ENERGY MANAGEMENT PRIMARY FLIGHT DISPLAY

Jan Bílek
Master Degree Programme, FIT BUT
E-mail: xbilek14@stud.fit.vutbr.cz

Supervised by: Peter Chudý
E-mail: chudyp@fit.vutbr.cz

ABSTRACT

The presented paper describes the design of an advanced integrated flight instrument, which combines the state of the art glass cockpit technology with smart piloting cues derived from the aircraft energy states. The pilot is being provided with an intuitive energy management cues that support the flight control commanding decisions. This is being achieved by visualizing the relationships between the speed, altitude, acceleration and vertical speed in such ratio that the size and the position of visualized components corresponds to the desired change of energy.

1 ÚVOD

Prakticky ve všech dnes existujících variantách primárních letových displejů (PFD) je vizualizace jednotlivých letových veličin realizována nezávisle. Tím je zcela opomíjen fakt, že mezi rychlostí a výškou letounu existuje vztah založený na vzájemné převoditelnosti kinetické (E_k) a potenciální (E_p) energie, který by mohl značným způsobem přispět nejen ke zvýšení informovanosti pilota o energetickém stavu, ve kterém se letoun nachází, ale i ke zvýšení efektivity řízení [1] [2]. V [1] je popsána dvojice strategií ovládání letounu. První je SISO (single-input/single-output) strategie, kterou podporuje běžný PFD. Při ní pilot ke změně hodnoty jedné letové veličiny využívá pouze jednoho ovládacího prvku bez ohledu na to, že např. při změně polohy plynové páky nedochází pouze ke změně rychlosti, ale bez současné manipulace s výškovým kormidlem i ke změně výšky. Druhou strategií je MIMO (multi-input/multi-output) strategie, která uvažuje vztah mezi různými letovými veličinami navzájem a stavem letounu. Cílem začlenění vizualizace energetických veličin do PFD je snaha podpořit a usnadnit využití MIMO strategie. Takový displej je označován jako EMPFD (energy-management PFD).

2 VZTAH MEZI TAHEM POHONNÉ JEDNOTKY, ODPOREM VZDUCHU A ENERGIÍ

Letoun lze chápat jako systém, do kterého je přiváděna energie z pohonné jednotky a ztrácí energii v důsledku pohybu ve vazkém prostředí atmosféry. V kontextu principu zákona zachování energie dochází při letu k transformacím E_p na E_k či naopak. Míra transformace závisí na poloze výškového kormidla, z čehož je zřejmé, že jeho manipulací nedochází pouze ke změně výšky, ale bez příslušné změny tahu také ke změně rychlosti. Vztah mezi jednotlivými veličinami je zapsán v rovnici 1, která přibližně popisuje let při běžném úhlu náběhu. Výpočet úhlu dráhy letu (FPA) a potenciálního FPA (PFPA) je proveden podle rovnic 2 a 3 [1] [3].

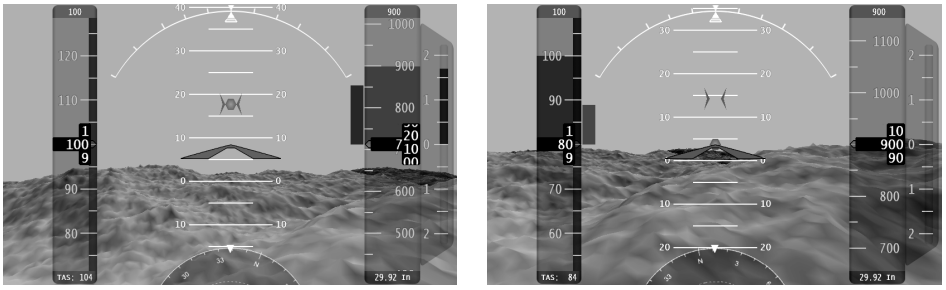
$$\frac{T-O}{m} = \frac{\dot{v}}{g} + \gamma = \gamma_P \qquad (1) \qquad\qquad \gamma = \dot{h} + \frac{1}{v} \qquad (2) \qquad\qquad \gamma_P = \gamma + \frac{\dot{v}}{g} \qquad (3)$$

kde T = tah motoru, O = odpor vzduchu, m = hmotnost letounu, $\dot{v}$ = podélné zrychlení, γ = FPA (flight path angle), γ_P = PFPA (potential FPA), v = rychlost letounu a h = změna výšky v čase.

Pro ustálené podmínky platí, že $\dot{v}/g \cong -\gamma$. Tato rovnice odpovídá míře redistribuce energie stanovené polohou výškového kormidla. Pro změnu $\dot{v}/g + \gamma$ je nutná změna polohy plynové páky. V [1] je z uvedených vztahů vyvozeno, že místo nepřesného použití plynové páky pro regulaci rychlosti a výškového kormidla pro regulaci výšky, které odpovídá SISO strategii, je mnohem výhodnější uvažovat plynovou páku pro ovládání celkového množství energie a výškové kormidlo pro určení poměru redistribuce této energie. Tento přístup zohledňuje vzájemný vztah mezi rychlostí a výškou a umožňuje efektivnější řízení letounu. Je však třeba poskytnout pilotovi potřebné informace ve vhodné podobě.

3 NÁVRH VIZUALIZACE

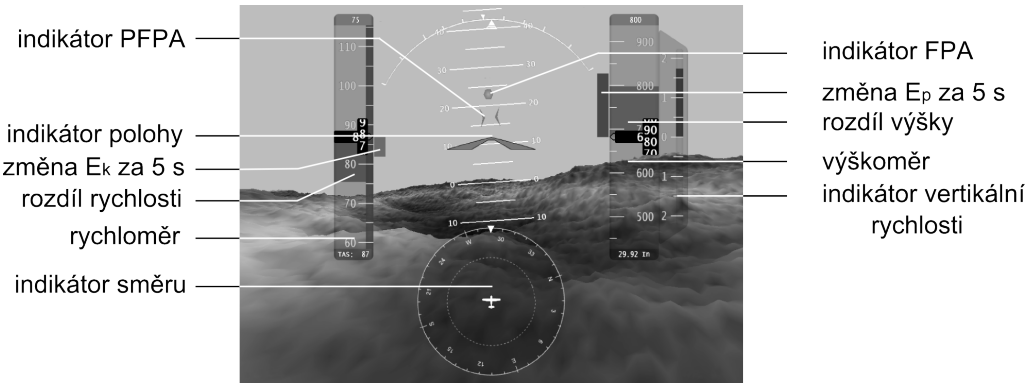
Primární letový displej slučuje zobrazení hodnot sady přístrojů do jedné obrazovky. Příklad podoby PFD lze nalézt na obrázku 2, kde jsou rovněž popsány nejdůležitější ukazatele. Pro poskytnutí informace o energetickém stavu je zobrazován rozdíl E_k a E_p mezi současným a požadovaným stavem, změna E_k a E_p v čase a poměr distribuce energie. V[1] je navržena vizualizace rozdílu energií a jejich změn v čase pomocí různé velikosti sloupců umístěných mezi rychloměrem, výškoměrem a indikátorem polohy. Dále je přidána dvojice prvků, která je využívána především v head-up displejích: indikátory FPA a PFPA umístěné v prostoru indikátoru polohy. Tento návrh byl z velké části začleněn do výsledné implementace.



Obrázek 1: Využití nadbytečné energie ke stoupání (vlevo), resp. ke zrychlení (vpravo).

Na obrázku 1 jsou zachyceny dvě význačné situace. V první z nich dochází k převodu veškeré nadbytečné energie dodávané pohonnou jednotkou na potenciální energii. Sloupec na levé vnější straně značí změnu E_p během 5 s intervalu, sytá část stupnice výškoměru značí rozdíl mezi aktuální a požadovanou výškou. Oba sloupce mají přizpůsobené měřítko tak, aby bylo možno využít shodnou stupnici. Sloupec začleněný do výškoměru tedy značí zároveň i množství potenciální energie, které je nutné získat k dosažení požadované výšky a vnější sloupec naopak značí i předpokládanou změnu výšky. Zároveň nedochází ke změně rychlosti, jež je shodná s požadovanou rychlostí, a tedy ukazatel změny E_k i ukazatel rozdílu rychlosti mají nulovou výšku. Této situaci odpovídá shodná pozice indikátorů FPA a PFPA. Druhý obrázek potom znázorňuje situaci, kdy je přebytečná energie využita ke zvýšení rychlosti a nedochází ke změně

výšky. Sloupec rozdílu rychlosti ukazuje požadovaný nárůst rychlosti a sloupec změny E_k odpovídá změně v čase 5 s. FPA je v pozici shodné s ukazatelem polohy letounu a PFPA značí úhel klopení, při kterém by byla změna rychlosti nulová. Popsaný návrh byl implementován v jazyce C++ a pro zobrazování využívá knihovny OpenGL a jejího doplňku GLUT.



Obrázek 2: Výsledná podoba navrženého primárního letového displeje.

4 ZÁVĚR

Podařilo se navrhnout a implementovat primární letový displej se začleněním informací o energetickém stavu letounu v podobě sloupců odpovídající výšky a ukazatelů FPA a PFPA. Návrh popsaný v [1] byl změněn především realizací stupnic jednotlivých ukazatelů a volbou středu indikátoru polohy odpovídajícímu klopení letounu. To oproti centrování dle FPA zajišťuje neměnné umístění číselných hodnot výšky a rychlosti, které přispívá ke snadné čitelnosti údajů. V dalších fázích se předpokládá dokončení implementace trojrozměrného modelu terénu s barevným zvýrazněním překážek, které dále přispěje k vyšší informovanosti pilota. Poté je v plánu testování návrhu na simulátoru letounu a dle výsledků a zjištěných nedostatků provedení patřičných úprav. Dokončením projektu by se mělo stát použití displeje v reálném letounu.

PODĚKOVÁNÍ

Tato práce vznikla částečně za podpory grantu VUT FIT, FIT-S-10-2 a specifického výzkumu MSM0021630528.

REFERENCE

[1] Lambregts, T.; Rademaker, R.; Theunissen, E.: A new ecological primary flight display concept. *Digital Avionics Systems Conference*, 2008. DASC 2008. IEEE/AIAA 27, 2008, s. 4.A.1-1-4.A.1-20, doi: 10.1109/DASC.2008.4702820.

[2] Mulder, M.; van Paassen, M. M.: *Theoretical Foundations for a Total Energy-Based Perspective Flight-Path Display.* THE INTERNATIONAL JOURNAL OF AVIATION PSYCHOLOGY, 2005: s. 205-231.

[3] Federal Aviation Administration: *Instrument Flying Handbook* [online]. http://www.faa.gov/LIBRARY/manuals/aviation/instrument_flying_handbook, 2009-09-08 [cit. 2010-03-03].