

Tehnologia morphing la aeronavele fără pilot (UAV). Forme noi de proiectare ale UAV.

Mircea Boșcoianu*, Prisacariu Vasile*, Cîrciu Ionică*
* "Henri Coandă" Air Force Academy, Brașov, Romania

Rezumat: Vehiculele aeriene fără pilot (UAV) au un curs de dezvoltare rapid din cauza conflictelor și miniaturizarea tehnologiei, care a făcut industria UAV o afacere foarte profitabilă. Deși aceste UAV-uri au capacități ridicate, acestea sunt limitate la o cerere de unică folosință sau misiuni specifice. Posibilitățile de întrebuințare ale unui UAV sunt determinate de capacitatea și calitatea sarcinii utile, care, la majoritatea vehiculelor existente, este reprezentată de diferite tipuri de senzori ambarcați. Sensorii transportați de către UAV-uri diferă ca tip și performanță în conformitate cu rolul UAV și cerințele misiunii.

Această lucrare prezintă o scurtă trecere în revistă a conceptului de morphing împreună cu un model de stabilizare ce poate fi utilizat la UAV morphing.

Cuvinte cheie: morphing, biomecanic, aripa zburătoare, UAV

1. Aspectele de bază ale conceptului Morphing

O aeronavă morphing este, în general, definită ca o aeronavă a cărei formă se modifică în timpul zborului, pentru a optimiza performanțele. Tipurile schimbărilor de formă includ anvergura, coarda, volumul, suprafața portantă, grosimea profilului, alungirea și forma în plan. Morphing poate fi, de asemenea, aplicat la o suprafață de comandă și control în scopul de a elimina balamale. Morphingul poate fi folosit ca un element de control prin schimbarea formei aeronavei în scopul de a modifica dinamica zborului.

2. Conceptele actuale de morphing

Frații Wright au avut ideea de a schimba caracteristicile aerodinamice ale unui avion prin modificarea formei aripii, tehnica deformării structural. Alte metode sunt: diedru variabil pentru stabilitatea aeronavei și prin modificarea anvergurii aripii.

Tehnologia nu este limitată la vehiculele pilotate, dezvoltarea unei noi generații de vehicule aeriene fără pilot (UAV-uri), împreună cu tehnologia materialelor avansate, a dus la interesul reînnoit pentru configurații radicale de morphing. Cercetările actuale se axează pe modificarea configurației aripii și anume: anvergura, grosimea, forma în plan ce au demonstrat că morphing unei aripi, fără suprafețe cu balamale conduce la performanțe îmbunătățite, care pot extinde anvelopa de zbor al unei aeronave.

a. Transformare 1-D

Modificarea unidimensională a aripii pe anvergură - cu wingtips span morphing - reprezentat în fig. 1. Prin realizarea unei schimbări mari în dimensiunea anvergurii pe o mică secțiune a aripii, raportul de aspect al aripii poate fi optimizat în timpul zborului pentru diferite misiuni. În plus, schimbarea anvergurii diferențiate între semiplanuri poate genera un moment de ruli, înlocuind clasicele eleroane de la bordul aeronavei.

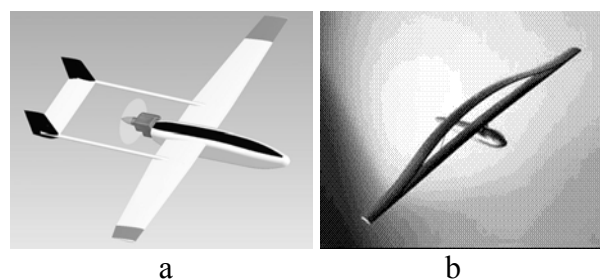


Fig.1 a) Modificarea anvergurii UAV, transformare 1-D, b) Morphing DARPA

b. Conceptul de morphing aripa-buclă

Conceptul de morphing UAV aripa-buclă (sau morphing 3-D) are capacitatea de a schimba configurația aripi dintr-o singură aripă în două aripi lipite la capete.

c. Morphing Wing Concept Generation

Sunt aeronave ce utilizează aripi care au capacitatea de a-și schimba forma în plan în

timpul zborului cu 200% alungirea, cu 50% suprafața portantă și cu 20° unghiul de săgeată. Conceptul morphing la DARPA a fost continuat și în faza a II- a denumit programul “Morphing Aircraft Structures – MAS”.

Conceptul "aripa pliantă", dezvoltat de Lockheed Martin permite variații de anvergură, alungire coardă și unghi de săgeată și NextGen cu modificarea lungimii cozii la încăstrare (fig. 2).

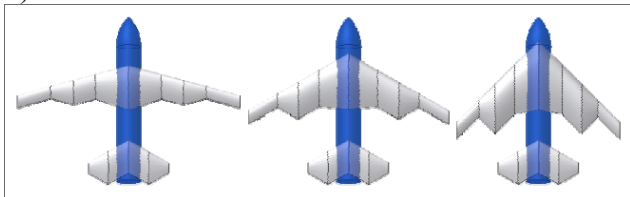


Fig. 2 Morphing Lockheed Martin MAS și NextGen Aeronautics

d. Morphing-ul total la UAV

Aeronautele cu morphing total sunt vehicule de zbor care își modifică forma pentru a efectua o misiune dată cu un control al zborului, fără utilizarea unor suprafețe de comandă convenționale (fig. 3). Aeronaute construite cu tehnologia morphing promit avantaje distincte de a fi capabil să zboare în mai multe tipuri de misiuni, pentru a efectua manevre noi ce nu sunt posibile cu suprafețele de control convenționale, cu un consum de combustibil eficient și să furnizeze o semnătură radar redusă.

Cheia conceptului este integrarea deplină a formei de control în structura aripii cu o structură cu adevărat inteligentă. Designul de aceste vehicule trebuie să țină cont pe deplin de sarcinile aerodinamice și trebuie să ia în considerare cu atenție cerințele de încărcare pentru suprafețele de control pentru a asigura o performanță generală îmbunătățită.

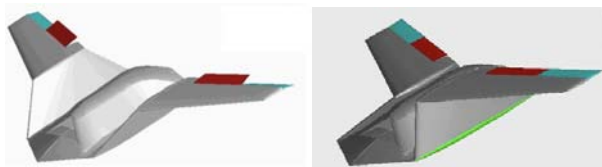


Fig. 3 Schimbări Planform - Lockheed Martin conceptul aripi pliantă.

Avionul cu morphing este un aparat de zbor cu capacitatea de a-și modifica forma exterioară pentru îndeplinirea cerințelor de

performanță extreme ale misiunilor. Experimentul pe aeronava cu suprafață adaptivă (APVE) este un design de UAV a Universității din Virginia. Această aeronavă fără pilot are o structură morphing telescopic a aripiilor, cozii și fuzelajului. Acest proiect a fost realizat pentru a evalua beneficiile obținute în proiectul NextGen Aeronautics Inc, deoarece rezultatele încă nu sunt disponibile (fig. 4).

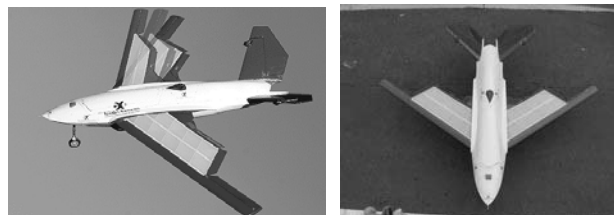


Fig. 4 Aeronave Morphing, N-MAS, morphing 2-D orizontal

MFX-2 este capabil de a se metamorfoza autonom în mijlocul zborului în termen de 10 secunde pentru a-și ajusta aripa ce permite un unghi de săgeată variat pentru a optimiza configurația aerodinamică la diferite regimuri de zbor (fig.5).



Fig. 5 NextGen Aeronautics MFX-2.

e. Winglet-uri multi-axiale

Aceste aripioare sunt capabile de a-și a schimba unghiul diedru (fig. 6), ele nu înlocuiesc suprafețele convenționale de control, dar rezultatele arată că utilizarea lor duc la o îmbunătățire substanțială a zborului.

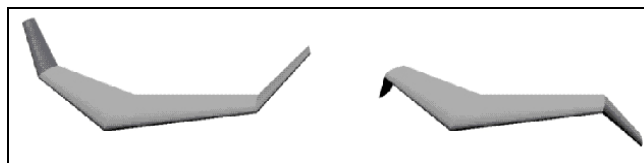


Fig. 6 Aripioarele multi-axiale

f. Morphingul 2-D, modificarea formei pe verticală

Trebuie menționat faptul că morphingul schimbă sistemul de constante în timp, și, ca rezultat, introduce noi termeni inerțiali în dinamica zborului (fig.7).

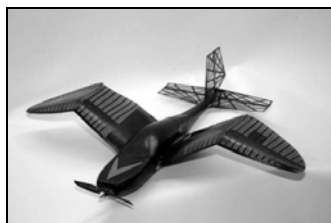


Fig. 7 Morphing vertical 2-D

e. Morphingul la UAV-uri, modificarea formei

Trebuie menționat faptul că morphingul schimbă sistemul de constante în timp, și, ca rezultat, introduce noi termeni inerțiali în dinamica zborului.

Momentele de inerție a unui corp, au profund înfluențe în dinamica zborului și în mișcările asociate acestui corp. Desigur sistemele aeronautice, cu mai multe grade de libertate, translație și de rotație, trebuie să țină cont în mod corespunzător de inerție la un nivel înalt de precizie pentru a modela dinamic sistemul.

f. Aripă flexibilă

Universitatea din Florida a făcut o cercetare pe aripi deformabile, care sunt în măsură să deformeze în mod continuu. Aceste aripi sunt foarte complexe și sunt utilizate pe UAVs (fig. 8a). Aripile flexibile permit forme complexe și sunt mai stabile decât cele rigide, în special în condiții meteorologice turbulente. Controlul manual a formei aripii este o sarcină imposibilă, sunt necesare software și hardware pentru a controla aceste aripi.



a)



b)

Fig. 8 a) Conceptul de aripă flexibilă, b) ILC Dover 'The Apterion' UAV

Caz particular al aripii flexibile (aripa gonflabilă)

Această aripă se umflă zbor (Universitatea din Kentucky) și se rigidizează prin acțiunea de radiații UV în timpul ascensiunii, care se face cu ajutorul unui balon. Cercetătorii de la Dover au o cercetare similară (fig. 14b), dar aripa este acționată piezoelectric. Aceasta aripa este umflată și deflatată, în funcție de nevoile de control în timpul zborului și este capabilă de a-și schimba forma aerodinamică, cum ar fi profilele NACA 8318 și 0018.

Un alt concept interesant morphing UAV provine din anii 1950, care implică ideea de umflarea și dezumflarea aripii pentru ușurința la depozitare și transport. Ideea umflarea și dezumflarea vine de la anvelopele auto produse de compania Goodyear care a creat "Inflatoplane", care a fost un avion de salvare pentru piloții aflați în spatele liniilor inamice. Goodyear a continuat să producă aceste avioane timp de 2 decenii, până când ideea aripii gonflabile a fost adoptată pentru un UAV de ILC Dover numit "Apterion" (fig. 8b).

g. Morphing pentru aripi rotative

Palele de rotor au fost de asemenea modificate prin creșterea lungimii, folosindu-se forțele centrifuge (fig.9) metodă elaborată de Universitatea de Stat Penn. Acest lucru ar fi ideal pentru un vehicul care are nevoie de putere de ridicare mai mare.

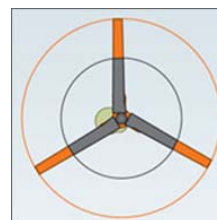


Fig. 9. Morphing pe rotor

3. Evoluțiile viitoare în domeniul morphingului la UAV

NASA's Dryden Flight Research Center promovează ideea de morphingul structurilor care va îmbunătăți diferite aspecte ale zborului. Ei cred că o structură morphing ar putea aduce o

reducere a zgomotului și creșterea eficienței consumului de combustibil, de îmbunătățirea siguranței și manevrabilitate mai buna, viteze mai mici de aterizare, adaptarea la piste scurte și versatilitate extinsă.



Fig. 9 Tehnologia Morphing propusă de NASA

O altă tendință de cercetare se află la Hypercomp NextGen, fig. 10, se utilizează schimbări substanțiale în plan, formă și suprafață.

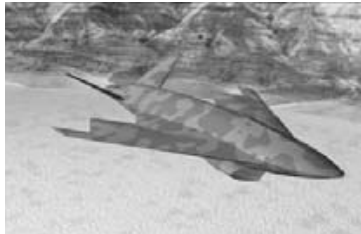


Fig. 10 Next Gen morphing design

Cele mai recente cercetări a fost făcute pe UAV-uri, utilizate pentru experimente datorită dimensiunilor. Materialele composite avansate îmbunătățește design-ul, ca urmare, acestea permit dezvoltarea unor noi structuri și mecanisme de acționare, deoarece acestea sunt mai ușoare și fiabile.

Materialele composite sunt foarte importante în industria aeronautică din cauza diferențelor de greutate duritate și flexibilitate. Materiale cu memorie sunt în curs de cercetare, aceste materiale sunt foarte promițătoare, datorită posibilității de a schimba forma sa prin utilizarea unui semnal electric sau prin variația temperaturii. Îndoirea materialelor este preferabilă deoarece oferă o aerodinamică mai bună, evitând fluxuri turbulente. Cu toate acestea, materiale inteligente mai au un drum lung pentru a deveni devenit de încredere.

4. Model propus

Schema bloc (fig. 9) reprezintă un aparat de zbor , cu sistem de stabilizare a cursei după

variabilele de stare. Se observă existența unei bucle de corecție paralel-opusă.

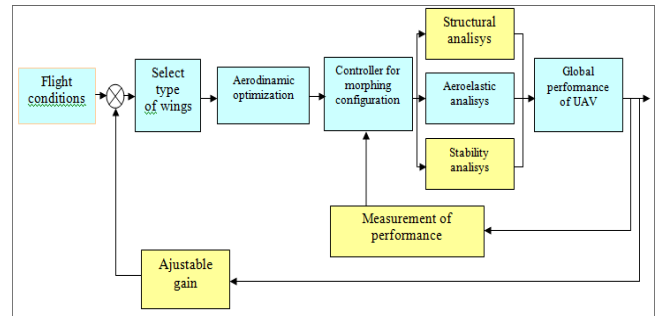


Fig. 9 Schema bloc a modelului optimizat

Structura considerată fig.10, realizează controlul după variabilele de stare, ce-i conferă performanțe dinamice deosebite, în variantă liniară.

Structura unui sistem de poziționare, urmărire unghiulară / rectilinie sau după caz are forma din fig.10, unde v este mărimea de intrare , perturbațiile aleatoare date de p , sistemul de acționare : Ψ, Π , formează un bloc de reacție interioară după viteză cu C_1 și C_2 coeficienții traductoarelor de reacție după ieșirea Γ , N este elementul neliniar reprezentând un amplificator cu o caracteristică de amplitudine în putere, Ω indică o corecție integratoare-derivatoare, x_1, x_2, x_3 , reprezintă variabilele de stare .

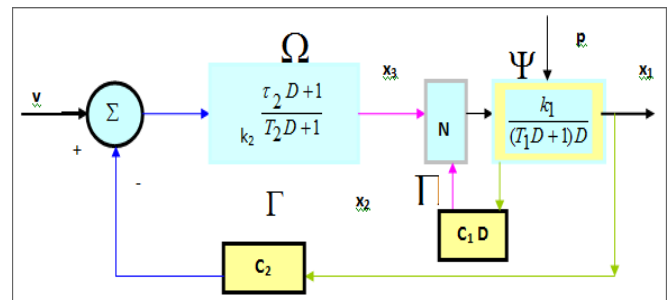


Fig.10 Schema structurală simplificată a sistemului de stabilizare

Considerăm ecuațiile pentru sistem:

$$\dot{x}_1 = \frac{1}{C_1} (x_2) \quad (1)$$

$$\dot{x}_2 = -\frac{1}{T_1} (x_2) + \frac{C_1 k_2}{T_2} y \quad (2)$$

$$\dot{x}_3 = \frac{1}{T_3}(x_3) + \left[\tau_3 \begin{pmatrix} \dot{v} - C_2 \dot{x}_2 \\ v - C_2 x_2 \end{pmatrix} + (v - C_2 x_2) \right] \quad (3)$$

dacă sistemul considerat se reduce la o singură buclă ca în fig.11.

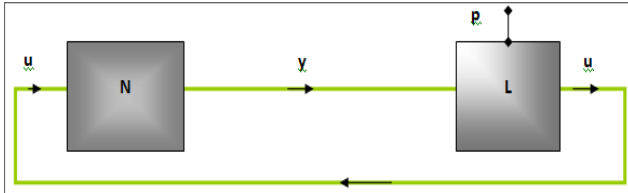


Fig.11 Sistem cu o singură buclă

pentru $v = p = 0$ rezultă ecuația diferențială a acestei părți și caracteristica statică a neliniarității N dat de relația:

$$T_1 T_3 \ddot{u} + (T_1 + T_3) \dot{u} + u = -k_1 [C_1 T_3 \ddot{y} + (C_2 k_3 \tau_3 + C_1) \dot{y} + C_1 k_3 y] \quad (4)$$

$$y = g(u), u = x_1 - x_2 \quad (5)$$

partea liniară L are operatorul de transfer dinamic:

$$H_L(D) = \left(-k_1 \frac{k_2 C_2 - C_1 D}{D} \right) \cdot \frac{1}{DT_3 + 1} \quad (6)$$

Se remarcă că dacă x_1 se ia ca valoare independentă, ecuațiile (1,2,3) se reduc la un sistem cu două ecuații diferențiale de ordinul I în raport cu x_2, x_3 , ce se pot integra în spațiul tridimensional (x_1, x_2, x_3).

$$\frac{dx_2}{dx_1} = -\frac{C_1}{T_2} + \frac{k_2 C_1^2}{T_2} \frac{g(x_3 - x_2)}{x_2} \quad (7)$$

$$\frac{dx_3}{dx_1} = -\frac{C_1}{T_3} \frac{x_3}{x_2} - \frac{C_2 k_3 \tau_3}{T_3} - \frac{C_1 C_2 k_3}{T_3} \frac{x_1}{x_2} \quad (8)$$

Acest model are ca date de intrare și parametri de zbor impuși (viteza, greutate, plafon de zbor) și perturbațiile aleatoare factorii atmosferici din zonele de zbor (presiune, temperatură, umiditate). Performanțele globale ale UAV sunt rezultate din caracteristicile

dimensionale, masice și de mișcare rezultate în urma optimizărilor și analizelor structurale, aeroelastice și de stabilitate.

Limitările conceptului de morphing.

Limitele impuse de conceptul de morphing a aripii de UAV optimizate sunt limitele de conformare ale mecanismelor de execuție și ale caracteristicilor fizico-chimice ale materialelor utilizate în construcția aripii zburătoare. Limitele de operare a UAV-urilor cu morphing pot fi condițiile atmosferice ale zonelor de zbor.

Concluzii

Misiunile speciale dedicate cer manevrabilități excepționale ale MAV. Soluțiile morphing sunt analizate și comparate în funcție de un indicator global axat pe controlabilitate, o manevrare agresivă, iar costurile reduse de fabricație sunt importante la selecția a strategiei de morphing.

Caracteristica statică neliniară N va afecta integral numărătorul și parțial numitorul operatorului echivalent

Conceptul de modularitate, care este bine adaptat la conceptul semiflexibilitate propuse pentru aripa zburătoare cu raport alungire mare. Senzori inerțiali folosiți pentru a măsura caracteristicile de răspuns la manevrele de zbor împreună cu analiza calitativă a performanțelor duce la o îmbunătățire globală a aerodinamicii aripii zburătoare.

Bibliografie

- [1] Jerry Fausz, Ph.D., *Morphing flight: beyond irreducible complexity*, Reason and revelation, January 2010 Vol. 30, No. 1.
- [2] Terrence A. Weisshaar, *Morphing Aircraft Technology – New Shapes for Aircraft Design*, NATO documents unclassified, Meeting Proceedings RTO-MP-AVT-141.
- [3] Michael T. Rusnell, Shawn E. Gano, Victor M. Perez, John E. Renaud, Stephen M. Batill, *Morphing UAV Pareto Curve Shift for Enhanced Performance*, 45th AIAA/ASME/ASCE/AHS/ASC Structures, Structural Dynamics & Materials Conference, 19 - 22 April 2004, Palm Springs, California.

- [4] Chris Page and F. G. Yuan, *Biologically Inspired Morphing Flight for MAV design*, paper course, Department of Mechanical and Aerospace Engineering North Carolina State University (August 20, 2008).
- [5] Edward A. Bubert, *Highly extensible skin for a variable wing-span morphing aircraft utilizing pneumatic artificial muscle actuation*, University of Maryland, 2009.
- [6] Pedro Manuel Magalhães da Costa Aleixo, *Morphing Aircraft Structures - Design and Testing an Experimental UAV*, Technic University Lisabon, 2007.
- [7] M.A. Erbil, S.D. Prior, M. Karamanoglu, S. Odedra, C. Barlow, D. Lewis, *Reconfigurable Unmanned Aerial Vehicles*, Middlesex University, London.
- [8] David A. Neal III, *Design, Development, and Analysis of a Morphing Aircraft Model for Wind Tunnel Experimentation*, abstract thesis, Virginia Polytechnic Institute and State University, 2006 Blacksburg, Virginia, USA.
- [9] Daniel T. Grant, *Modeling and dynamic analysis of a multi-joint morphing aircraft*, University of Florida, 2009, SUA.
- [10] Mircea Boscoianu, Radu Pahonie, Adrian Coman, *Some Aspects Regarding the Adaptive Control of a Flying Wing- Micro Air Vehicle with Flexible Wing Tips*, WSEAS Transactions on Systems, Issue 6, Volume 7, June 2008.
- [11] BELEA, *Automatica neliniară*, Editura Tehnică, București, 1983.
- [12] Ion DUMITRACHE, *Tehnica reglării automate*, Editura didactică și pedagogică , București, 1980.