

## KYLANČIŲ ORO SRAUTŲ LOKALIZAVIMAS IR MAKSIMALIOS KILIMO ZONOS NUSTATYMO, PANAUDOJANT DIRBTINIŲ NEURONŲ TINKLUS, MODELIAVIMO ASPEKTAI

Ivan Suzdalev<sup>1</sup>, Jonas Stankūnas<sup>2</sup>, Eduardas Lasauskas<sup>3</sup>

Vilniaus Gedimino technikos universitetas

El. paštas: <sup>1</sup>mahelad@gmail.com, <sup>2</sup>jonas.stankunas@vgtu.lt, <sup>3</sup>eduardas.lasauskas@vgtu.lt

**Santrauka.** Nagrinėtas kylančių oro srautų lokalizavimas ir maksimalaus kilimo zonos centro nustatymas, pasitelkus dirbtinius neuroninius tinklus, skirtas nepilotuojamų orlaivių automatinėms bei pusiau automatinėms valdymo sistemoms. Dirbtinis neuroninis tinklas gauna įėjimo duomenis iš orlaivio elektronikos prietaisų ir sumodeliuoja galimą kylančio oro srauto struktūrą. Taip pat nagrinėtas aktualus modeliuojamų parametrų zonos dydis ir šio dydžio sąveika su kitais veiksniais.

**Reikšminiai žodžiai:** kylantys oro srautai, dirbtinių neuronų tinklai, prognostika, orlaivis.

### Įvadas

Gebėjimas išsilaikyti ore nenaudojant savo energijos resursų yra aktualus sklandytuvams ir bepiločiams orlaiviams. Kuo ilgiau išsilaikyti ore padeda kylančio oro srautai. Gamtoje kylantys oro srautai yra kelių rūšių. Pagrindinės aviacijos srityje naudojamos kylančio oro srautų rūšys yra šios: terminiai, banginiai ir aptakumo srautai (Schols *et al.* 1992; Stull 1998; Garratt 1994).

Nagrinėjant terminius kylančio oro srautus nustatyta, kad srautas nėra visiškai vertikalus dėl vėjo nuonašos ir taip pat nėra tolygus pagal horizontalųjį pjūvį. Terminiam sraute yra lokalsios zonos, pasižyminčios didesniu kylančio oro greičiu (Schols *et al.* 1992; Stull 1998). Yra tikslinga kilti terminiam sraute būtent tokiose maksimalaus kilimo vietose. Terminų srautų prognozavimas, paieška ir centravimas kompiuterinėmis priemonėmis yra sudėtingas meteorologijos ir statistikos uždavinys. Jau yra sukurtos sistemos, atliekančios šį uždavinį, kai nagrinėjama orlaivio skrydžio trajektorija, tačiau jos negali pačios lanksčiai keisti savo veikimo algoritmo ir prisitaikyti prie dinamiškai besikeičiančių meteorologinių sąlygų. Sprendžiant terminų srautų paieškos ir didžiausios kilimo zonos nustatymo uždavinius tikslinga taikyti dirbtinių neuronų tinklų sistemas. Svarbiausia dirbtinių neuronų tinklų savybė yra gebėjimas mokytis ir apibendrinti gautus duomenis (Каллан 2001; Круг 2002).

Paėmus  $n$  diskretinių sekų  $\{y(t_1), y(t_2), \dots, y(t_n)\}$  atitinkamais laiko momentais  $t_1, t_2, \dots, t_n$  prognozavimo

uždavinys bus reikšmės  $y(t_{n+1})$  nuspėjimas laiko momentu  $t_{n+1}$  (Солдатова *и др.* 2006).

Sprendžiant prognozavimo uždavinį dirbtinių neuronų tinklų pagalba, neuronų tinklo vaidmuo yra būsimos sistemos reakcijos nuspėjimas pagal sistemos praeities būseną. Apdorojant kintamojo  $x$  reikšmę praeities laiko momentuose  $x(k-1), x(k-2), \dots, x(k-N)$ , neuronų tinklas išduoda labiausiai tikėtinos reikšmės sprendimą esamuoju laiko momentu  $k$ . Tinklo svertinių koeficientų adaptacijai naudojama faktinė prognozavimo paklaida  $\varepsilon = x(k) - \hat{x}(k)$  ir šios paklaidos reikšmės praeities laiko momentuose (Солдатова *и др.* 2006).

Naudojant vertikalaus greičio, nuonašos indikatorius, horizontalaus greičio, aukštimačio, krypties girkopo ir aviahorizonto duomenis bei palydovinės navigacijos sistemos parodymus galima sukurti inercinę navigacijos sistemą.

Apdorojus duomenis, gautus iš aukščiau aprašytos navigacinės sistemos, galima išanalizuoti ir nubrėžti orlaivio trajektoriją bei ašinius pokrypius trimatėje erdvėje (Savickas 2007; Thomas *et al.* 1999).

Jei orlaivio trajektorija kirs terminį srautą, šis įvykis bus pastebėtas orlaivio elektroniniuose duomenyse.

### Terminių srautų nustatymo ir prognozavimo metodo aprašymas

Vidutinis sklandytuvo greitis  $V_{avg}$  išreiškiamas priklausomybe nuo žemėjimo greičio  $V_s$ , greičio skrendant tarp terminių srautų  $V_g$  bei kilimo greičio  $V_C$ :

$$\frac{V_{avg}}{V_g} = \frac{V_c}{V_c + V_s} \quad (1)$$

Terminio srauto poveikis orlaiviui aprašomas kaip terminio srauto kilimo greičio  $V_T$  orlaivio kilimo sraute  $V_S$  ir orlaivio žemėjimo greičio  $V_S$  priklausomybė:

$$V_c = V_T - V_{sc} \quad (2)$$

Sklandytuvui esant spiralėje ir tolygiai sukantis vienodu spinduliu  $r$ , jį veikiančios jėgos sudaro kvazipusiausvyra, t. y. kilimo jėga  $L$  turi atsverti orlaivio, skrendančio posvyrio kampą  $\phi$ , sunkio jėgą  $W$  ir išcentrinę jėgą  $CF$ , tačiau orlaivis, nenaudojantis variklio statiniame ore, skrenda tik žemėdamas.

Svorio jėga išreiškiama per masę ir laisvojo kritimo pagreitį arba per kilimo jėgos kosinusą (1 pav.):

$$W = mg \quad (3)$$

$$W = L \cdot \cos \phi \quad (4)$$

Orlaivį veikianti išcentrinė jėga priklauso nuo kilimo jėgos ir posvyrio kampo sinuso:

$$CF = L \cdot \sin \phi \quad (5)$$

Esamą linijinį orlaivio greitį galima išreikšti taip:

$$V_k = \sqrt{\frac{2 \cdot W}{\rho \cdot S_c \cdot L \cos \phi}} \quad (6)$$

Žemėjimo greitis bus lygus:

$$V_{sc} = \frac{C_D}{C_L^{3/2} \cdot \cos^{3/2} \phi} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot W}{\rho \cdot S}} \quad (7)$$

Išcentrinė jėga priklauso nuo orlaivio masės, esamo linijinio greičio ir apsisukimo spindulio:

$$CF = \frac{m V_k^2}{r} \quad (8)$$

Per orlaivio posvyrio kampo tangentą galima išreikšti sunkio ir išcentrinę jėgas, taip pat linijinio greičio priklausomybę nuo apsisukimo spindulio:

$$\tan \phi = \frac{CF}{W} = \frac{V_k^2}{r g} \quad (9)$$

Tada esamas linijinis orlaivio greitis bus lygus:

$$V_k = \sqrt{r \cdot g \cdot \tan \phi} \quad (10)$$

Toliau išvedama orlaivio apsisukimo spindulio lygtis:

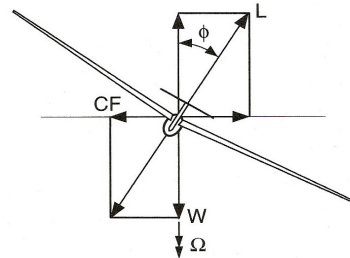
$$r = \frac{V_k^2}{g \cdot \tan \phi} \quad (11)$$

Vertikalus kilimo greičio terminiam sraute įtaka orlaivio kilimo jėgos pasiskirstymui ( $F1$  ir  $F2$ ,  $F3$  ir  $F4$ ,  $F5$  ir  $F6$ ) parodyta 2 pav. Taip pat sąlyginai galima iš-

reikšti terminio srauto kilimo greičio horizontalųjį gradientą per greičio  $V_C$  koeficientus ( $a1, a2, a3 \dots an$ ). (2 pav.) (Thomas *et al.* 1999).

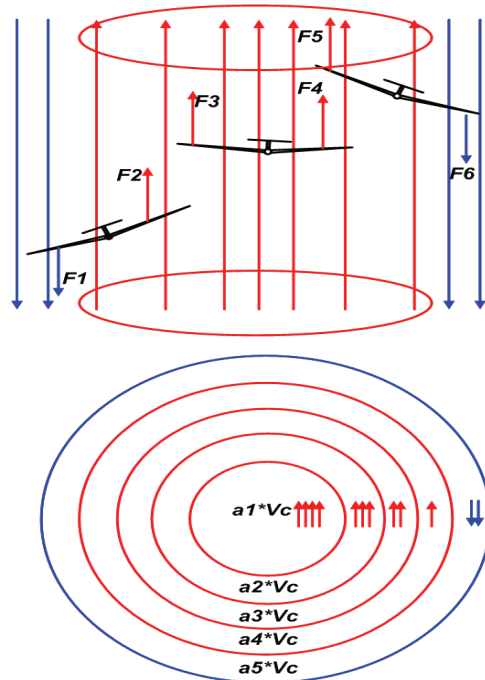
Dėl oro vertikalaus greičio gradiento horizontalioje plokštumoje yra įmanomi įvairūs orlaivio pokrypiai ir posvyriai. Aviahorizonto duomenys rodo vertikalaus oro srauto gradientą horizontalioje plokštumoje. Greičio matuoklis rodo orlaivio greitį ir leidžia apskaičiuoti kylančio ar besileidžiančio srauto praskridimo laiką. Palydovinės navigacijos sistema sumažina navigacines paklaidas bei dubliuoja greičio ir, aukščio matuoklių bei variometro parodymus, o tai leidžia padidinti bendrą visos sistemos patikimumą.

Kai kurie orlaivio manevrai yra specialiai iššaukti valdant orlaivį vairais. Yra tikslinga fiksuoti ne tik elektroninių prietaisų duomenis, bet ir orlaivio valdymo vairų įtaką trajektorijai.



1 pav. Sklandytuvo, skrendančio spirale, jėgų pusiausvyros diagrama

Fig. 1. Sailplane equilibrium of forces diagram



2 pav. Kylančio oro srauto struktūra

Fig. 2. Thermal structure

Orlaivio, esančio terminiam sraute, vertikalaus greičio  $V_C$  funkcija nuo laiko ir erdvės koordinačių susideda iš kelių dedamųjų. Tai terminio srauto vertikalaus greičio  $V_T$  funkcija ir orlaivio žemėjimo greičio  $V_S$  funkcija pagal laiką ir koordinates:

$$fV_C(t, x, y, z) = fV_T(t, x, y, z), fV_S(t, x, y, z). \quad (12)$$

Žemėjimo funkcija  $fV_S(t, x, y, z)$  rodo orlaivio trajektoriją ir greitį statiniame ore. Šios funkcijos reikšmė įtakoja orlaivio aerodinaminės charakteristikos ir valdymo elementai. Kilimo funkcija  $fV_C(t, x, y, z)$  rodo orlaivio trajektoriją ir greitį įtakoja terminiam srautui. Funkcijos  $fV_C(t, x, y, z)$  maksimali reikšmė sutaps su terminio srauto maksimalaus kilimo zona. Tokiu būdu analizuojant funkcijos  $fV_C(t, x, y, z)$  maksimumus ir minimumus galima aptikti terminio srauto maksimalaus kilimo zoną bei bendrą terminio srauto gradientą horizontalioje plokštumoje.

Teigiama, kad dirbtinių neuronų tinklas pasižymi savybe atkurti bet kokią nenutrūkstamą funkciją (Каллан 2001; Krug 2002). Taigi norint atkurti terminio srauto vertikalaus greičio funkciją nuo laiko ir koordinačių neuronų tinklą pagalba, reikia apdoroti orlaivio kilimo ir žemėjimo funkcijas pagal laiką ir koordinates.

Bendra struktūrinė sistemos, nustatančios ir prognozuojančios terminius srautus, schema parodyta 2 pav.

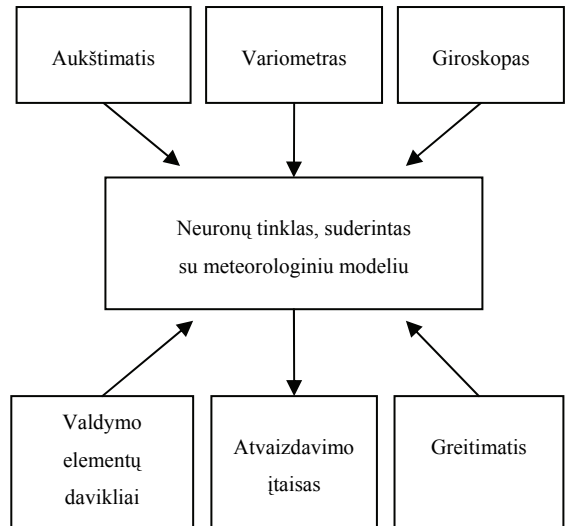
Orlaivis atlieka manevrus trijų išmatavimų erdvėje. Modeliavimo zona turi baigtinius matmenis, apribotus kompiuterinių skaičiavimo našumu ir prognozavimo paklaidomis. Tikslinga pasirinkti prognozuojamų parametrų geometrinę formą – sferą (toliau – prognozavimo sfera), nes tokia geometrinė forma yra paprasta sprendžiant modeliavimo ir prognozavimo uždutis trijų išmatavimų erdvėje. Į visas puses nuo sferos centro iki ribos gausis vienodas modeliavimo atstumas ir tuo pačiu vienodas modeliavimo laikotarpis.

Prognozavimo sferos matmenis įtakoja maksimalus orlaivio greitis, orlaivio apsisukimo spindulys – vertikalus orlaivio greitis bei terminių srautų matmenys.

Kuo didesnė prognozuojamų parametrų paklaida, tuo mažesnis gali būti prognozavimo sferos spindulys  $R_{SF}$ , nes yra tam tikra ribinė paklaida, kai prognozavimas praranda tikslumą. Galima įvesti sąlyginį paklaidos koeficientą  $\lambda$ .  $R_{SF}$  yra apribotas skaitmeninės prognozavimo sistemos našumu, kurį galima išreikšti sąlyginio našumo koeficientu  $K_{PR}$ . Praktiniam užduties įgyvendinimui reikia panagrinėti kompiuterinių sistemų našumą sprendžiant modeliavimo uždavinius. Įvertinus

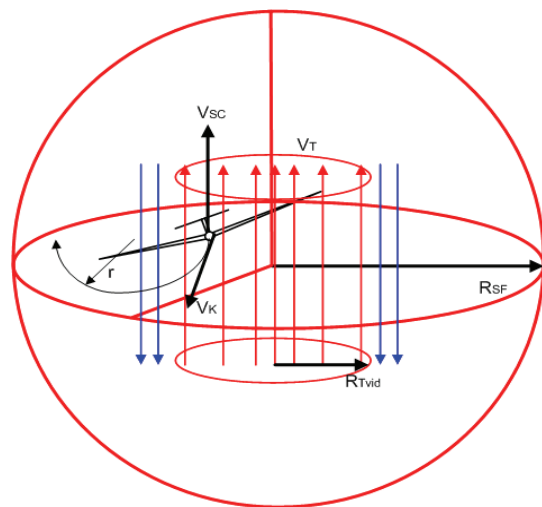
veiksnius, įtakojančius prognozavimo sferos spindulį  $R_{SF}$ , galima sudaryti pusiau empirinę priklausomybę:

$$R_{SF} = \frac{r + R_{Tvid} + (V_K + V_{Sc}) \cdot t}{\lambda} \cdot K_{PR}. \quad (13)$$



3 pav. Sistemos schema

Fig. 3. System schematic diagram



4 pav. Prognozuojamų parametrų sfera

Fig. 4. Sphere of prognostic

### Vaizdo informacijos apdorojimo technologijų taikymas

Tam tikros kamuolinių debesų rūšys susiformuoja virš kylančio oro srautų. Vizualiai galima nustatyti terminius srautus arba besileidžiančio šalto oro srautus po kamuolinių debesiu iš jo formos. Apdorojant vaizdo medžiagą galima aptikti potencialias terminių srautų buvimo vietas.

Vaizdų atpažinimas nėra tikslus analitinis uždavinys, turintis aiškų sprendimą. Bet šito uždavinio spren-

dimui reikia išskirti esminius požymius, charakterizuojančius vaizdinį objektą ir klasifikuoti šiuos požymius pagal svarbą ir tarpusavio priklausomybę.

Taikant dirbtinių neuronų tinklus vaizdų atpažinimo uždaviniai sprendžiami analizuojant didelę duomenų apimtį, kuri aprėpia visus įmanomus atpažįstamo objekto vaizdus (Брилюк *и др.* 2002) Šiame tyrime vaizdo duomenų šaltiniu buvo kamuolinių debesų atvaizdai, gaunami realiu laiku iš vaizdo nuskaitymo prietaiso.

## Išvados

1. Terminų srautų prognozavimui tikslinga naudoti dirbtinių neuronų tinklą.

2. Neuronų tinklo duomenų šaltiniu yra orlaivio elektronikos prietaisai ir valdymo elementų padėties davikliai.

3. Prognozavimo sistemos išėjimo duomenis sudaro orlaivio vertikalaus greičio dedamosios funkcijos pagal laiką ir koordinatės reikšmė bei terminio srauto vertikalaus greičio dedamosios funkcijos pagal laiką ir koordinatės reikšmė.

4. Yra tikslinga pasirinkti prognozavimo zonos sferą. Prognozavimo sferos matmenys priklauso nuo terminų srautų skersmens ir kilimo greičių, orlaivio horizontalaus ir vertikalaus greičio dedamųjų, gaunamų prognozavimo paklaidų bei kompiuterinės sistemos našumo.

5. Sėkmingam užduoties atlikimui būtina nustatyti tinkamą neuronų tinklo struktūrą, aktyvacijos funkcijas bei apmokymo algoritmus. Orlaivio elektronikos prietaisų duomenys turi būti klasifikuoti. Taip pat reikia išnagrinėti veiksnius, įtakančius prognozavimo paklaidas.

## Literatūra

- Garratt, J. R. *The Atmospheric Boundary Layer*. 1994. ISBN-13: 978-0521467452.
- Круг, P. G. 2002. *The Neural Networks and The Neural Computers*. Moscow: Publishing House of MPEI. 176 p. ISBN 5-7046-0832-9.
- Savickas, A. 2002. *Orlaivių sistemos*. Vilnius: Technika.
- Schols, J. L.; Eloranta, E. W. 1992. Calculations of area-averaged vertical profiles of the horizontal wind velocity from volume-imaging lidar data, *Journal of Geophysical Research* 97: 18.395–18.407.
- Stull, R. B. 1998. *An Introduction to Boundary Layer Meteorology*. ISBN-13: 978-9027727688.
- Thomas, F.; Miligram, J. 1999. Fundamentals of sailplane design, in *Library of Congress catalog Card Number: 99-61150* Maryland: College Park Press, USA, 1999. ISBN 0-9669553-0-7.
- Брилюк, Д. В.; Старовойтов, В. В. 2002. *Распознавание человека по изображению лица нейросетевыми методами*. Минск. 54 с. УДК 681.3.01+681.327.12.

Каллан, Р. 2001. Основные концепции нейронных сетей, in *The Essence of Neural Networks*. 1st ed. Вильямс, 288. ISBN 5-8459-0210-X.

Солдатова, О. П.; Семенов, В. В. 2006. Применение нейронных сетей для решения задач прогнозирования, из *Электронный научный журнал «Исследовано в России»* [Nr.] 1270 [interaktyvus] [žiūrėta 2008-09-12]. Prieiga per internetą: <<http://zhurnal.ape.relarn.ru/articles/2006/136.pdf>>.

## ASCENDING THERMAL LOCALIZATION AND ITS STRONGEST ZONE CENTERING BY ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS

I. Suzdalev, J. Stankūnas, E. Lasauskas

Abstract

Thermal localization and their strongest zone centering by artificial neural networks (ANN), and it are used by the automatic or semiautomatic control system of unmanned aerial vehicles (UAV).

Artificial neural network take input data from aircraft avionics.

Actual thermal model of space and its value's correlation with other factors are researched as well.

**Keywords:** thermal, artificial neural networks, prognostics, aircraft.