

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA INFORMAČNÍCH TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV POČÍTAČOVÉ GRAFIKY A MULTIMÉDIÍ

FACULTY OF INFORMATION TECHNOLOGY
DEPARTMENT OF COMPUTER GRAPHICS AND MULTIMEDIA

AEROWORKS
VIZUALIZACE VZDUŠNÉHO PROSTORU VE 3D

SEMESTRÁLNÍ PROJEKT

SEMESTRAL PROJECT

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Karol Rydlo

BRNO 2011



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA INFORMAČNÍCH TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV POČÍTAČOVÉ GRAFIKY A MULTIMÉDIÍ
FACULTY OF INFORMATION TECHNOLOGY
DEPARTMENT OF COMPUTER GRAPHICS AND MULTIMEDIA

AEROWORKS

VIZUALIZACE VZDUŠNÉHO PROSTORU VE 3D

AEROWORKS - AIR SPACE VISUALIZATION IN 3D

SEMESTRÁLNÍ PROJEKT
SEMESTRAL PROJEKT

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. Karol Rydlo

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. Peter Chudý Ph.D. MBA

BRNO 2011

Abstrakt

Tato práce pojednává o systémech pro zvýšení bezpečnosti létání a snížení zátěže pilota, pomocí moderního přístrojového vybavení, zkoumaných v laboratoři SimStar. Cílem práce je vytvoření pokročilých hlavních letových displejů (PFD), umožňujících zobrazení nejen terénu, ale také objektů ve vzdušném prostoru se systémem upozornění při vstupu do zakázaných prostorů. Výsledné řešení bude testováno na palubě ultra-lehkého letounu Evektor Robostar.

Abstract

This thesis discusses the flight instruments and systems for flight safety improvements and pilot workload reduction, studied in the SimStar laboratory. The aim of the work is the design of an advanced primary flight display, with an inbuilt terrain visualization capability supported by an active visualization of airspace classes and alerting capability to avoid hazardous/restricted areas. The final design will be tested on board of Evektor Robostar microlight aircraft.

Klíčová slova

Primární letové displeje, avionické systémy, vzdušný prostor, laboratoř SimStar, AeroWorks, SVS, lehké sportovní letadlo, Evektor, Robostar.

Keywords

Primary Flight Displays, avionic systems, air space, laboratory SimStar, Aeroworks, SVS, light sport aircraft, Evektor, Robostar

Citace

Rydlo Karol: AeroWorks - Vizualizace vzdušného prostoru ve 3D, semestrální projekt, Brno, FIT VUT v Brně, 2011

AeroWorks - Vizualizace vzdušného prostoru ve 3D

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tento semestrální projekt vypracoval samostatně pod vedením Ing. Petera Chudého Ph.D. MBA.

Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

.....
Karol Rydlo

11.1.2011

Poděkování

Rád bych poděkoval všem, kteří mně pomohli při vytváření mého semestrálního projektu. Především Ing. Peteru Chudému Ph.D. MBA za odbornou pomoc a rady kam směřovat moji práci. Také všem, jenž se mnou spolupracují v týmu Aeroworks v laboratoři SimStar.

© Karol Rydlo, 2011

Tato práce vznikla jako školní dílo na Vysokém učení technickém v Brně, Fakultě informačních technologií. Práce je chráněna autorským zákonem a její užití bez udělení oprávnění autorem je nezákonné, s výjimkou zákonem definovaných případů.

Obsah

1	Úvod	2
2	Seznam použitých zkratk	3
3	Avionické systémy.....	4
3.1	Historie	4
3.1.1	Mechanické systémy.....	4
3.1.2	Elektro-Mechanické systémy.....	5
3.1.3	Elektro-Optické systémy.....	9
3.2	Současné trendy a technologie v avionice	11
3.2.1	SVS	11
3.2.2	Integrace dalších systémů se SVS	13
3.2.3	Ukázky komerčních systémů	13
4	Návrh aplikace.....	14
4.1	Cíle výzkumu	14
4.2	Optimalizace	14
4.2.1	Návrh změny rozložení jednotlivých prvků na PFD.....	14
5	Praktické testy.....	16
5.1	Laboratorní testy – SimStar	16
5.1.1	Hardware.....	16
5.1.2	Software.....	17
5.1.3	Testy	17
5.2	Plánované reálné testy – Robostar	18
5.2.1	Prostředky	18
6	Závěr.....	20
7	Literatura a zdroje.....	21

1 Úvod

Pilotáž letounu klade nesmírné nároky na schopnosti pilota a to především ve zhoršených povětrnostních podmínkách nebo nenadálých událostech. Vzhledem k velkému množství informací, které musí pilot během letu zpracovávat, je velmi žádoucí vytvářet systémy umožňující zobrazení důležitých informací v ten vhodný čas a to lépe nežli konvenční avionické systémy. Dalším důležitým prvkem, jenž by se dal nazvat trendem poslední doby, je také rozmach v kategorii ultra-lehkých letounů, který umožňuje široké skupině zájemců stát se piloty. A právě v důsledku kombinace předchozích prvků, může vzniknout potencionálně nebezpečný prostor pro vytváření nejrozumnějších chyb. S tím také vzniká potřeba k vytvoření moderních avionických systémů vhodných pro malá ultra-lehká letadla, jež by dokázaly zjednodušit pilotáž a předejít či alespoň zmírnit stresové faktory působící při letu.

Cílem mé práce tedy bude vytvoření a popis systémů pro snazší orientaci ve vzdušném prostoru, především v kritických fázích letu. Snahou tedy je, aby vznikl systém, který bude umožňovat bezpečný let a především fázi přiblížení k letišti a přistávání. Jde tedy o to, aby výsledný systém umožnil spolehlivou orientaci ve vzduchu i v případě zhoršených podmínek letu.

2 Seznam použitých zkratek

ADF	(Automatic Direction Finder) - automatický radiokompas (ARK)
ADI	(Attitude Direction Indicator) - umělý horizont
ADS-B	(Automatic Dependent Surveillance-Broadcast) - monitorovací systém, u kterého letadla radiově vysílají digitální data o pozici, slouží pro automatický přenos polohy z GPS a dalších údajů
CRT	(Cathode Ray Tube) – typ obrazovky, založený na katodové trubici
EFIS	(Electronic Flight Instrument System) – elektronický letový informační systém
GPS	(Global Position System) - vojenský globální družicový polohový systém
HSI	(Horizontal Situation Indicator) - navigační ukazatel v horizontálním směru
ILS	(Instrument landing system) - přístrojový přistávací systém
MFD	(Multifunction Flight Display) – multifunkční letový displej,
ND	(Navigation Display) – obrazovka obsahující navigační systém
PFD	(Primary Flight Display) – hlavní letový displej, viz str. 10
SFB	(Synthetic Flight Bag) - systém ochrany letové obálky
SRTM	(Shuttle Radar Topography Mission) - mezinárodní výzkumný program, pod záštitou NGA a NASA, vytvořený za účelem nasnímání a vytvoření podrobné databáze povrchu země
STARTs	(Standard Terminal Arrival Routes) - standardní přístrojová příletová trať
TACAN	(TACTical Air Navigation) - navigační systém, poskytuje současně indikaci azimutu a vzdálenosti, využívá rádiové komunikace
TAWS	(Terrain Awareness and Warning System) - systém terénního povědomí a varování, upozorňuje před hrozcí srážkou s terénem a zabraňuje nehodám, jejichž příčinou byl tzv. řízený let do terénu
TCAS	(Traffic Alert Collision Avoidance System) - dopravní systém varování a předcházení kolizím, který upozorňuje na hrozcí srážku s jiným letounem
VOR	(VHF omnidirectional radio range) – rádiomaják
WAAS	(Wide Area Augmentation System) - systém, který doplňuje a vylepšuje vlastnosti GPS v Americe

3 Avionické systémy

Avionické systémy primárně sloužily a stále souží pro zobrazení fyzikálních veličin a důležitých parametrů letu. V této části se podíváme, jak postupoval vývoj avionických systémů od počátku letectví až po dnešní vyspělé integrované letové systémy. Současné systémy, totiž již neslouží jen k zobrazování fyzikálních veličin, ale umožňují v sobě integrovat pokročilé navigační a bezpečnostní systémy, prvky virtuální reality a mnoho dalších systémů usnadňující orientaci v prostoru.

3.1 Historie

Abychom lépe pochopili problematiku orientace pilota při letu podíváme na v této kapitole na vývoj a výzkum civilních letových systémů od prvotních úspěšných pokusů bratří Wrightů, přes letouny meziválečného období až po systémy velkých dopravní proudových letounů. Však z pohledu možností avionických systémů budu dělit tuto kategorii podle konstrukce a tedy principu jakým jsou informace získávány, předávány a zobrazovány na palubní desce.

3.1.1 Mechanické systémy

Následující informace jsou částečně převzaty a přeloženy z [1]

Na počátku éry mechanických systémů stál bezpochyby stroj bratří Wrightů. Pro jejich potřeby byly z pohledu avioniky zásadní přístroje pro měření rychlosti větru a také ukazatel směru proudění vzduchu. Dalším přístrojem již byl jen ukazatel otáček motoru. V této době byl tento přístroj zásadní pro bezpečný let, jelikož otáčky motoru určovaly stav a výkon motoru, který byl v tomto období velmi nespolehlivou součástí letadla.

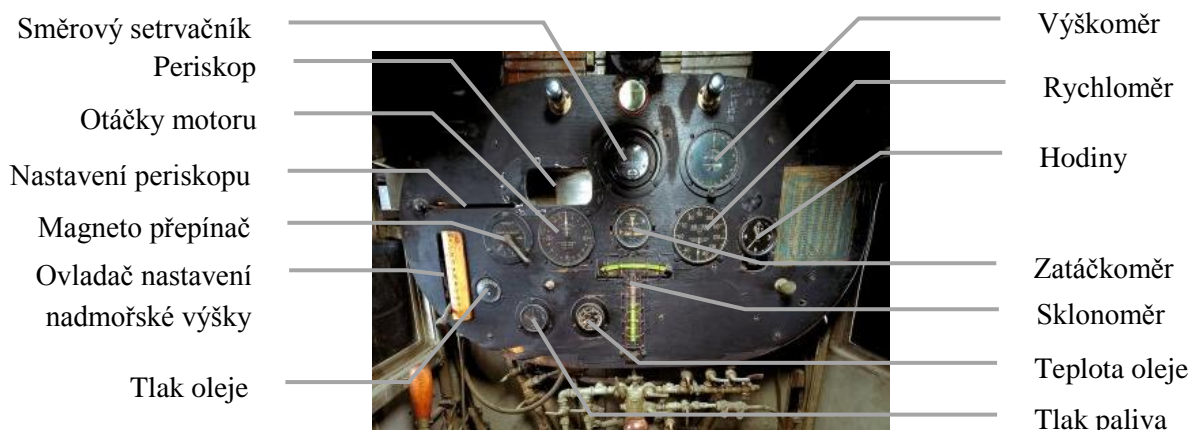
Avšak pravděpodobně nejdůležitějším ukazatelem v této době byl indikátor úhlu proudění vzduchu, který určoval, zda stroj stoupá nebo klesá, případně či nedošlo k přetažení (pozn. ang. Stall, ztráta vztlaču na křídle). Vzhledem k tomu, že tento parametr je stěžejní pro bezpečný let zachoval se tento indikátor u letounů až do dnešních dob, jen již nejsou přímo zobrazovány jeho hodnoty na palubní desce, s výjimkou stíhacích letounů, ale je elektronicky signalizováno, pokud se blíží k hraničním hodnotám.

Pokud poté uvážím, že s obdobnými přístroji a mapou dokázal Bleriot se strojem Bleriot XI v roce 1909 přeletět Lamanšský průliv, lze považovat tento výkon za velmi odvážný.

Později však požadavky na úkoly plněné letadly narůstaly a tím se také změnily potřeby avionického vybavení pilotní kabiny. Nepopiratelný význam mělo také použití letecké techniky v 1. Světové válce kde také válečné potřeby vedly k rozvoji rozličných systémů jak vojenských tak také, obecně použitelných i v civilní letecké dopravě.

A právě tyto nové systémy a nové potřeby poválečného letectví vedly k mnoha změnám, které byly nutné pro rozvoj v oblasti civilní letecké dopravy, respektive přeprava cestujících a nákladu. Aby však k tomuto mohlo dojít, musela se podstatně zvýšit spolehlivost a bezpečnost letecké techniky. Názornou ukázkou a důkazem tohoto rozmachu je bezpochyby první přelet Atlantiku, který provedl Charles Lindbergh v letounu Spirit of St. Louis 22. května 1927. Když se podíváme na prostředky, které to umožnily, bezpochyby podstatný vliv měl také pokrok v avionických systémech. Lindbergh již používal většinu avionických systémů, které ač v odlišných podobách nalezneme také v kabině dnešních letounů. Avšak jeho koncepce trpěla také značnými nepříjemnostmi. Z kabiny letounu Spirit of St. Louis, byl jen velmi omezený výhled vpřed, ke kterému sloužilo jen velmi malé

okénko. A právě i z tohoto důvodu byly kladeny velmi vysoké nároky na přístrojové vybavení. Následuje schéma rozložení přístrojového vybavení v letounu Spirit of St. Louis:



Obrázek 1 - Přístrojový panel letounu Spirit of St. Louis [9] a popis jednotlivých přístrojů [1]

Dalším průkopníkem v této oblasti byl také James Doolittle, který nebyl jen letcem, ale stál také za rozvojem avionických systémů. Společně s Paulem Kollsmanem vyvinuli citlivý výškoměr a s Elmerem Sperryem se stal průkopníkem v gyroskopických systémech, kde se zaměřovali na létání jen pomocí přístrojů. Doolittlův letoun Consolidated NY-2, například provedl v roce 1929 vzlet, okruh nad letištěm, a následné přistání bez toho, aby viděli ven z kokpitu. Stroj NY-2 byl na svoji dobu vybaven velmi pokročilými přístroji:

- Sperryho gyroskopický umělý horizont,
- směrový setrvačník,
- kompas,
- zatáčkoměr,
- ukazatel rychlosti,
- speciální 0-20000 ft Kollmanův výškoměr.

3.1.2 Elektro-Mechanické systémy

Následující informace jsou částečně převzaty a přeloženy z [1]

S rozvojem elektrických systémů v letounech šel ruku v ruce také rozvoj avionických systémů založených již na elektro-mechanických principech fungování. Prvním letounem vybaveným přístrojovou deskou se všemi přístroji ovládanými elektronicky byl v roce 1934 Lockheed Electra. Tento letoun sice obsahoval všechny nejdůležitější přístroje, ale jejich rozložení neodpovídalo žádným tehdejšími standardům. Mnohem úspěšnějším se však nakonec stal jeho konkurent Douglas DC-3 jenž se dostal do provozu a dva roky později v roce 1936 a asi nejvíce se prosadil v průběhu 2. Světové války, kdy narostla potřeba letecké přepravy v USA o 600%.

Ve stejné době jako vznikal Lockheed Electra, byl na podobném konceptu palubní desky postaven i kokpit známého bombardéru Boeing B-17 Super Fortress, jenž ačkoliv to byl válečný letoun, obsahoval mnoho prvků použitých v civilní oblasti.

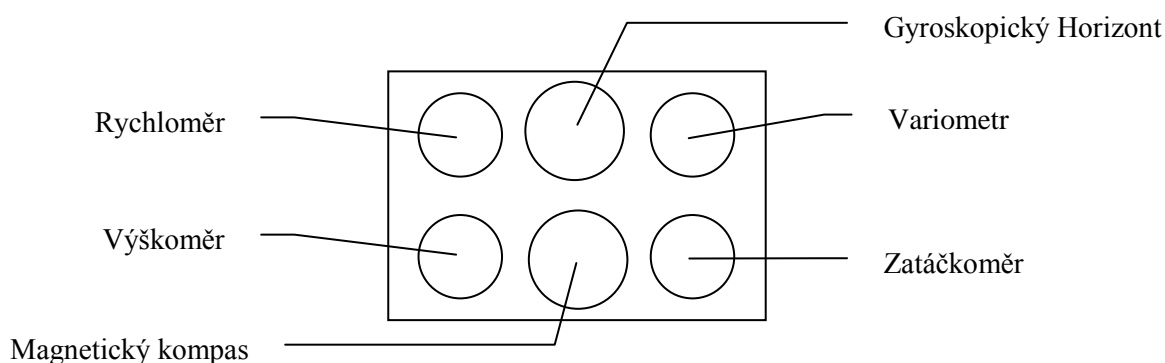
Dalším velmi známým a v průběhu 2. Světové války úspěšným letounem byl britský bombardér Avro Lancaster. Jeho úkoly, především dálkového bombardéru, vyžadovaly velmi přesnou navigaci a na cíl a zase zpět, což přineslo mnoho nových přístrojů, především pak ovládání radio-navigačních a

naváděcích přístrojů. Lancaster také přinesl standart rozmístnění důležitých přístrojů v konfiguraci tzv. základní šestky.

Jak již bylo zmíněno, v této době se také začaly tvořit standardy leteckých přístrojů a jejich rozmístnění na přístrojové desce. Tento proces utváření standardu lze rozdělit do dvou etap, kde v první vzniklo uskupení 6 základní a nejdůležitějších přístrojů do obdélníku a později byl tento model upraven, takže se nejdůležitější přístroje posunuly do tzv. základního T.

Základních 6

První model 6 přístrojů umístěných do obdélníku, 3 na šířku a 2 na výšku. Jedním z prvních letounů s tímto uspořádáním palubní desky byl již zmíněný stroj Avro Lancaster. Když se podíváme na jeho rozložení přístrojového vybavení, tak právě tato šestice přístrojů obsahovala ty nejdůležitější informace, které pilot potřeboval. Na Obrázek 2 můžeme vidět rozložení přístrojů základní 6.



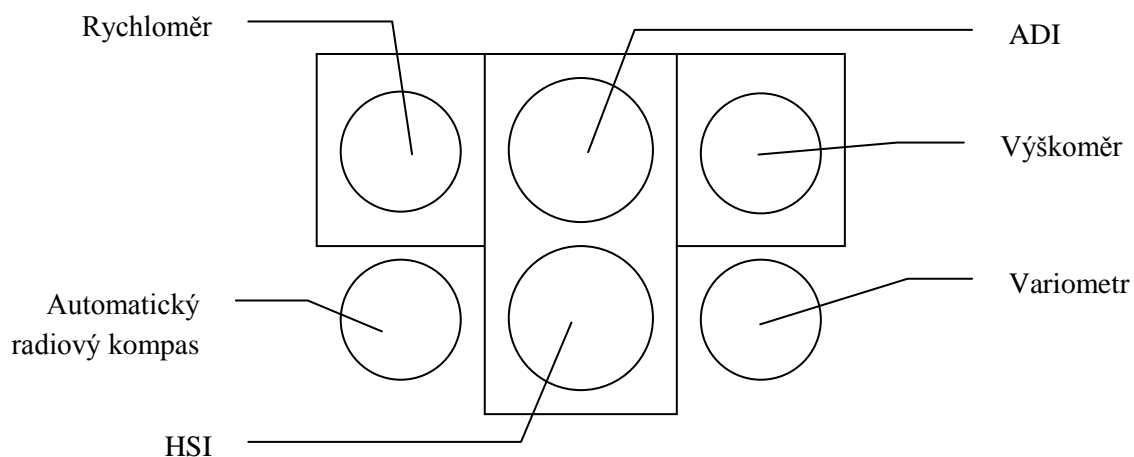
Obrázek 2 – rozložení palubní desky do základních 6

Základní T

V poválečném období se postupným nástupem proudových motorů a nových konstrukcí letadel opět dosti rozšířily jejich možnosti, což vedlo k odlišným potřebám na přístrojové vybavení kokpitů těchto letadel. A tak se koncem 50-let v US Air Force zformoval tým inženýrů, pilotů a odborníků na faktory, jenž ovlivňují člověka, s cílem vytvořit kompletní přístrojový panel. Tento koncept se jmenoval Integrated Instrument System(IIS), tedy integrovaný systém přístrojového vybavení.

Právě tento systém měl vést k tomu, aby pilot ztratil co nejméně času nalezením potřebných hodnot na přístrojovém panelu. Řešením byl tedy systém, kdy všechna letová data (úhel náběhu alfa, Machovo číslo, rychlost, výška a ukazatel změny výšky) byla zobrazena na pohyblivých páskách, které měly usnadnit odečítání příslušných hodnot oproti klasickým kulatým přístrojům. Tyto dvě pásky byly umístěny po stranách ukazatele vertikální situace, tedy umělého horizontu ADI (Attitude Direction Indicator) a navigační ukazatel horizontální situace HSI (Horizontal Situation Indicator). Celý tento systém tedy vytvořil tzv. rozložení do základního T.

Civilní letecká doprava také převzala tento koncept, avšak s drobným rozdílem, že oproti posuvným páskám byly použity kulaté přístroje, viz Obrázek 3



Obrázek 3 - konfigurace přístrojové desky model základní T

Výsledkem těchto doporučení tedy byla konfigurace, která je u civilních dopravních letounů s elektromechanickými přístroji používána dodnes.

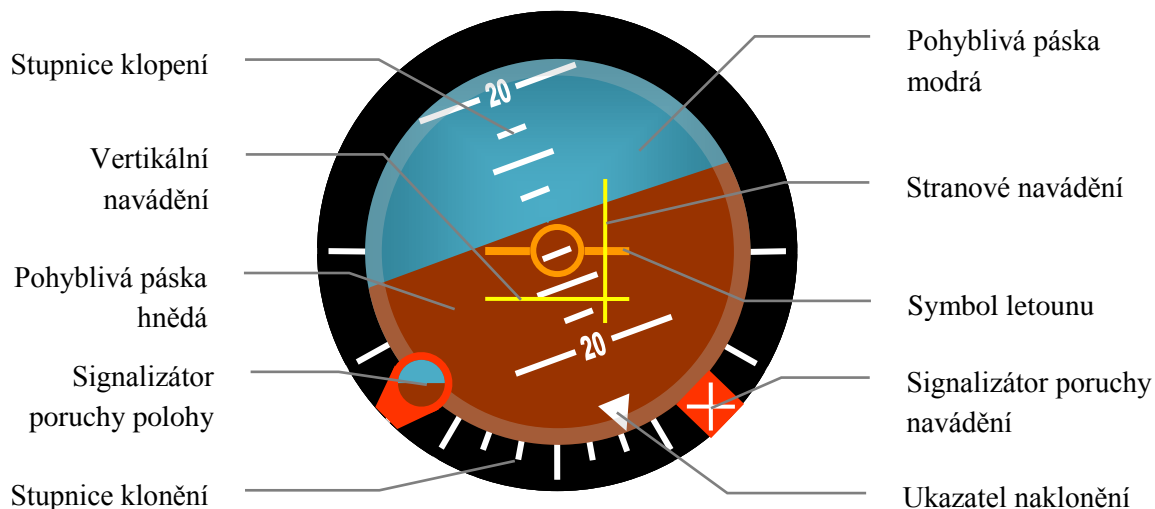
Další změnou také prošel samotný ukazatel výšky, který od klasického ručičkového, kde první ručička ukazovala po 100 stopách, druhá po 1000 a třetí po 10000 stopách, přešel na počítadlový model, u něhož zůstala jedna ručička ukazující po 100 stopách, a jinak počítadlo ukazovalo výšku s přesností na 100 stop.

ADI

Umělý horizont, neboli Attitude Direction Indicator (ADI), kombinuje do jednoho přístroje funkcionalitu následujících tří přístrojů ze staršího modelu „základních 6“,

- gyroskopický umělý horizont,
- ILS (přístrojový přistávací systém) směrový indikátor,
- zatáčkoměr s relativním příčným sklonoměrem.

Celý přístroj je možno rozdělit na několik částí: umělý horizont, letového direktora, zatáčkoměr s relativním příčným sklonoměrem a signalizátorem poruchy, viz Obrázek 4.



Obrázek 4 - Umělý horizont

Umělý horizont je rozdělen na část pro oblohu, označena modře, a část označující zemi, označena hnědě. Dále ukazuje úhel určující klopení a klonění vzhledem k statickému symbolu letounu uprostřed. Klopení je označeno na středové kouli stupnicí. Klonění zase na okraji, na něhož ukazuje ze středové koule trojúhelník.

Naváděcí systém je složen se dvou linií zobrazujících stranové a vertikální navádění podle předvoleného letového plánu. Mnoho navigačních přístrojů je spojeno do letového naváděcího systému v závislosti na fázi letu. Spojuje například radiové navigační systémy (ADF, VOR a TACAN), letový řídicí počítač a autopilota. Ve fázi přibližování a přistávání zároveň funguje za pomoci ILS přijímače jako ukazatel odchylky ve směru a úhlu letu.

Zatáčkoměr s relativním příčným sklonoměrem je umístěn na čelní straně přístroje.

Signalizátory poruchy varuje nebo upozorňuje na situaci, kdy je nutný zásah posádky, jelikož došlo k nesrovnalostem mezi přístroji kapitána a druhého pilota, oba přístroje totiž dostávají data z nezávislých zdrojů. Oba přístroje jsou vzájemně monitorovány a v případě rozdílu musí posádka rozhodnout, který ukazuje správně.

HSI

Podobně jako ADI tak také Horizontal Situation Indicator (HSI), kombinuje trojici přístrojů se „základní 6“,

- kompas, jak gyroskopický tak také magnetický
- rádio kompas,
- a dálkoměr.



Obrázek 5 - Horizontal Situation Indicator (HSI) [2]

Zařízení na Obrázek 5 funguje jako magnetický kompas nebo také jako směrový gyroskopický ukazatel v závislosti na zvoleném režimu a obsahuje následující prvky.

Směr letu (Aircraft heading) je udáván rotací kompasového ciferníku a pevné značky umístěné ve středu horní části.

Letový kurz (Aircraft course) znázorňuje ukazatelem kurzu oproti rotujícímu ciferníku kompasu. Zvolený kurz je relativní vůči ciferníku kompasu, ale navíc je jeho hodnota také zobrazena v pravém horním rohu přístroje.

Zvolený směr letu (Selected heading) se zobrazuje směrovým ukazatelem, opět oproti rotujícímu ciferníku kompasu. Zvolený kurz lze nastavit relativně vzhledem ke kompasu pomocí tlačítka pro nastavení směru letu.

Informace o relativní orientaci (Relative bearing) je zobrazena jako ukazatel relativní orientace vzhledem ke kompasu. Je však na něm nezávislá a získávána se z rádio-navigace.

Odchylka v azimutu (Deviation in azimuth) od zvoleného relativního směru nebo ILS lokalizačního paprsku je určena boční posunutí vzhledem k ukazateli odchylky kurzu.

Odchylka ve vertikálním směru (Deviation in pitch) získávaná z ILS kluzné dráhy je zobrazena na svislé stupnici a ukazuje odchylku od ideální kluzné dráhy.

DME počítadlo (DME counter) ukazuje vzdálenost letounu od majáku. Značka k/od indikuje relativní směr letu vzhledem danému majáku.

Závěr – Elektro-mechanické systémy

Příkladem použití těchto nových přístupů může být například letoun Boeing 747, který ve svých prvních verzích obsahoval klasickou ukázkou rozložení přístrojového vybavení podle tzv. základního T. Samozřejmě pozdější a modernizované verze již používají plně integrovaný skleněný kokpit se šesti AMLCD obrazovkami. Tím se však již dostáváme do období elektro-optických systémů, o kterých se více dozvíte v následující části.

3.1.3 Elektro-Optické systémy

Následující informace jsou částečně převzaty a přeloženy z [1]

V 70. letech 20. století značně narostl letecký provoz, došlo k vylepšení rádio a setrvačnickových navigací a palubní počítače se staly mnohem sofistikovanější. Byl zde však problém, jelikož elektro-mechanické přístroje nedokázaly zobrazovat takové množství informací dostatečně přehledně a intuitivně. Proto přichází technologie CRT (Cathode Ray Tube).

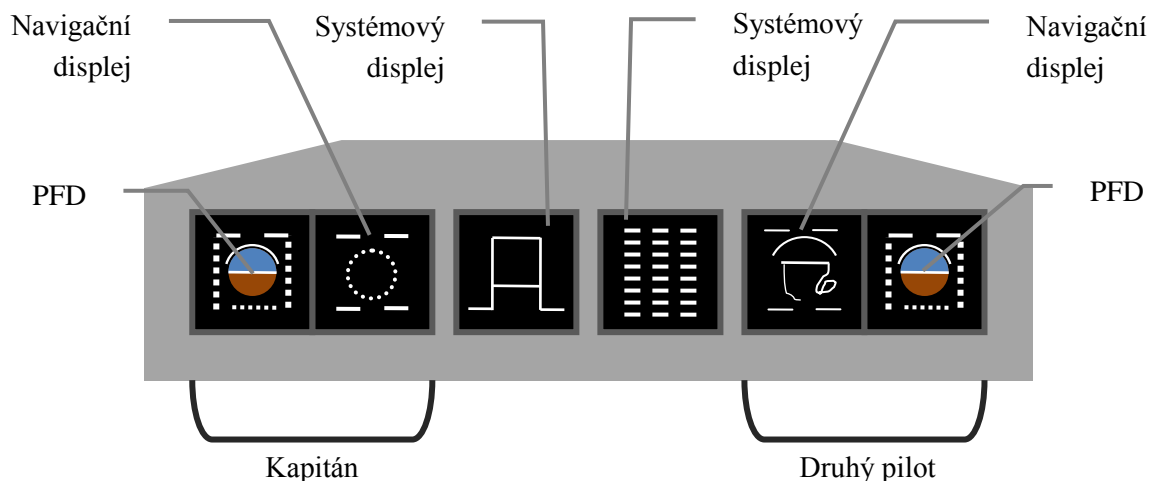
CRT technologie byla ze začátku využívána především ve vojenském letectví, kde první verze byly pouze monochromatické (většinou zelené). Do civilního sektoru se však již dostávají multifunkční CRT displeje v barevném provedení.

Výzkum

Původně byl výzkum v USA v oblasti multifunkčních CRT displejů úzce svázán s vývojem nadzvukového civilního dopravního letounu, jelikož byl však program ukončen, byla práce na tomto projektu přesunuta do projektu NASA, kde byla v letounu Boeing 737 součástí programu TCV (Terminal Configured Vehicle). Prvními letouny v USA, které využívaly tuto technologii, se staly stroje firmy Boeing 757 a 767. Obdobně ve Velké Británii byl výzkum v rukou společnosti BAe Weybridge ve spolupráci s GEC a Smiths Aerospace Industries. Britská vláda, oddělení pro obchod a průmysl DTI, podporovala tento program známý též po názvem Advanced Civil Flight Deck (ACFD), neboli pokročilá přístrojová deska pro civilní dopravní letouny.

Původní koncept pro pozemní testování se skládal se 6 displejů s rozměry 6x4,5 palce (poměr stran 4:3) ležících na šířku. Displeje byly monochromatické a obsahovaly rozlišení 625 řádků prokládaně.

Tento systém měl demonstrovat použití stranově shodné konfigurovatelné přístrojové desky s PFD (Primary Flight Display) a ND (Navigation Display) displeji. Rozložení těchto displejů můžeme vidět na následujícím Obrázek 6



Obrázek 6 - Pokročilá civilní přístrojová deska, koncept ACFT

Nasazení

Jedním z prvních testovacích strojů se stal letoun BAC 1-11, který obsahoval jeden primární letový displej a jeden navigační displej. Obsahoval již barevné displeje s velikostí tradičních 6,25x6,25 palců. Displeje byly plně zintegrovány do přístrojového vybavení, ale prozatím byly nainstalovány jen na levé straně přístrojové desky a napravo byly záložní tradiční přístroje. Letoun s těmito přístroji absolvoval celou řadu zkušebních letů, při kterých si piloti pochvalovali nový intuitivní koncept přístrojů a velmi rychle si na něj zvykli. To byl začátek expanze elektro-optických přístrojů do kokpitů moderních letounů.

Hlavní letový displej (PFD)

Hlavní letový displej převzal funkci přístrojů „základního T“ a sloučil je do jednoho přístroje. Popis jednotlivých přístrojů můžeme vidět na následujícím Obrázek 7.



Obrázek 7 - Hlavní letový displej PFD, Boeing 747-400 [3]

Navigační displej (ND)

Navigační displej zobrazuje 2 možné režimy. HSI a mapu zobrazující letový plán s aktuální polohou. Se zavedením ND bylo poprvé možno vidět reálný letový plán včetně možnosti přizpůsobení,

zobrazení důležitých navigačních bodů, ukazatelů a dalších informací nutných k navigaci. Obě možnosti zobrazení můžeme vidět na následujícím Obrázek 8.



Obrázek 8 - SANDEL SN4500 EHSI - kompasový a mapový režim [11]

Závěr – Elektro-optické systémy

V dnešní době integrují všichni hlavní výrobci moderní dopravních letounů tzv. skleněný kokpit. Základem jsou téměř vždy přístroje zde uvedené, případně jejich různý stupeň vzájemné integrace. Také se změnila technologie, jakou jsou tyto informace zobrazovány a to především přechod na LCD technologii, případně její odvozeniny AMLCD a podobné.

Také došlo k rozšíření možností ADI o zobrazení letového naváděče, tedy výsledný systém EADI a obdobně systém EHSI, což je systém HSI rozšířen o možnost zobrazení různých vrstev, např. radarových informací o počasí.

3.2 Současné trendy a technologie v avionice

Tato podkapitola popisuje systémy, které slouží pro vizualizaci letové situace a různou míru integrace vizualizací pro rozličné systémy zaručující zvýšení bezpečnosti letu.

3.2.1 SVS

Následující informace jsou částečně převzaty a přeloženy z [4]

Systém syntetického vidění neboli SVS (Synthetic Vision System), integruje v jeden celek mnoho dnešních moderních technologií takovým způsobem, aby případné problémy nebo hrozící nebezpečí byly přehledně vizualizovány a jednoduše intuitivně a rychle vnímány piloty, a to především v situacích kdy to přímá viditelnost neumožňuje.

Systém využívá GPS navigace pro určení polohy a následně může být také propojen s mnoha dalšími systémy pro zvýšení bezpečnosti, např. systémem upozorňujícím před srážkou s terémem TAWS (Terrain Awareness and Warning System), dopravním systémem varování a předcházení kolizím TCAS (Traffic alert Collision Avoidance System) nebo různými dalšími systémy pro navádění a navigaci, např. ADS-B, ILS, STARTs.

Systém také může umožnit pohledy z různé perspektivy kokpitu (egocentric), venkovní pohled (exocentric) nebo mapový pohled (coplanar).

Vhodným řešením je samozřejmě implementace těchto systémů v rámci hlavních letových displejů PFD nebo v rámci multifunkčních letových displejů MFD. Realizací integrace těchto systémů potom vznikají systémy EFIS (Electronic Flight Instrument System), případně je také možná integrace v rámci HUD (Head-Up Display).

Výzkum

V roce 1997 začala NASA pracovat na programu pro zvýšení bezpečnosti v letectví AvSP(Aviation Safety program), jehož účelem bylo vytvořit technologie, které budou vést ke snížení počtu nehod v letectví. Jelikož bylo zjištěno, že jedním z hlavních faktorů vedoucích k nehodám byla ztráta orientace při špatných povětrnostních podmínkách a s tím související špatné viditelnosti, rozhodlo se, že bude vytvořen systém syntetického vidění. SVS. Tento projekt byl rozdělen na následující 3 podprojekty:

- komerční letectví – návrh projektu pro potřeby velkého dopravního letectví, s ohledem na množství rozličných systémů senzorů,
- doprovodné technologie – vytvoření systému pro technické zázemí CNS (Communication, Navigation, Surveillance)
- všeobecné letectví – zaměření na různé specifické potřeby konkrétních systémů, zároveň se snahou na snížení nákladů na aplikace.

Od poloviny 90. let 20. století zároveň NASA pracovala na projektu AGATE, který se snaží o realizaci vzdušných koridorů systémem HITS (Highway in the Sky). NASA společně s dalšími partnery na tomto projektu vytvářejí systém Chelton FlightLogic EFIS, který obsahuje PFD, MFD a také HITS.

V roce 2001 na letišti v Eagle (Texas, USA) byl předveden první demonstrátor technologie SVS na letounu NASA B757-200 ARIES (Airbone REaserch Integrated Experiments System), který sloužil k ověření spolupráce systému GPS s databází syntetického terénu.

V roce 2004 na letišti v Reno (Nevada, USA) proběhly první pozemní a letové zkoušky systému SVS na komerčním letounu Gulfstream V. Letoun byl vybaven pro potřeby testování letu pouze za využití vizualizace letových tras (Path-in-the-sky) a zároveň byl také vybaven systémem EVS (systém senzorů FLIR zabudovaných na přídě letounu).

Funkce SVS

Systém SVS se snaží, abychom pomocí syntetického terénu dokázali mít při pohledu na PFD obdobný přehled jako při pohledu přes HUD. V PFD je pomocí tunelu prezentována trajektorie letu, kterou je možno si na MFD doplnit o trojrozměrnou letovou trasu. K určení polohy letounu je využit systém GPS s případnou další korekcí pomocí systému WAAS (Wide Area Augmentation System) a systém AHRS (Attitude Heading Reference System), který využívá laserového (solid-state) a mikroelektro-mechanického gyroskopu (MEMS).

K získání informací pro vizualizaci terénu posloužila databáze vytvořená v roce 2000 při příležitosti mise SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) raketoplánu Endeavor.

3.2.2 Integrace dalších systémů se SVS

Systém SVS je možno rozšířit o další možnosti pro zobrazování doplňkových systémů, jako např. systémy pro vizualizaci počasí, vizualizaci protisrážkových systémů TAWS a TCAS nebo přímé zobrazovací systémy, např. systémy pro zlepšení viditelnosti EVS (Enhanced Vision System) pomocí infračervených kamer, a další.

Také je možno do SVS zabudovat systém ochrany letové obálky SFB (Synthetic Flight Bag), ten umožňuje vizualizaci prvků, které pomáhají ve splnění požadavků pro bezpečnou pilotáž, případně upozorňují na stavy, které mohou ohrožovat bezpečnost posádky.

3.2.3 Ukázky komerčních systémů



Obrázek 9 - GARMIN® G1000 (nahore) a G3000 (dole) [10]

4 Návrh aplikace

Aplikační základ primárních leteckých displejů (PFD) vychází z práce Jana Bílka [3], jehož aplikace využívá poznatků současných PFD a přizpůsobuje je pro potřeby vizualizace letových veličin na displejích v prostředí laboratoře SimStar. Pro vizualizaci vzdušného prostoru je však nutné přepracovat podobu této aplikace pro nové potřeby zobrazení objektů v terénu a potřebných navigačních a navigačních prvků.

4.1 Cíle výzkumu

Abychom však lépe porozuměli vzniklým požadavkům, objasníme si cíle, ke kterým směřujeme. Jedním ze základních cílů je tedy vytvořit displeje, jež umožní zobrazení vzdušného prostoru v dané oblasti a zároveň umožní vytvoření dostatečného přehledu o situaci a okolí letounu. Tento je velmi důležitý pro správné vyhodnocení kritických parametrů, bezpečné zvládnutí dané situace a také snížení stresových faktorů působících na pilota.

Dalším důležitým prvkem, který je potřeba zaintegrovat do aplikace, je systém nastavení komunikačních a navigačních parametrů. Tyto úzce souvisejí s polohou v rámci jednotlivých podčástí vzdušného prostoru.

Posledním a zároveň velmi důležitým cílem je otestování aplikace v reálném provozu. Proto je nutné vytvořit postupy, jakými otestovat danou aplikaci v reálných podmínkách skutečného letounu. To bude vyžadovat zásadní změnu principu získávání základních letových dat a také změnu platformy, na které původní aplikace fungovala.

4.2 Optimalizace

Jak jsem již zmínil první fází nutnou pro integrace vzdušného prostoru a ovládání navigačních parametrů, je značná optimalizace jak rozložení jednotlivých prvků na PFD, tak také optimalizace programového kódu pro plynulé zvládání i těchto operací. Další nutnou optimalizací musí projít aplikace také z důvodu běhu na podstatně méně výkonném systému, jenž bude použit při reálných testech. Transformací musí také projít systém sběru fyzikálních veličin, jelikož již nebude brát data z programu MS Flight Simulator, ale ze skutečných snímacích senzorů.

4.2.1 Návrh změny rozložení jednotlivých prvků na PFD

Oproti původní aplikaci bylo nutné více rozšířit středovou část s ukazateli směru letu, aby bylo možno zaintegrovat nové navigační prvky a také abychom získali lepší přehled o situaci vzdušného prostoru ve směru letu.

Původní verze ukazatelů

Původní verze vycházela ze známého tradičního rozložení přístrojů běžných výrobců primárních letových displejů. Na Obrázek 10 můžeme vidět běžné rozložení ukazatelů, z původní verze od Jana Bílka, navíc však s dráhou 10 letiště Brno Tuřany. Tato verze sloužila k počáteční optimalizaci zobrazení perspektivy objektů a terénu vzhledem venkovní situaci (obrazu na plátně).



Obrázek 10 - Původní rozložení prvků aplikace, přistávání na LKTB

Nově přepracované rozhraní

V této verzi bylo značně přepracováno grafické uživatelské rozhraní, jak můžeme vidět na Obrázek 11. Byla rozšířena oblast okolo středu obrazovky a zoptimalizován zatáčkoměr a ukazatele rychlosti a výšky. Dále byl vytvořen koncept rozložení položek menu do tlačítek po straně obrazovky (aktuálně zobrazena mapa). Tato tlačítka by se ve finální verzi měla nacházet po obou stranách obrazovky a měla by tak být schopna po doteku zobrazovat veškeré položky redundantně. Předpokládá se, že toto menu by mělo umožnit plně ovládání komunikace, nastavení navigace, autopilota a dalších důležitých prvků.



Obrázek 11 - Nová optimalizovaná verze rozhraní, přistávání na LKTB

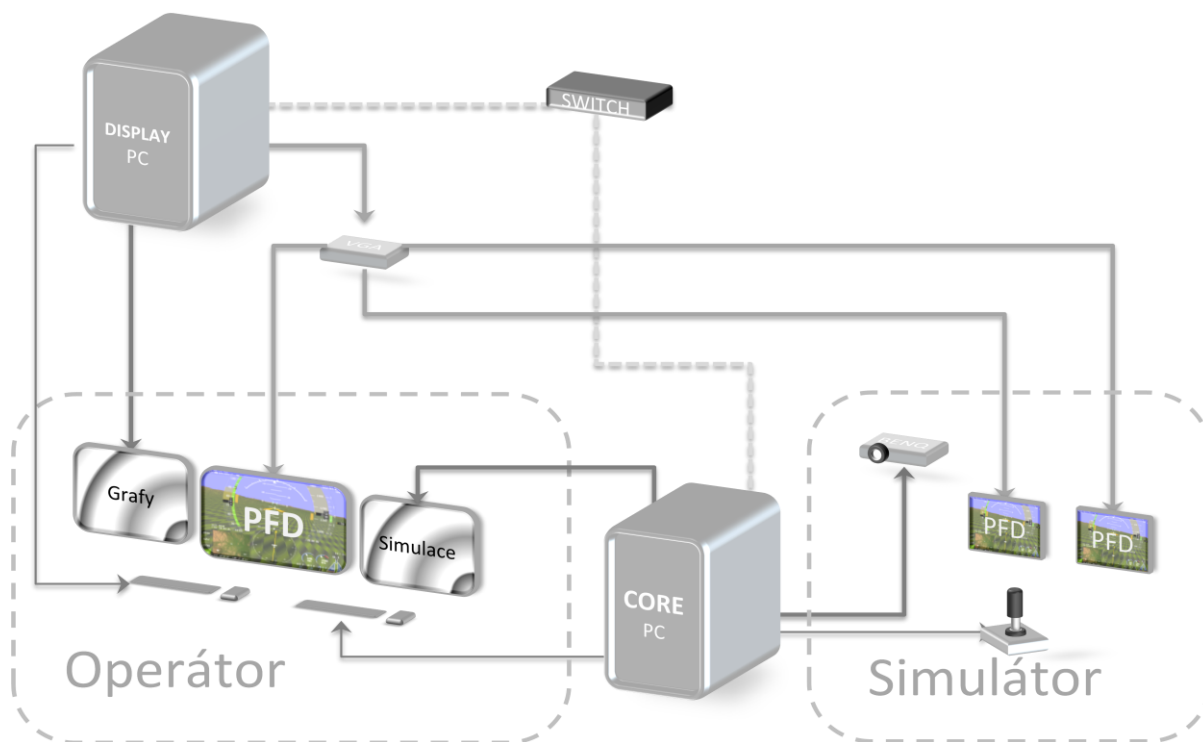
5 Praktické testy

Praktické testy je možno rozdělit do dvou kategorií. Za prvé to jsou laboratorní testy na simulátoru Sim Star a potom také terénní testy na systému Dell Latitude XT2. V následující části se budu podrobněji věnovat každé z nich a podrobně popíši výhody a požadované cíle jednotlivých testů.

5.1 Laboratorní testy – SimStar

Laboratoř SimStar slouží jako výzkumná laboratoř na testování a vytváření systémů založených na dotykových leteckých přístrojích. Je vybavena trupem letounu EV-97 Sportstar s nově nainstalovanými multifunkčními dotekovými obrazovkami.

Laboratoř je rozdělena na dvě části, kde první obsahuje korpus letounu a tvoří simulační místnost a ve druhé je obsaženo výpočetní vybavení a stanoviště operátora, viz schéma laboratoře SimStar Obrázek 12.



Obrázek 12 - Schema laboratoře SimStar

5.1.1 Hardware

Laboratoř obsahuje dvě výpočetní stanice, kde stanice CORE-PC obstarává běh simulačního jádra a jeho vizualizaci na plátno a druhá stanice DISPLAY-PC zajišťuje prostředí pro tvorbu a běh multifunkčních displejů.

CORE-PC zobrazuje vizualizaci simulace na dvě obsahově shodné obrazovky a zajišťuje jak obraz pro simulátor, tak také pro stanici operátora. Po hardwarové stránce je vybavena výkonným procesorem Intel® Core™ i7 870 a 4 GB paměti, kterým sekunduje grafická karta nVidia GeForce GTX 460 a nVidia® GeForce® GTS 250, jež se starají o vizualizaci nasimulovaných dat.

Stanice DISPLAY-PC zajišťuje obraz programu pro dotykové PFD uvnitř letounu a také jeho kopii v místnosti operátora, kde se navíc zobrazují i další důležité údaje o průběhu letu. Po hardwarové stránce obsahuje procesor Intel® Core™ 2 Duo 4400 na 2 GHz s 1 GB RAM. Zprostředkovatelem obrazu je zde grafická karta nVidia® GeForce® GTS 250.

Jednotlivé stanice jsou spojeny gigabitovým ethernetem, který umožňuje jejich vzájemnou komunikaci.

Pro ovládání simulace je k dispozici v trupu letounu zabudovaný a upravený joystick Logitech® Flight System G940.

5.1.2 Software

Vzhledem k použité klasické PC architektuře na obou stanicích je nám umožněn výběr široké škály operačních systémů. Jelikož byl však jako simulační nástroj prozatím použit MS Flight Simulator, běží obě stanice na OS Windows (XP a Vista) od Microsoftu.

Dále byly experimentálně použity také jiné simulátory, postavené na open-source simulačním jádře JSBSim a to Fligh Gear [6] a Outerra [7]. Simulační jádro JSBSim je velmi vhodné na testování simulačních modelů, které jsou také součástí testovacích procedur běžících v laboratoři.

5.1.3 Testy

Prozatím probíhá testování PFD v laboratoři SimStar s parametry letu získávanými z MS Flight Simulatoru. Avšak do budoucna se předpokládá přechod na simulační jádro JSBSim s jedním s již zmiňovaných rozhraní pro vizualizaci. Z tohoto důvodu, a také z důvodu plánovaných praktických ověřovacích zkoušek, bude nutné vytvořit nové pokud možno universální rozhraní umožňující komunikaci jak v prostředí laboratoře tak také přímo v letadle.

V laboratoři SimStar je možno provádět testování přímo v prostředí kokpitu a také případnou operativní změnu zdrojových kódů a testování uživatelského rozhraní z pracoviště operátora, které je také vybaveno kopií PDF na dotykovém displeji. Testy v laboratoři SimStar umožňují odhalit základní problém s funkcionalitou a také s rozmístněním ovládacích prvků na PFD a to při testování v rozličných situacích během letu, které by ve skutečném letounu mohly být velmi nebezpečné.



Obrázek 13 - Laboratoř SimStar

5.2 Plánované reálné testy – Robostar

Testování v letounu Evektor EV-97 Robostar má sloužit především pro ověření funkčnosti PFD v reálných podmínkách a zároveň k vyladění jednotlivých prvků v reálném prostředí tak, aby celkový dojem byl co možná nejpřirozenější.

5.2.1 Prostředky

V této části popíši předběžné prostředky, které jsou dostupné a nutné pro testování v reálných podmínkách.

Evektor EV-97 Robostar

Robostar je speciálně uzpůsobený experimentální letoun, vycházející z malého ultra-lehkého sportovního letounu Evektor EV-97 SportStar SL, pro testování automatických letových systémů. Právě tento letoun bude sloužit pro testování vytvořených systémů ve skutečných podmínkách.

Přehled parametrů SportStar SL [8]

Rozměry	
Délka	5,98 m
Výška	2,48 m
Rozpětí	8,65 m
Šířka kabiny	1,18 m
Hmotnost a objemy	
Prázdný / Maximální vzletová hmotnost	309 kg /600 kg
Maximální hmotnost zavazadel	25 kg
Objem palivové nádrže	120 l
Letové výkony s motorem Rotax 912 ULS	
Nepřekročitelná rychlost	270 km/h
Max. horizontální rychlost	213 km/
Cestovní rychlost při 75% výkonu motoru	204 km/h
Pádová rychlost bez klapek	83 km/h
Stoupavost	5,2 m/s
Dostup	4,720 m
Délka vzletu / přistání	180 m / 180 m
Dolet	1310 km



Obrázek 14 - Robostar

Dell Latitude XT2

Pro testování v polních podmínkách bude použit konvertibilní tablet Dell Latitude XT2, který je díky jeho speciálním vlastnostem vhodný pro testování v náročných externích podmínkách.

Je vybaven displejem s DLV podsvícením s vysokou hodnotou jasu a velmi dobrým kontrastem obrazu, jenž umožňuje pozorovatelnost i na přímém slunečním světle. Další jeho důležitou specifikací je použití odolného SSD disku, který by měl zaručit dostupnost dat za letových podmínek (vibrace, přetížení). Vysokou výdrž na baterie by měl, již vedle zmíněného disku, zaručovat výkonný, ale úsporný procesor Intel®Core 2 Duo SU9600.

Tablet běží na operačním systému Ubuntu 10.10 s doinstalovanými aplikacemi potřebnými pro funkci dotekového ovládání. Otevřený operační systém byl zvolen z důvodu své podpory pro rozličné platformy, a tím pádem možnosti běhu i na vestavěných systémech založených například na procesorech rodiny ARM.

Ukázka konceptu testování na tabletu XT2 je vyobrazena na Obrázek 15. Zároveň je zde možnost vidět srovnání s již zabudovaným systémem dotekových displejů.



Obrázek 15 - Dell Latitude XT2 při ukázce budoucího testování (prostředí laboratoře SimStar)

Měřicí aparatura

Pro získávání letových dat bude nutné vytvořit systém, jenž bude získávat jednotlivé parametry letu z rozličných tlakových snímačů, senzorů a GPS zařízení, které bude sloužit ke zjišťování polohy.

6 Závěr

Aplikace běžící na systému primárních letových displejů instalovaných v laboratoři SimStar je v současné době připravena na integraci dalších prvků pro vizualizaci vzdušného prostoru a navigačních systémů, jenž jsou součástí projektů členů týmu Aeroworks. Oproti předchozí verzi instalovaného systému došlo především k optimalizaci po stránce jak výkonnostní, tak také bylo značně přepracováno grafické uživatelské rozhraní.

Snížení nároků pro provoz systému je zcela zásadní pro připravované testování v reálných podmínkách, kde se počítá, že v první fázi bude testováno na zařízení Dell Latitude XT2, a následně na příslušném vestavěném zařízení přímo v kokpitu letounu Robostar.

Přepracování uživatelského rozhraní již vedlo ke zkušební integraci vizualizace vzdušného prostoru, integrace objektu přistávací a vzletové dráhy letiště Brno Tuřany, a následně byla ověřena schopnost využití těchto systémů pro pilotáž za snížené viditelnosti v prostředí simulátoru SimStar.

V další fázi je naplánována integrace systémů ještě více zvyšující bezpečnost létání, jako např. přistávacího systému, systému rozšířené vizualizace terénu nebo integrace vzdušného prostoru ČR, včetně možnosti operativně měnit nastavení jednotlivých zařízení v závislosti na aktuální poloze, případně stavu letu.

Dalším postupem práce bude také zprovoznění systému PFD na testovacím zařízení, jehož součástí bude také přepracování komunikačního rozhraní, které umožní využití zařízení GPS pro první pozemní zkoušky.

Cílem práce je potom vytvoření systému, který bude umožňovat vizualizaci objektů ve vzdušném prostoru a ověření správnosti řešení v reálných podmínkách na letounu Robostar.

7 Literatura a zdroje

- [1]. **Jukes, Malcolm.** *Aircraft display systems - Progress in Astronautics and Aeronautics*. Reston : American Institute of Aeronautics and Astronautics, 2004. 1-56347-657-6.
- [2]. **Frugalsworld.com.** Combat Sim Check-Lists - F4 section. *Combat Sim Check-Lists*. [Online] 3. Leden 2008. [Citace: 12. Leden 2011.] <http://users.skynet.be/F4Checklists/F4tacan.htm>.
- [3]. **Whitelaw, Julien.** *PFD Boeing 747-400*. místo neznámé : Airlines.net.
- [4]. **Kijor, Katarzyna.** *WSPOMAGAJĄCE SYSTEMY WIZYJNE I ICH ZASTOSOWANIE W LOTNICTWIE CYWILNYM*. Rzeszów : Politechnika Rzeszowska, 2010.
- [5]. **Bílek, Jan.** *AEROSPACE - Futuristický kokpit moderního letounu*. místo neznámé : VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ, 2010.
- [6]. **Olson, Curtis L.** FlightGear Flight Simulator. *FlightGear Flight Simulator*. [Online] [Citace: 10. Leden 2011.] <http://www.flightgear.org/>.
- [7]. **Outerra.** Outerra. *Outerra*. [Online] Outerra. [Citace: 10. 1 2011.] <http://www.outerra.com/>.
- [8]. **Evektor, spol. s r.o.** Evektor - Airplanes for everyone. *Evektor - Airplanes for everyone*. [Online] Evektor, spol. s r.o., 2009. [Citace: 8. Leden 2011.] <http://www.evektor.cz/sportstar/specification.asp>.
- [9]. **Ohlsson, Leif.** (07) Modern photo, Spirit interior - Paper Modelers Gallery. *PaperModelers.com*. [Online] 2003(2008). [Citace: 9. Leden 2011.] <http://www.papermodelers.com/gallery/showphoto.php?photo=1124>.
- [10]. **GARMIN.** In the Air. *GARMIN*. [Online] GARMIN, 2011. [Citace: 10. Leden 2011.] <http://www.garmin.com/garmin/cms/site/us/intheair/>.
- [11]. **SANDEL.** SN4500 4x4 Primary Navigation Display from Sandel Avionics. *SANDEL*. [Online] Sandel Avionics, Inc., 2008. [Citace: 11. Leden 2011.] http://www.sandel.com/SN4500_EHSI.php.