

SKLANDYTUVO ATAKOS IR SLYDIMO KAMPO MATAVIMŲ TYRIMAI

Vytautas Lapinskas¹, Algimantas Jakučionis²

VGTU AGAI Aviacijos prietaisų katedra El. p. ¹vyckaaa@yahoo.com, ²apk@vgtu.lt

Anotacija. Straipsnyje aprašomas orlaivio atakos ir skydimo kampo matavimo būdas nenaudojant įprastinių daviklių (pitoto vamzdelio arba fliugerinio daviklio). Vietoje jų panaudojami akselerometrai ir valdymo plokštumų padėties davikliai.

Reikšminiai žodžiai: atakos kampas, slydimo kampas, fliugerinis daviklis, Pitoto vamzdelis.

1. Įvadas

Dažniausiai orlaivio atakos ir slydimo kampai (dar vadinami *alfa* (α) ir *beta* (β) kampais) matuojami specialiai tam pritaikytais įrenginiais (Chiesa 2010). Tai yra atakos kampo daviklis su mentele, kuri orientuojasi oro srauto kryptimi (1 pav.) ir vamzdelio tipo davikliai (2 pav.)



1 pav. Atakos kampo daviklis su mentele **Fig. 1.** Vane – type angle of attack sensor



2 pav. Pitoto vamzdelio tipo atakos kampo daviklis

Fig. 2. Angle of attack of Pitot probe

Pirmojo matuoklio trūkumas – viena mentele galima matuoti tik atakos arba tik slydimo kampą. Todėl abiejų kampų matavimui reikalingi du tokie įrenginiai. Šio trūkumo neturi antrasis daviklis – vienu davikliu galima matuoti atakos ir slydimo kampus vienu metu.

Egzistuoja ir kiti *alfa* ir *beta* kampų matavimo metodai. Vienas jų yra kampų nustatymas panaudojant duomenis apie orlaivio greičius trimis ašimis: išilgine, skersine ir vertikaliaja. Taip pat šiam metodui reikalingi duomenys apie orlaivio valdymo plokštumų padėtis.

2. Metodo aprašymas

Linijinio kampų α ir β matavimo modelio matematinė išraiška:

$$\begin{cases} x = Ax + Bu + L\delta y, \\ y = Cx + Du \end{cases}$$
(1)

čia u yra vektorius, kuriame yra valdymo plokštumų skaičius, x – vektorius su apskaičiuotais atakos ir slydimo kampais ir sukimosi apie tris ašis: išilginę, skersinę ir vertikaliąją, δy – paklaidos vektorius, į kurį įeina paklaidos tarp išmatuoto ir apskaičiuoto greičių, y – matavimo vektorius, kuriame yra apskaičiuoto greičio reikšmės, A, B, C, D – matricos, apibūdinančios orlaivio judėjimą, L – grįžtamoji matrica.

Atakos ir slydimo kampai turėtų visada būti tarp atitinkamai maksimalių reikšmių, pavyzdžiui: $\alpha = \pm 10^{\circ}$ ir $\beta = \pm 5^{\circ}$. Nustatytų kampų viršijimas gali turėti įtakos skrydžio stabilumui.

Matematinis sistemos modelis naudojamas atvirojo kontūro sistemai įvertinti. Tačiau dėl trikdžių – parametrų netikslumo, nemodeliuojamų kintamųjų, tokių kaip vėjo greitis – gaunami netikslūs atvirojo kontūro sistemos duomenys. Šis trūkumas gali būti eliminuojamas naudojant kontrolinį kontūrą, kitaip tariant – skaitmeninį valdymo filtrą. Filtras užtikrina modelio ir išmatuotų davikliais kintamųjų apjungimą, tokiu būdu eliminuojant išorinius trikdžius.

Atvirojo kontūro lygtis koreguojama kontrolinio kontūro reikšmėmis. Pastarosios yra atvirkščiai proporcingos paklaidai, gaunamai dėl modelio ir išmatuotų kintamųjų nevienodumo.

Jeigu faktinių matavimų rinkinys yra pakankamai charakteringas, tada netgi dydžiai, kurie nėra matuojami tiesiogiai, atitinka realias reikšmes. Todėl atakos ir slydimo kampų nustatymui pakanka kampinių greičių matavimų rezultatų. Aptariamos sistemos struktūrinė schema pateikta 3 paveiksle:



3 pav. Struktūrinė sistemos veikimo schema

Fig. 3. Structural diagram of system operation

Kaip žinoma, orlaivyje yra keletas valdymo plokštumų: eleronai, posūkio ir aukščio vairai. Ramybės būsenoje jie yra susilygiavę su atitinkamomis plokštumomis: eleronai su sparnais, aukščio vairas – su stabilizatoriumi, posūkio vairas – su kiliu. Toliau terminas "nuokrypis" bus suprantamas kaip kampas, susidaręs tarp valdymo plokštumos ir plokštumos, ant kurios jis pritvirtintas.

3 paveikslo schemoje: 1 - išmatuojami valdymo plokštumų nuokrypiai (d₁ – eleronų, d₂ – aukščio vairo ir d₃ – posūkio vairo nuokrypis). Nuokrypius matuoja davikliai, kurie yra išdėstyti atitinkamais atstumais nuo valdymo plokštumų.

2-ajame žingsnyje matuojami inerciniai greičiai: efektyvusis posūkio greitis p_E , efektyvusis nuolydžio greitis q_E ir efektyvusis pokrypio greitis r_E . Pastarieji greičiai atspindi orlaivio sukimąsi apie 3 pagrindines ašis: x, y ir z.

3-iame žingsnyje sukuriamas orlaivio judėjimo erdvėje dinaminis modelis su šešiais laisvės laipsniais. Modelis kuriamas remiantis gautais duomenimis, orlaivį patalpinus į oro tunelį.

Toliau iš dinaminio modelio gaunamas linijinis modelis. Linijinis modelis toliau naudojamas kaip atviro kontūro sistema. Pastarasis modelis aprašomas lygčių sistema (1).

Matricos A pavyzdys turistiniam orlaiviui, skrendančiam 2000 pėdų aukštyje 350 km/val. greičiu:

$$\begin{vmatrix} a_{s} \\ \beta_{s} \\ p_{s} \\ q_{s} \\ r_{s} \end{vmatrix} = \begin{pmatrix} -2.629 & 0 & 0 & 0.95414 & 0 \\ 0 & 0.4154 & 0.03543 & 0 & -0.999 \\ 0 & -1.578 & -6.497 & 0 & 2.258 \\ -8.106 & 0 & 0 & -2.23 & 0 \\ 0 & 6.548 & -0.4943 & -0.8744 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} a_{s} \\ \beta_{s} \\ p_{s} \\ r_{s} \end{pmatrix}, (2)$$

Matricoje A jau yra įvertintas vektorius x:

$$x = \begin{pmatrix} a_s \\ \beta_s \\ p_s \\ q_s \\ r_s \end{pmatrix}, \qquad (3)$$

Matrica B atspindi valdymo plokštumų polinkio poveikį orlaivio būsenai ore. Matricos B pavyzdys sudarytas esant tokioms pačioms sąlygoms kaip ir matricai A: turistiniam orlaiviui, skrendančiam 2000 pėdų aukštyje 350 km/val. greičiu:

$$\begin{pmatrix} \cdot \\ a_{S} \\ \vdots \\ \beta_{S} \\ \cdot \\ p_{S} \\ \cdot \\ q_{S} \\ \cdot \\ r_{S} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & -0.1176 & 0 \\ 0.05399 & 0 & 0.0986 \\ 36.47 & 0 & 0.196 \\ 0.7896 & 0 & 0.7896 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} d_{1} \\ d_{2} \\ d_{3} \end{pmatrix}, \quad (4)$$

Matrica C yra skirtumas tarp kintamųjų, kurie gali būti išmatuoti fiziškai ir tų kintamųjų, kurie yra apskaičiuojami. Tai yra matrica su nuliais, išdėstytais tokiu būdu, kad jie susiprastintų su nustatytu atakos kampu a_s ir slydimo kampu β_s , esančiais vektoriuje x, iš kurio padauginta matrica C. Matricos C sudarymo sąlygos atitinka matricų A ir B sudarymo sąlygas:

$$\begin{pmatrix} p_{M} \\ q_{M} \\ r_{M} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} a_{s} \\ \beta_{s} \\ p_{s} \\ q_{s} \\ r_{s} \end{pmatrix},$$
(5)

Matrica D visada yra 0.

5-ame žingsnyje apskaičiuojami skirtumai tarp nustatytų ir atitinkamų išmatuotų greičių. Skirtumai skaičiuojami paklaidos vektoriaus δy radimui. Vektoriaus δy dedamosios yra:

- 1) skirtumas tarp efektyvaus posūkio greičio p_E ir išmatuoto p_S ;
- 2) nuolydžio greičių q_E ir q_S skirtumas;
- 3) pokrypių greičių r_E ir r_S skirtumas.

6-ame žingsnyje atviro kontūro linijinis modelis yra pataisomas pagal lygybes (5), naudojant paklaidos vektorių δy . 5-oje lygybėje L yra grįžtamoji matrica, kurioje yra kontrolinių filtrų stiprinimai aprašyti toliau.

Blokinės schemos aprašymas (4 pav.): į sistemos sudėtį įeina orlaivis, valdomas plokštumomis, kurių atsilenkimai pažymėti d_1 , d_2 ir d_3 . Orlaivio faktinis posūkio greitis p_E , nuolydžio greitis q_E ir pokrypio greitis r_E yra išmatuojami.





Fig. 4. System bloc diagram

Signalai, atitinkantys nuokrypius d_1 , d_2 ir d_3 siunčiami į valdymo bloko (3) atviro kontūro modulį (1). Atviro kontūro modulis (1) apskaičiuoja sistemos atviro kontūro linijinį modelį ir duomenų linija (2) siunčia posūkio greitį p_S , nuolydžio greitį q_S ir pokrypio r_S atitinkančius signalus.

Kitas valdymo bloko komponentas – atimties modulis, skirtas skaičiuoti skirtumus tarp tikrųjų ir nustatytų greičių (skaičiuoja vektorių δy). Galiausiai, grįžtamo ryšio grandinėje (6) yra grįžtamojo ryšio modulis (5). Pastarasis modulis formuoja uždarą kontūrą ir skaitmeninį valdymo filtrą. Filtras yra formuojamas naudojantis Kalmano optimizacijos metodika. Filtro struktūra – Luenberger'io.

Filtro stiprinimo reikšmės yra grįžtamojo ryšio matricoje L. Kiekviena matricos eilutė reiškia sistemos struktūros kintamųjų korekciją. Trys korekcijos koeficientai, po vieną kiekvienam kampiniam greičiui, yra stulpeliuose. Filtro stiprinimo reikšmės yra siunčiamos į atviro kontūro modulį (1), kuris modifikuoja atviro kontūro linijinį sistemos modelį, panaudojant minėtąjį filtrą taip, kad sujungtų nustatytus ir tikruosius orlaivio greičius.

Kai greičių sujungimas atliktas, apskaičiuotieji atakos a_S ir slydimo β_S kampai taipogi yra susiję su tikruoju atakos kampu a_E ir tikruoju slydimo kampu β_E . Tikrieji atakos ir slydimo kampai tokiu būdu gali būti randami be būtinybės juos matuoti įprastais davikliais.

3. Išvados

- Aprašytas orlaivio atakos ir slydimo kampų matavimo metodas įgalina atsisakyti įprastinių tam skirtų daviklių.
- Kampų matavimo metodas reikalauja papildomų įrenginių valdymo plokštumų padėčių ir greičių nustatymui.
- 3. Sistema gali būti naudojama *alfa* ir *beta* kampų, išmatuotų įprastais matuokliais, korekcijai.

Literatūra

Chiesa, A. 2010. *Method of Estimating an Angle of Attack and an Angle of Sideslip of an Aircraft*. Minneapolis.

RESEARCH OF MEASUREMENTS OF GLIDER'S ATTACK AND SLIP ANGLE

V. Lapinskas

Summary

A method for estimating the angle of attack and the angle of sideslip of an aircraft which has a plurality of control surfaces each adjustable with respect to an associated reference surface is devised. The method includes measuring quantities representative of the angle formed by each control surface with respect to the associated reference surface; measuring the effective rolling speed, the effective pitching speed, and effective yawing speed of the aircraft. The estimated AOA and estimated AOS are obtained from the model to use as AOA and AOS of the aircraft.

Keywords: angle of attack, angle of sideslip, sensor, vane – type, Pitot tube.