

# Žmogaus ir kompiuterio sąsajos projektavimas skrydžių valdymo sprendimų priėmimo sistemai\*

**Laura Savičienė**

Vilniaus universiteto Matematikos ir informatikos fakulteto lektorė  
Vilnius University, Faculty of Mathematics and Informatics, Lecturer  
Naugarduko g. 24, Vilnius  
Tel.: (8 5) 219 30 64  
El. paštas: akivaras@gmail.com. <http://www.mif.vu.lt/~laural/>

*Vis daugėjant skrydžių ir atsirandant naujoms oro erdvės valdymo iniciatyvoms ypač svarbu tobulinti skrydžių valdymo sistemas. Jose labai reikšmingas žmogiškasis veiksnys, taigi ir tai, koku būdu sistema pateikia žmogui informaciją. Straipsnyje apžvelgiami naujausi informacijos vaizdavimo skrydžių valdymo sistemoje tyrimai. Esamų 2D vaizdavimo būdų jau nebeužtenka, o 3D vaizdavimas taip pat turi trūkumų. Todėl tikslinga integruoti 2D ir 3D vaizdus. Straipsnyje pateikiami eskiziniai sprendimai, priimti projektuojant sprendimų priėmimo sistemos sąsają. Naujumas yra žinių apie lėktuvų tūpimo ir kilimo trajektorijų apribojimus vaizdavimas. Pasiūlyti du alternatyvūs vaizdavimo modeliai (kaip pagrindą imant 2D arba 3D vaizdavimą), kuriuose trajektorijų ribojimai vaizduojami 2D projekcijose („sienose“). Taip pat pateikiamos alternatyvos kitiems objektams – lėktuvams, liekamosioms ir prognozuojamoms trajektorijoms, žemės paviršiui vaizduoti.*

## Įvadas

Per pastarąjį dešimtmetį, nepaisant bendros techninės pažangos aviacijos srityje, skrydžių valdymo (angl. *Air Traffic Control*, ATC) sistemos beveik neevoliucionavo, skrydžių vadovų darbo metodai iš esmės nesikeitė (Komisijos komunikatas..., 2007). Reikalingos inovacijos, kurios padėtų skrydžių vadovams dirbti efektyviau, nes skrydžių sparčiai daugėja ir oro erdvė bus prisotinta.

Viena iš galimų technologinių inovacijų yra lazerinių radarų (lidarų, LIDAR – angl. *Light Detection And Ranging system*) naudojimas lėktuvams aptikti, stebėti ir atstumui iki jų nustatyti. Lidaras stovi ant žemės ir jam nereikalinga papildoma įranga lėktuvuose. Jis būtų tikslesnis už pirminį radarą (angl. *primary radar*) ir naudojamas kartu su pirminiu radaru (SKY-Scanner DoW, 2007).

„SKY-Scanner“ projekto tikslas – sukurti sistemos, grindžiamos radaro ir lidaro duomenų jungimu, prototipą. Viena iš šios sistemos dalių – skrydžių vadovams (angl. *controller* arba *dispatcher*) skirtas sprendimų priėmimo posistemis (toliau – sprendimų priėmimo sistema). Ji sujungia radaro ir lidaro duomenis, aptinka potencialias grėsmes lėktuvams ir rekomenduoja, kaip tų grėsmių išvengti. Tokiose sistemose ypač svarbu, koku būdu informacija pateikiama skrydžių vadovams, nes būtent jie priima galutinius taktinius sprendimus (Azuma et al., 1996).

Mes apžvelgiame informacijos vaizdavimą ATC sistemose. Straipsnyje taip pat pateikiami sprendimų priėmimo sistemos sąsajos projektavimo ankstyvosios stadijos rezultatai – naudotojų poreikių analizė ir eskiziniai sprendimai. Išsamiai analizuoti šių sprendimų įgyvendinimo galimybes ir kurti prototipus numatoma vėlesniuose projekto etapuose.

\* Tyrimas iš dalies remiamas ES Septintosios bendrosios programos projekto „SKY-Scanner“ lėšomis (<http://www.sky-scanner.it/>).

Nagrinėjant vaizdavimo sprendimus atsižvelgiama į sistemos prototipo techninius reikalavimus. Lidaro duomenims vaizduoti skirti du 21" spalvoti ekranai: vienas – grafinei informacijai, kitas – tekstinei (SKY-Scanner D1, 2007). Taigi kitokie sprendimai, pavyzdžiui, virtualiosios ar praplėstos realybės, holografiniai ir kt., išeina už tyrimo ribų.

## 1. Informacijos vaizdavimas ATC sistemose

Dabartinėse ATC sistemose oro erdvė pateikiama dvimačiu vaizdu (2D). Trimatis vaizdavimas (3D) naudojamas atliekant ne vieną mokslinių tyrimų projektą (Azuma et al., 2000; Dang et al., 2004; Bourgois et al., 2005). Taip pat tiriama, kaip pavaizduoti ketvirtąjį matmenį (4D), t. y. laiko aspektą, pvz., „4D Virtual Airspace Management System“ projektas (EU Transport Research..., 2005).

Plokščiaame 2D ekrane nerodomas trečiasis (aukščio) matmuo. Tai sunkina suvokti situaciją, nes skrydžių vadovai pagal pateikiamą tekstinę informaciją mintyse turi sukonstruoti ir išlaikyti 3D vaizdą (Wong et al., 2007). Be to, skrydžių vadovams kuriama vis daugiau pagalbinių sistemų ir didėja pateikiamos informacijos kiekis, dėl to standartiniuose 2D ekranuose sunku perskaityti tekstinę informaciją (Bourgois et al., 2005).

Kuriamose 3D sąsajose nereikia papildomų pastangų aukščiui išivaizduoti. Tai supaprastina trimačių trajektorijų ir žemės paviršiaus tarpusavio padėties suvokimą, palengvina skrydžių vadovams priimti sprendimus dėl vertikalų manevrų ir leidžia vizualiai patikrinti, ar pilotas laikosi manevro nurodymų (Wong et al., 2007).

Tačiau 3D sąsajos turi ir trūkumų: sunkiau suvokti horizontalius atstumus, nes vaizdas išskraipomas vaizduojant perspektyvą; sunku stebėti viso sektoriaus vaizdą (angl. *global view*); toli nuo žiūrėjimo taško esantys objektai atrodo maži, todėl sunku vertinti situaciją (Wong et al., 2007). Tokiose sistemose navigacija ir objektų pasirinkimas gali būti sudėtingi (Dang ir kt., 2004).

Taigi 3D tinkamesnis užduotims, kurioms reikia integruotos informacijos, pavyzdžiui, sudėtingam posūkiui stebėti, o 2D tinkamesnis,

kai reikia sutelkti dėmesį į kurį nors aspektą, pavyzdžiui, įvertinti horizontalų atstumą tarp lėktuvų. Kadangi skrydžių vadovų darbas apima abu aspektus ir, kaip minėta, tiek „grynas“ 2D, tiek „grynas“ 3D vaizdavimas turi didelių trūkumų, siūloma integruoti 2D ir 3D vaizdus, kad kartu būtų matomas ir kontekstas, ir reikalinga erdvinė informacija (Amaldi et al., 2005).

Vykdamas projektą „3D-in-2D Displays for ATC“ buvo atliktas tyrimas, kuriame, remdamiesi 100 publikacijų apie informacijos vaizdavimą įvairiose srityse (medicinoje, inžinerijoje ir kt.) analize, autoriai daro išvadą, kad iki šiol neišnaudotos visos galimybės ATC sistemose integruoti 2D ir 3D vaizdus, ir siūlo keletą naujų strategijų. Viena iš jų – suteikti galimybę 2D ekrane pasirinkti sritį, kurioje vaizduojama 3D informacija. Įvertinus keletą pasiūlytų sprendimų paaiškėjo, kad naudotojams patogiau yra tokie vaizdavimo būdai, kurie nekeičia perspektyvos (t. y. pasirinktoje srityje įsijungus 3D režimą lengva atpažinti lėktuvus) ir neiškraipo vaizdo 3D srities kraštuose (Rozzi et al., 2007). Taip pat buvo pasiūlyta 2D ekrane aukščio informaciją vaizduoti ne tekstu, o simboliais (Wong et al., 2007). Kita strategija – 3D ekrane vaizduoti 2D „sienas“, kuriose yra lėktuvų projekcijos. Pavyzdžiui, „laukiančių lėktuvų valdymo sienoje“ lėktuvų laukimui skirti aukščio lygmenys rodomi skirtingomis spalvomis ir leidžia greitai įvertinti, kiek lygmenų užimta ir ar visi lėktuvai laikosi nurodytų aukščių (Wong et al., 2007). Trečia pasiūlyta strategija – naudoti praplėstos realybės (angl. *augmented reality*) priemonės.

Sprendimų priėmimo sistemos eskizinio projektavimo metu buvo nagrinėjamos šios strategijos ir vertinama, kaip pasiūlytas idėjas panaudoti kuriamos sistemos sąsajai.

## 2. Naudotojų poreikių analizė

Vienas iš sprendimų priėmimo sistemos uždavinių – numatyti galimus susidūrimus ir pasiūlyti, kaip jų išvengti. Vadinasi, sistema padėtų sumažinti susidūrimų ore (avarijų) skaičių. Orlaivių avarijų 1980–2001 metais analizės duomenimis (van Es, 2003), su skrydžių valdymu susijusios avarijos sudaro 8 % visų avarių

(avarija laikomi incidentai, per kuriuos žuvo arba buvo sunkiai sužeistas žmogus ir/arba buvo sugadintas ar apgadintas lėktuvas). Nustatyta, kad dauguma (67,5 %) šių avarių įvyko lėktuvui esant ant žemės (angl. *taxiing*), o avarijos lėktuvui kylant, leidžiantis ir artėjant tūpti (t. y. fazėse, kuriose numatoma naudoti sprendimų priėmimo sistemą) sudarė 20,7 % visų su skrydžių valdymu susijusių avarių. Pirminės avarių priežastys (angl. *root cause*) skirstomos į keturias grupes: susijusios su įgula, skrydžių vadovais, aplinka ir orlaivio sistemomis. Nors dauguma avarių įvyko dėl susijusių su įgula priežasčių (53 %), bet nemažai jų būta ir dėl skrydžių vadovų kaltės – 28 %. Kaip viena pagrindinių priežasčių nurodoma „neteisingi arba neadekvatūs skrydžių vadovo nurodymai“ (skrydžių vadovai) ir „procedūrų nesilaikymas“ (įgula) (van Es, 2003). Taigi sprendimų priėmimo sistema pagerintų skrydžių vadovų informuotumą apie orlaivių padėtį (t. y. padėtų priimti tinkamus sprendimus) ir leistų vizualiai patikrinti, kaip orlaivių trajektorijos atitinka nurodytą tūpimo ar kilimo procedūrų reikalavimus (t. y. ar laikomasi procedūrų).

Kituose projektuose (Amaldi et al., 2005) buvo konstatuota, kad lėktuvo kilimo, leidimosi ir artėjimo tūpti fazėse skrydžių vadovams svarbūs šie aspektai: vertikalus atstumas tarp susikertančių trajektorijų, laukiančių lėktuvų (angl. *holding stack*) valdymas, oro uostą supančios teritorijos topografija ir lėktuvo padėtis esminių tūpimo procedūrose nurodytų taškų atžvilgiu.

### 3. Eskiziniai sąsajos projektavimo sprendimai

Eskizinio projektavimo metu buvo sprendžiami šie klausimai:

- kokį vaizdavimo modelį pasirinkti – tik 2D, tik 3D ar kokį nors integruotą sprendimą;
- kiek informacijos vaizduoti ir kaip ją pateikti.

Sprendimų priėmimo sistema turi vaizduoti esamą lėktuvo padėtį, numatomą skrydžio trajektoriją ir galimas grėsmes. Yra išskiriami du grėsmių tipai: rizika susidurti ir rizika nukrypti nuo kelio (angl. *path violation*). Nukrypimu nuo kelio

laikomas nukrypimas nuo reikalavimų, apibrėžtų norminiuose dokumentuose – skrydžių taisyklėse (Žin., 2004-09-02, Nr. 134-4860), tūpimo ir kilimo procedūrose. Jais nustatomi lėktuvų kilimo ir tūpimo trajektorijų ribojimai. Procedūrose reikalavimai yra išreikšti grafiškai (schemomis). Taigi normos, apibrėžtos dokumentuose, turi būti perkeltos į mūsų sistemą ir pavaizduotos sistemos sąsajoje.

Naudotojui palankiame projektavime (angl. *user-centered design*) svarbu naudotojui suteikti galimybę išsirinkti iš kelių alternatyvų (Lapin, 2008). Todėl bus parinkti keli galimi sprendimai, kuriais remiantis vėliau bus konstruojami ir naudotojų vertinimui pateikiami prototipai.

#### 3.1. Vaizdavimo modelis

Mūsų prototipe buvo naudojami keli rodiniai, kaip įprasta panašiuose projektuose (pvz., Azuma et al., 2000). Tačiau toks informacijos pateikimo būdas verčia naudotoją iš naujo ieškoti informacijos kitame rodinyje. Įvairūs būdai, padedantys greičiau sutelkti dėmesį į naują rodinį (informacijos filtravimas ar koordinuotas reikiamos informacijos paryškkinimas visuose rodinuose), tik iš dalies pagreitina šį procesą (Rozzi et al., 2007). Skrydžių vadovų darbas vyksta tikruoju laiku, ir delsimai informacijos paieškai yra nepriimtini. Todėl mes kuriame integruotą 2D ir 3D ekraną ir remiamės sprendimais, pasiūlytais kituose panašiuose projektuose (žr. 1 skyrių). Kaip minėta, pasirinktas vaizdavimo būdas turi ne tik padėti skrydžių vadovui suvokti trimatę informaciją, bet ir vaizduoti tūpimo ir kilimo procedūrų reikalavimus.

Išnagrinėję kitų projektų sprendimus (Rozzi et al., 2007; Wong et al., 2007) apsistojo prie dviejų alternatyvių sąsajos modelių – 3D ir 2D. Abiejuose naudojamos dvimačių projekcijų idėjos:

- „Grynas“ 3D vaizdas su reikiamose vietose įdedamomis 2D „sienomis“, kuriose vaizduojamos lėktuvų projekcijos, trajektorijų ribojimai ir skalės, padedančios tiksliau įvertinti atstumus.
- 2D vaizdas su pasirenkama 3D sritimi, kurioje vaizduojama 2D projekcija su reikalaujama trajektorija. Čia pasirinkta

„3D burbulo“ metafora. 2D informacija vaizduojama turinčiu perspektyvą paviršiumi, o iš pasirinktos srities lėktuvai „išskeliami“.

### 3.2. Vaizduojama informacija

ATC sistema vienu metu teikia daug informacijos – lėktuvų koordinates, buvusias ir numatomas trajektorijas, perspėjimus apie grėsmes ir kt. Dalis paprastai pateikiama atskirame ekrane (SKY-Scanner Dow, 2007). Tačiau dėmesio perkėlimas iš vieno ekrano į kitą užtrunka. Todėl siūloma visą reikalingą informaciją vaizduoti tame pačiame ekrane. Pavyzdžiui, su skrydžiu susijusi informacija „prikabinama“ prie vaizduojamo lėktuvo ir skrydžių vadovas ją randa mažiausiomis pastangomis (Lange et al., 2003). Tačiau reikia atsižvelgti į tai, kad skrydžių vadovams svarbu neperkrautas ekranas, be dėmesį blaškančių detalių (Azuma et al., 1996). Taigi svarbu pavaizduoti visą informaciją ir tai padaryti kuo mažesnėmis priemonėmis ir neperkrauti ekrano. Toliau pateikiami klausimai, su kuriais susiduriama projektuojant informacijos vaizdavimą sprendimų priėmimo sistemai.

**Lėktuvai.** Apžvelgtuose pavyzdžiuose lėktuvai vaizduojami įvairiu detalumu – kaip taškai (3D – rutuliukai), kūgiai ar 3D lėktuvų modeliai (1 pav.). Kūgis pranašesnis už vaizdavimą tašku, nes kūgio smaigalys nurodo lėktuvo kryptį. Vaizduojant lėktuvą 3D modeliu galima vizualiai atpažinti lėktuvo tipą ir dalį kitos informacijos (pvz., oro linijų ženklą) (Bourgois ir kt., 2005), tačiau toks detalumas gali blaškyti.



1 pav. 3D lėktuvo modelis

**Liekamosios trajektorijos.** Senesniuose radarų ekranuose lėktuvo pozicija buvo vaizduojama tašku, o atsiradus naujam radaro rodmeniui ekrane likdavo nykstantys ankstesniųjų pėdsakai. Pagal šiuos pėdsakus skrydžių vadovai vertindavo lėktuvo kryptį ir greitį (Wong et al., 2007). Sistema naudotojams priimtinesnė, jei vaizduojamos lėktuvų liekamosios trajektorijos. Jos gali būti vaizduojamos ir ištisinėmis kreivėmis (Lange et al., 2003).

**Prognozuojamos trajektorijos.** Sprendimų priėmimo sistema numato lėktuvų trajektorijas iki tam tikro laiko ateityje. Apžvelgtuose pavyzdžiuose numatoma trajektorija vaizduojama atkarpa, prasidedančia lėktuvo dabartinėje pozicijoje ir perpiešiama kiekvieną kartą, kai gaunami nauji duomenys apie lėktuvo poziciją. Patariama vaizduoti netikrą lėktuvą (angl. *ghost*) tikrojo lėktuvo priekyje.

**Lėktuvo trajektorijų ribojimai.** Lėktuvo trajektorijos ribojimai tūpimo procedūroje sudaro sudėtingą aprašą. Šios žinios išreiškiamos ne „vartų“ (aukštis×plotis), ir ne „piltuvėlio“ (atstumas×nuokrypio kampas) forma, o jų seka. Be to, tūpimo procedūrų yra kelios, atsižvelgiant į lėktuvo ir oro uosto įrangą, oro sąlygas (pvz., matomumą). Dalis tūpimo procedūros reikalavimų yra rodomi šoninėje projekcijoje (angl. *profile view*) (žr. 2 pav.). Šie tūpiančio lėktuvo trajektorijos ribojimai vaizduojami 2D projekcijoje – „sienoje“ (3 pav.). Procedūroje pavaizduotas „profilis“ yra ilgas (kai kuriose procedūrose – daugiau kaip 10 jūrmylių). Vaizduojant jį realiomis proporcijomis, vaizdas taptų per smulkus, todėl nenaudingas. Mūsų sistemoje trajektorijų ribojimai vaizduojami atskiruose fragmentuose (t. y. be galimybės pamatyti visą kontekstą) arba deformuojant vaizdą. Toks deformavimas gali būti įvertintas ir nepalankiai (Rozzi et al., 2007).

**Žemės paviršius (topografija).** 3D vaizdavimo pranašumas yra vaizdas lėktuvo aukščio nuo žemės paviršiaus (angl. *ground separation*) parodymas (Rozzi ir kt., 2007). Kita vertus, yra šaltinių, teigiančių, kad žemės paviršiaus vaizdavimas 3D neteikia papildomos informacijos



## LITERATŪRA

- AMALDI, P.; FIELDS, B.; ROZZI, S.; WOODWARD, P.; WONG, W. (2005). *Operational Concept Report*. Vol. 1: Approach Control; Vol. 2: Tower Control (No. OCR2-AD4-WP2-MU). Interaction Design Centre, Middlesex University, London, UK, 2005.
- AZUMA, Ronald; DAILY, Mike; KROZEL, Jimmy (1996). *Advanced Human-Computer Interfaces For Air Traffic Management and Simulation*. American Institute of Aeronautics and Astronautics, 1996. AIAA Flight Simulation Technologies Conference.
- AZUMA, Ronald; NEELY, Howard; DAILY, Michael; GEISS, Ryan (2000). Visualization Tools for Free Flight Air-Traffic Management. *IEEE Computer Graphics and Applications*, vol. 20, no. 5, p. 32–36.
- BOURGOIS, Marc; COOPER, Matthew; DUONG, Vu; HJALMARSSON, Jonas; LANGE, Marcus; YNNERMAN, Anders (2005). *Interactive and Immersive 3D Visualization for ATC*. Baltimore, USA, June 2005. 6th USA–Europe ATM R&D Seminar.
- DANG, Nguyen Thong; TAVANTI, Monica; LE, Hong Ha; DUONG, Vu (2004). *3D Stereo displays for Air Traffic Control: a multidisciplinary framework and some results*. Research Report 2004:3, Division of Human-Computer Interaction. Uppsala, Sweden, 2004.
- EU Transport Research – 4D Virtual Airspace Management System*, 2005 [žiūrėta 2009 m. gegužės 15 d.]. Prieiga per internetą: <[http://ec.europa.eu/research/transport/projects/article\\_3722\\_en.html](http://ec.europa.eu/research/transport/projects/article_3722_en.html)>.
- Komisijos komunikatas – pirmoji teisės aktų, susijusių su Europos bendra oro erdve, įgyvendinimo ataskaita: laimėjimai ir tolesnės veiklos kryptys*. Briuselis, 2007-12-20. Prieiga per internetą <<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:52007DC0845:LT:NOT>>.
- LANGE, Marcus; HJALMARSSON, Jonas; COOPER, Matthew; YNNERMAN, Anders (2003). *3D Visualization and 3D and Voice Interaction in Air Traffic Management*. The annual SIGRAD Conference. Umea, Sweden, 2003.
- LAPIN, Kristina (2008). *Žmogaus ir kompiuterio sąveika*. Vilnius: TEV. 248 p.
- LR Vyriausybės nutarimas „Dėl skrydžių taisyklių patvirtinimo“ Nr. 1098. *Žin.*, 2004-09-02, Nr. 134–4860.
- ROZZI, Simone; BOCCALATTE, Alessandro; AMALDI, Paola; FIELDS, Bob; LOOMES, Martin; WONG, William (2007). *D1.1: Innovation and Consolidation Report*. Technical Report, EUROCONTROL, June 2007.
- SKY-Scanner Description of Work (DoW): Development of an Innovative LIDAR Technology for New Generation ATM Paradigms*, 2007. Contract No.: TREN/07/FP6AE/S07.70742/037161. Rome, July 2007.
- SKY-Scanner D1: System and Testing Requirements Report*, 2007. Contract No.: TREN/07/FP6AE/S07.70742/037161. Rome, December 2007.
- VAN ES, G.W.H. (2003). *Review of Air Traffic Management-related accidents worldwide: 1980–2001*. National Aerospace Laboratory NLR, March 2003 [žiūrėta 2009 m. gegužės 6 d.]. Prieiga per internetą: <<http://www.nlr.nl/smartsite.dws?id=2888>>.
- ICAO – Instrument Approach Chart, Napoli/Capodichino, No. 352*. ENAV, effective date 15 May 2003 [žiūrėta 2009 m. gegužės 18 d.]. Prieiga per internetą: <<http://www.vatita.net/index.php?dir=download&pagina=planning/charts>>.
- WONG, William; ROZZI, Simone; BOCCALATTE, Alessandro; GAUKRODGER, Stephen; AMALDI, Paola; FIELDS, Bob; LOOMES, Martin; MARTIN, Peter (2007). *3D-in-2D Displays for ATC*. Brétigny sur Orge, France, 2007. 6<sup>th</sup> Eurocontrol Innovative Research Workshop, p. 47–62.

## USER INTERFACE DESIGN FOR THE ATC DECISION SUPPORT SYSTEM

Laura Savičienė

### Summary

At the time when the number of flights is increasing and new initiatives for air traffic control (ATC) optimization are being implemented, there is a need to apply technological innovations to improve ATC systems. One of such innovative projects is the EU FP7 SKY-Scanner project, which is aimed at the use of LIDAR (light detection and ranging) for aircraft tracking. This paper investigates user interface design for the decision support system (DSS) based on LIDAR and RADAR data fusion. An overview of recent developments in the field of visualization for ATC shows that traditional 2D visualization is no longer sufficient, and pure 3D visualization has some significant drawbacks, so there is a need to integrate 2D and 3D visu-

alization. One of the tasks of the DSS is to check if the airplane trajectories satisfy the requirements defined in the approach and departure procedures. This raises a problem of knowledge representation – procedures are depicted in charts, and knowledge from the charts must be represented in the DSS algorithms. Thus the research covers two fields: user interface and knowledge representation. We decided that it is important to visualize the requirements for trajectories. Two alternative interface approaches are proposed (one based on 2D, and one based on 3D), in which these requirements are visualized using 2D projections (walls). Also alternatives for visualizing other objects (airplanes, their real and projected trajectories, topography) are presented.