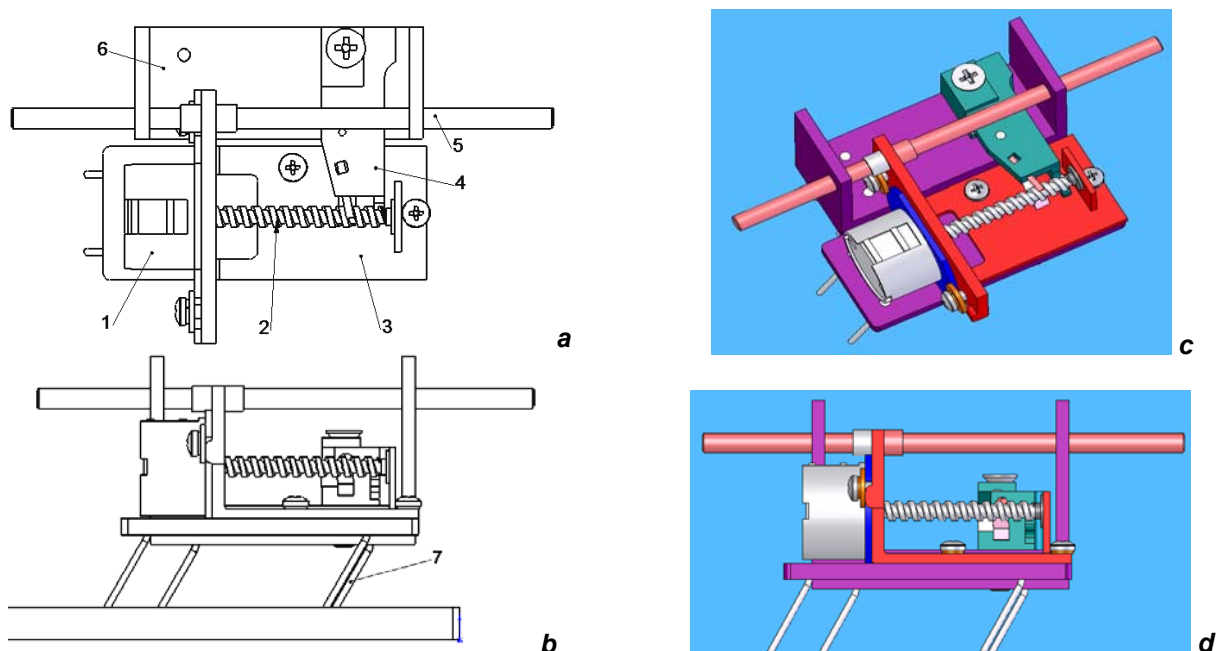


Fig. 16 Sistem mobil inchworm cu motor pas cu pas

Spre deosebire de primele doua exemple, în cazul sistemului mobil din figura 16, cele doua module cu mișcare relativă nu sunt dispuse pe direcție axială, unul după celălalt, ci sunt alăturate, paralele cu direcția de deplasare. Pentru acționare se utilizează

un motor pas cu pas bipolar si o transmisie șurub – piuliță. Dimensiunile acestuia sunt 76 mm lungime, 45 mm lățime, 38 mm înălțime și are greutatea de 50 g. Elementele din structură sunt motorul pas cu pas 1, șurubul 2, piulița 4, ghidajul 5, cele două platforme 3,6, cele șase picioare 7 câte patru pe fiecare platformă. Motorul este comandat prin intermediul unui PC, celor două faze de realizare a unui pas corespunzând sensuri diferite de rotație a axului motorului.

Pentru fiecare din sistemele mobile dezvoltate au fost realizate si modulele de comandă si au fost efectuate teste care au confirmat funcționarea în concordanță cu parametri stabiliți în faza de proiectare.

CONCLUZII

Locomoția organismelor vii (nevertebrate și vertebrate) are la bază mecanisme specifice, interesante din perspectiva unor noi principii de realizare a actuatorilor utilizați în mini / microrobotică și a sistemelor de acționare specifice sistemelor robotizate mobile cărora li se impun condiții de miniaturizare. Au fost realizate mai multe prototipuri funcționale, având același principiu de deplasare dar sisteme de acționare diferite. Autorii au în lucru o variantă cu performanțe îmbunătățite, cu actuatori pe baza de aliaje cu memoria formei. Sistemele mobile dezvoltate pot fi utilizat pentru investigarea spațiilor de dimensiuni mici, cu suprafețe plane și rugoase. Ele sunt utile, de asemenea, în procesul educativ.

BIBLIOGRAFIE

- [1] Fatikow, S., Rembold, U., 1997 - Microsystems Technology and Microrobotics, Springer Verlag.
- [2] Filip, F., Simion, G., 1994 – Modelarea proceselor în biologie și fiziologie, Litografia Universității Politehnice București.
- [3] Gheorghe, V., Popescu, A., 1990 – Introducere în bionica, Editura Științifică, București.
- [4] Mătieș, V., Mândru, D., Tătar, M.O., Mătieș, M., Csibi, V., 2000, - Actuatori în mecatronică, Editura Media Mira, Cluj-Napoca, ISBN 973-9358-16-0.
- [5] Mătieș, V., Mândru, D., Bălan, R., Tătar, M.O., Rusu, C., 2001, - Tehnologie și educație mecatronică, Editura Toderescu, ISBN 973-8198-05-4.
- [6] Mândru, D., Tătar, M.O., Crișan, R., 2004 - Inchworm Mobile Minirobots, A 2-a Conferință Internațională de Robotică ROBOTICA 2004, Timișoara – Reșiță, ISBN 973-97258-3-X, pag. 113-114.
- [7] Raibert, M.H., 1986, - Running With Symmetry, - The International Journal of Robotics Research, Vol. 5, No. 4.
- [8] Tabib-Azar, M., 1998, - Microactuators Electrical, Magnetic, Thermal, Optical, Mechanical Chemical & Smart Structures, Kluwer Academic, Publishers, Boston.
- [9] Tătar, M.O., Mândru, D., Stan S., 2001, - The Kinematic Modelling of Wheeled Mini and Microrobots, The Eighth IFToMM International Symposium on Linkages and Computer Aided Design Methods - Theory and Practice of Mechanisms SYROM 2001, București, pp. 321 – 326.
- [10] Tătar, M.O., Mătieș, V., Mândru, D., - Mini și microroboți, Editura Toderescu, Cluj-Napoca, 2005, ISBN 973-8198-92-5.