

MASARYKOVA UNIVERZITA
FAKULTA INFORMATIKY

DIPLOMOVÁ PRÁCE

VIZUALIZACE VZDUŠNÉHO PROSTORU VE 3D

AUTOR PRÁCE

Bc. Karol Rydlo

BRNO 2012

MASARYKOVA UNIVERZITA
FAKULTA INFORMATIKY

DIPLOMOVÁ PRÁCE

VIZUALIZACE VZDUŠNÉHO PROSTORU VE 3D

AUTOR PRÁCE

Bc. Karol Rydlo

VEDOUCÍ PRÁCE

doc. Ing. Jiří Sochor, CSc.

KONZULTANT

Ing. Peter Chudý Ph.D. MBA

BRNO 2012

Vizualizace vzdušného prostoru ve 3D

Prohlášení

Prohlašuji, že tato práce je mým původním autorským dílem, které jsem vypracoval samostatně. Všechny zdroje, prameny a literaturu, které jsem při vypracování používal nebo z nich čerpal, v práci řádně cituji s uvedením úplného odkazu na příslušný zdroj.

.....
Karol Rydlo
9.1.2012

Poděkování

Rád bych poděkoval všem, kteří mně pomohli při vytváření mé diplomové práce. Především Ing. Peteru Chudému, Ph.D. MBA, za odbornou pomoc a rady kam směřovat moji práci, také panu doc. Ing. Jiřímu Sochorovi, CSc., za ochotu a pomoc při zaštitění mojí práce na MUNI-FI. Také všem, jenž se mnou spolupracují v týmu AeroWorks (VUT-FIT) a laboratoři SimStar a poskytovali mi podporu a dobré rady a také kolegům z laboratoře HCI (MUNI-FI). Projekt byl dále také podpořen technologickou agenturou v rámci projektu TACR TA 01010678 "chytrý autopilot".

© Karol Rydlo, 2012

Tato práce vznikla jako školní dílo na Masarykově Univerzitě, Fakultě informatiky. Práce je chráněna autorským zákonem a její užití bez udělení oprávnění autorem je nezákonné, s výjimkou zákonem definovaných případů.

© Karol Rydlo, 2011

Část této 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.

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.

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.

Klíčová slova

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

Keywords

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

Citace

Rydlo Karol: Vizualizace vzdušného prostoru ve 3D, Diplomová práce, Brno, MUNI-FI v Brně, 2012

Obsah

1	Úvod.....	3
2	Seznam použitých zkratk.....	4
3	Avionické systémy	5
3.1	Historie.....	5
3.1.1	Mechanické systémy.....	5
3.1.2	Elektro-mechanické systémy	6
3.1.3	Elektro-optické systémy	10
3.2	Současné trendy a technologie v avionice	13
3.2.1	SVS.....	13
3.2.2	Integrace dalších systémů se SVS	14
3.2.3	Ukázky komerčních systémů.....	15
4	Vzdušný prostor ČR.....	16
4.1	Vzdušné prostory	16
4.1.1	Klasifikace	16
4.1.2	Vertikální členění vzdušného prostoru	16
4.1.3	Horizontální členění vzdušného prostoru	19
4.2	Objekty ve vzdušném prostoru	21
5	Aplikace	23
5.1	Požadavky na aplikaci.....	23
5.2	Laboratoř SimStar.....	23
5.2.1	Hardware	24
5.2.2	Software.....	24
5.3	Architektura PFD	25
5.3.1	Přehled práce aplikace	25
5.4	GUI	26
5.4.1	Návrh změny rozložení jednotlivých prvků na PFD	26
5.5	Optimalizace vzhledu a výkonu.....	30
5.5.1	Optimalizace načítání terénu	30
5.5.2	Optimalizace zobrazení terénu a objektů.....	33
5.6	Zobrazení letišť	39
5.6.1	Letiště a UL plochy	39
5.7	Objekty ve vzdušném prostoru	41
5.8	Stereoskopické zobrazení.....	46
5.9	Komunikační systém AW-COM.....	47
5.9.1	Schéma propojení	47
5.9.2	Moduly.....	47
5.9.3	Popis komunikačního protokolu – DATA.....	49
5.9.4	Popis komunikačního protokolu – GET	50
6	Praktické testy	51
6.1	Testy.....	51

6.1.1	Přehled testů	52
6.2	Letové testy – SportStar	53
6.2.1	Prostředky	53
7	Závěr.....	55
7.1	Možnosti budoucího vývoje.....	55
8	Literatura a zdroje	56
	Příloha A – Obsah CD.....	58
	Příloha B - Možnosti spuštění aplikace.....	60
	Příloha C -Popis uživatelského rozhraní	61
	Příloha D -Komunikační protokol a posílané veličiny	62

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 ve vhodný čas a to účinněji než 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 nejrůznějších 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 práce je popis a vytvoření systémů pro intuitivnější orientaci ve vzdušném prostoru, především v kritických fázích letu. Tedy vytvořit systém, který bude umožňovat bezpečný let a manévrování v konečné fázi přiblížení k letišti a přistávání. Výsledný systém umožňuje spolehlivou orientaci ve vzduchu i v případě zhoršených meteorologických podmínek za 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
ATC	(Air Traffic Control) Řízení letového provozu
ATS	(Air Traffic Service) Služba poskytuje informace o letech
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
IFR	(Instrument Flight Rules) – pravidla pro let podle přístrojů
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
ŘLP	(Řízení letového provozu) – Služba zajišťující bezpečnost letového provozu, řídí letový provoz a podává informace
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
VFR	(Visual Flight Rules) – pravidla pro let při očním kontaktu s okolím (let za vidu)
VMC	(Visual Meteorological Condition) – Visuální meteorologické podmínky, většinou požadavky na dohlednost, vzdálenost oblačnosti nebo viditelnost země
VOR	(VHF omnidirectional radio range) – radiomaják
VPD	Vzletová a přistávací dráha
WAAS	(Wide Area Augmentation System) - systém, který doplňuje a vylepšuje vlastnosti GPS v Americe

3 Avionické systémy

Avionické systémy primárně sloužily a stále slouží pro zobrazení fyzikálních veličin a důležitých parametrů letu. V této části bude prezentován postup vývoje avionických systémů od počátku letectví až po dnešní vyspělé integrované letové systémy. Současné systémy totiž neslouží jen k zobrazování fyzikálních veličin, ale umožňují integraci pokročilých navigačních a bezpečnostních systémů, prvků virtuální reality a dalších systémů usnadňující orientaci v prostoru.

3.1 Historie

Abychom lépe pochopili problematiku orientace pilota při letu, bude v této kapitole objasněn vývoj a výzkum civilních letových systémů od prvotních úspěšných pokusů bratří Wrightů, přes letouny meziválečného období až po systémy velkých dopravních proudových letounů. Z pohledu možností avionických systémů bude uvedena kategorizace podle konstrukce, tedy principu jakým jsou informace získávány, předávány a zobrazovány na palubní desce.

3.1.1 Mechanické systémy

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 historickém období velmi nespolehlivou součástí letadla.

Pravděpodobně nejdůležitějším ukazatelem byl indikátor úhlu proudění vzduchu, který určoval, zda stroj stoupá nebo klesá, případně jestli nedošlo k pádu (pozn. ang. Stall, ztráta vztaku 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, dochází pouze k elektronické signalizaci, pokud se letoun přiblíží k mezním hodnotám.[1]

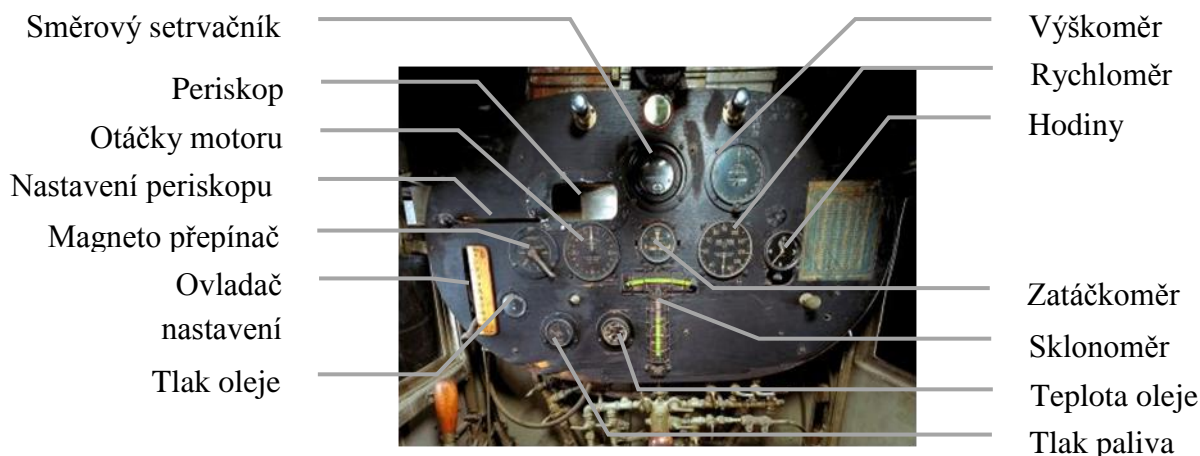
Pokud uvážíme, že s obdobnými přístroji a mapou dokázal Bleriot se strojem Bleriot XI v roce 1909 přeletět Lamanšský průliv, lze považovat tento výkon za velmi odvážný.[1]

Později však požadavky na úkoly plněné letadly narůstaly a tím se také změnily potřeby avionického vybavení pilotní kabiny. Nepopíratelný 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 přepravy 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. Lindbergh již používal většinu avionických systémů, které ač v odlišných podobách nalezneme také v kabině dnešních letounů. Avšak koncepce přístrojového vybavení Lindberghova stroje trpěla také značnými nepříjemnostmi. Z kabiny letounu Spirit of St. Louis, byl jen velmi omezený výhled vpřed, skrze velmi malé okénko. Také z tohoto důvodu byly kladeny velmi vysoké nároky na přístrojové vybavení. [1]

Následuje schéma rozložení přístrojového vybavení v letounu Spirit of St. Louis:



Obr. 1 - Přístrojový panel letounu Spirit of St. Louis [19] a popis jednotlivých přístrojů [1]

Dalším průkopníkem v této oblasti byl James Doolittle, který nebyl jen letcem, ale stál také za rozvojem avionických systémů. Společně s Paulem Kollsmanem vyvinuli citlivý výškoměr a s Elmerem Sperrym se stal průkopníkem gyroskopických systémů. Doolittlův letoun Consolidated NY-2, 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 setrvačnick,
- kompas,
- zatačkoměr,
- ukazatel rychlosti,
- speciální 0-20000 ft Kollmanův výškoměr.[1]

3.1.2 Elektro-mechanické systémy

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 tehdejším 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%. [1]

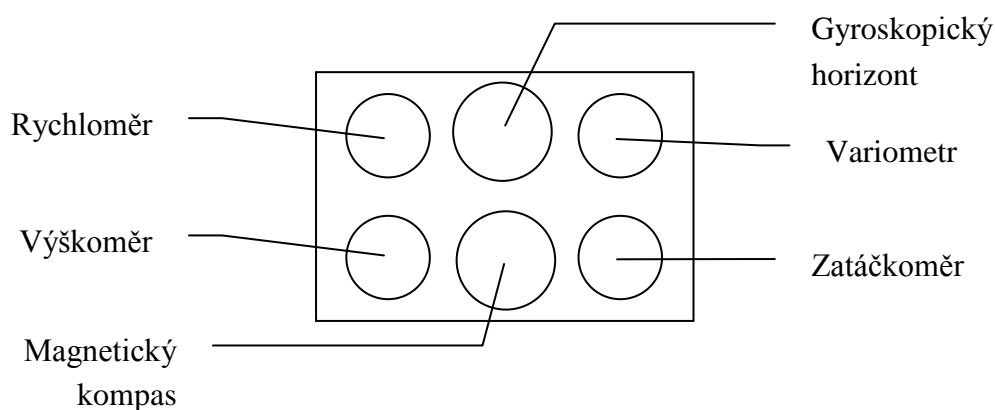
Ve stejné době, ve které vznikl Lockheed Electra, byl na podobném konceptu palubní desky postaven i kokpit známého bombardéru Boeing B-17 Super Fortress, jenž ačkoliv byl válečným letounem, obsahoval mnoho prvků použitých v civilní oblasti. [1]

Dalším velmi známým a v průběhu 2. světové války úspěšným letounem byl britský bombardér Avro Lancaster. Jeho úkoly, především dálkové bombardování, vyžadovaly velmi přesnou navigaci na cíl a zase zpět, co přineslo mnoho nových přístrojů, především radio-navigačních a naváděcích. Lancaster také přinesl standart rozmístění důležitých přístrojů v konfiguraci tzv. základní šestky. [1]

Jak již bylo zmíněno, v této době se také začaly tvořit standardy leteckých přístrojů a jejich rozmístění 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. [1]

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 Obr. 2 můžeme vidět rozložení přístrojů základní 6. [1]



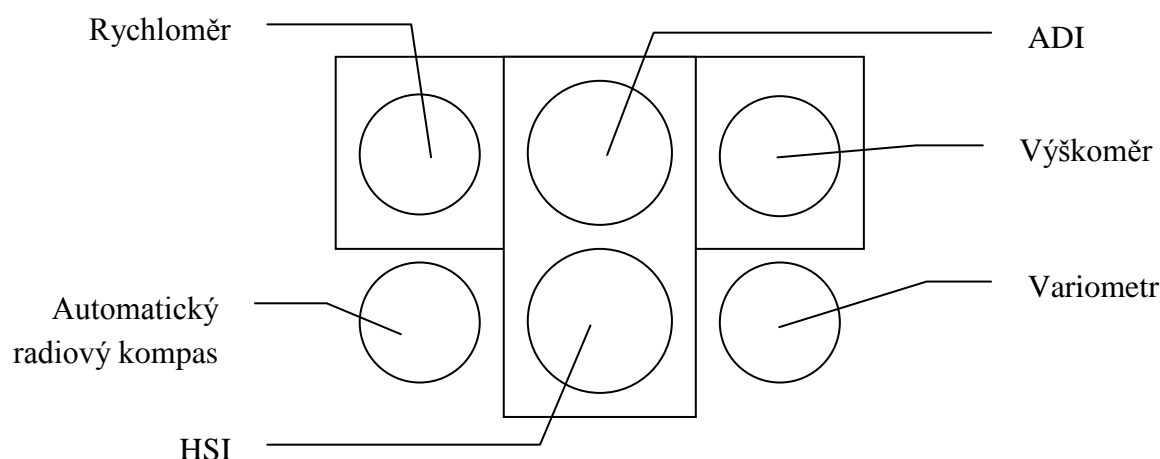
Obr. 2 - rozložení palubní desky podle modelu základních 6 [1]

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-tých let v US Air Force zformoval tým inženýrů, pilotů a odborníků na lidské činitele, s cílem vytvořit kompletní přístrojový panel. Tento koncept se jmenoval Integrated Instrument System (IIS), tedy integrovaný systém přístrojového vybavení. [1]

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.[1]

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



Obr. 3 - konfigurace přístrojové desky model základní T [1]

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 1000 stopách, a jinak počítadlo ukazovalo výšku s přesností na 100 stop.[1]

ADI

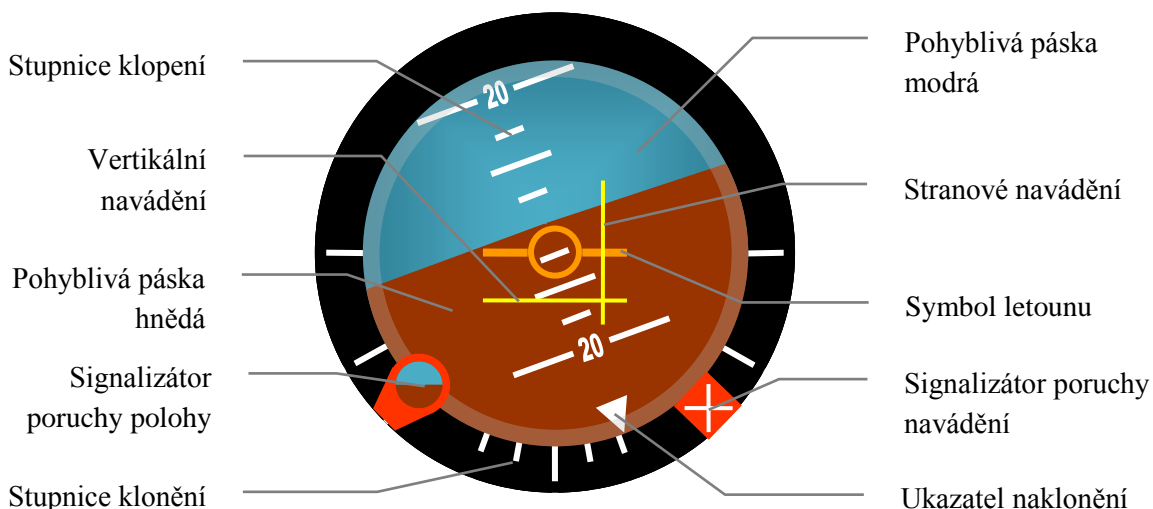
ADI kombinuje do jednoho přístroje funkcionalitu následujících tří přístrojů ze staršího modelu „základních 6“,

- gyroskopický umělý horizont,
- ILS (přístrojový přistávací systém) směrový indikátor,
- zatačkoměr s relativním příčným sklonoměrem.[1]

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

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



Obr. 4 - Umělý horizont

naváděcího systémů v závislosti na fázi letu. Spojuje například radiové navigační systémy (ADF, VOR a TACAN), letový řídicí počítač a autopilota. Ve fázi přiblížování a přistávání zároveň funguje za pomoci ILS přijímače jako ukazatel odchylky ve směru a úhlu letu. Zatačkoměr 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.[1]

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.[1]

Zařízení na Obr. 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.



Obr. 5 - Horizontal Situation Indicator (HSI) [2]

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.[1]

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.[1]

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

Odchylka v azimutu (Deviation in azimuth) od zvoleného relativního směru nebo ILS lokalizačního paprsku je určena bočním posunutím vzhledem k ukazateli odchylky kurzu. [1]

Odchylka ve vertikálním směru (Deviation in pitch) získávaná z ILS sestupové dráhy je zobrazena na svislé stupnici a ukazuje odchylku od ideální kluzné dráhy.[1]

DME počítadlo (DME counter) ukazuje vzdálenost letounu od majáku. Značka k/od indikuje relativní směr letu vzhledem danému majáku.[1]

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

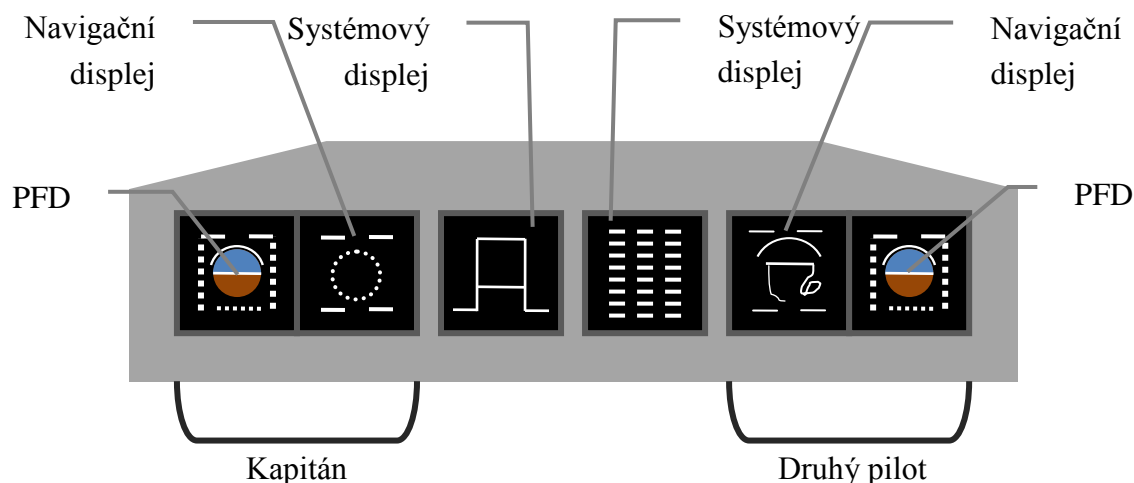
V 70. letech 20. století značně narostl letecký provoz, došlo k vylepšení rádio a setrvačnickových navigací a palubní počítače se staly mnohem sofistikovanější. Byl zde však problém, jelikož elektro-mechanické přístroje nedokázaly zobrazovat takové množství informací dostatečně přehledně a intuitivně. Proto přichází technologie CRT (Cathode Ray Tube).[1]

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. [1]

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.[1]

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.[1]



Obr. 6 - Pokročilá civilní přístrojová deska, koncept ACFD [1]

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 Obr. 6

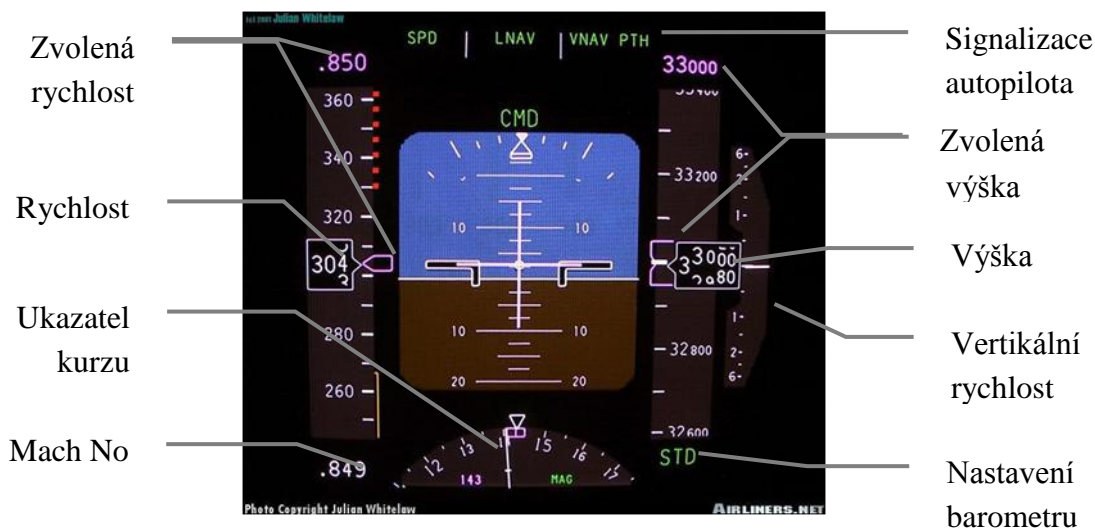
Nasazení

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 zaintegrovány 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.[1]

Hlavní letový displej (PFD)

Hlavní letový displej převzal funkci přístrojů „základního T“ a sloučil je do jednoho



Obr. 7 - Hlavní letový displej PFD, Boeing 747-400 [19]

přístroje. Popis jednotlivých přístrojů můžeme vidět na následujícím Obr. 7.

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 Obr. 8



Obr. 8 - SANDEL SN4500 EHSI - kompasový a mapový režim [21]

zdroj odkazů..[1]

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

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.[2]

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 terénem 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.[2]

Systém také může umožnit pohledy z různé perspektivy kokpitu (egocentric), venkovní pohled (exocentric) nebo mapový pohled (coplanar).[2]

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

Výzkum v oblasti SVS

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.[3]

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 (Airborne REsearch 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).[3]

Funkce SVS

Systém SVS se snaží, aby chom 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 na MFD doplnit o 3D 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 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 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

Jako ukázkou komerčních systémů jsou prezentovány výrobky firmy GARMIN a to dva následující modely G1000 a G3000. Tyto systémy v současné době integrují jak zobrazení letových veličin tak také vizualizaci syntetického terénu a mapy. Některé systémy obsahují také objekty letišť a výškových objektů. Ovládání tohoto systému je zde řešeno pomocí tlačítek umístěných pod obrazovkou.



Obr. 9- GARMIN® G1000 (nahore) a G3000 (dole) [20]

4 Vzdušný prostor ČR

Pro popis rozdělení letového prostoru se omezíme především na oblast ležící nad územím České republiky, s výjimkou přehledu jednotlivých tříd vzdušného prostoru, a která je určena převážně pro VFR (Visual Flight Rules) lety, tj. lety kdy je možno se orientovat na základě vizuálních podmětů z okolí. Obecně by se dalo říci, že jde o lety za dobrého počasí a s horním omezením do výšky 5800 m n. m., tj. FL195 (19500 ft). Avšak nad 2900m n. m., tj. FL95 (9500 ft) se nad územím ČR již nachází vzdušný prostor třídy C a sním spojená omezení.

Do této kapitoly byly rovněž zahrnuty objekty nacházející se ve vzdušném prostoru a to ať už různé překážky (komíny atd.), tak také významné body pro orientaci nebo například letiště a různé UL plochy.

4.1 Vzdušné prostory

Vzdušný prostor lze možno klasifikovat na základně několika hledisek. Obecně se dá říci, že se jedná o jistý výsek oblasti ve 3D prostoru nad jistým územím, v našem případě ČR, který definuje jistá pravidla, případně omezení, související s pohybem v tomto výseku.

4.1.1 Klasifikace

Při pohledu na vzdušný prostor nad územím České Republiky jej lze rozdělit na dva pohledy a to vertikálně a horizontálně. Oba tyto pohledy se částečně vzájemně překrývají, čímž nám však umožňují si doplnit potřebné informace o chování a potřebě vybavenosti letounu v každém z nich.

Vertikální vzdušný prostor slouží především pro obecné rozdělení podle výšky a definuje pravidla pro lety v jednotlivých letových hladinách v závislosti na terénu, počasí nebo lokalitě. Podrobněji se problematice rozdělení vertikálního vzdušného prostoru bude věnovat následující kapitola.

Horizontální vzdušný prostor se rozděluje na základě příslušnosti oblasti k jistému významnému bodu v dané oblasti, např. letišti, významnému objektu (jaderná elektrárna, chemický závod), nebo jim například prochází letová trasa vzdušných sil Armády České Republiky, případně ohraničuje jinak významnou oblast.

4.1.2 Vertikální členění vzdušného prostoru

Jak již bylo zmíněno, vertikální vzdušný prostor určuje pravidla pro lety v určité výšce za rozličných situací nebo na základě příslušnosti do určité oblasti, definované na základě horizontálního dělení. Vertikální vzdušný prostor se dělí do tříd A-G.

Tyto třídy je ještě možno rozdělit na regulované (A-E, omezené a zakázané prostory) a neregulované (různé vyhrazené vojenské prostory atd.), jež je dále možno dělit na řízené A-E, tj. podléhající řízení letového provozu, neřízené F-G, speciální a ostatní. Dále jsou pak

ovlivněny složitostí a hustotou leteckého provozu, přírodními podmínkami, bezpečnostní úrovní a národními a veřejnými zájmy.

Také platí, že třída A je více omezující nežli třída B, třída B je více omezující nežli třída C, třída C je více omezující nežli třída D, atd.

Dále také existuje několik omezujících faktorů na základě povětrnostních podmínek.

Třídy vzdušného prostoru - mezinárodně

Následující část rozepisuje jednotlivé třídy vzdušného prostoru, tak jak jsou definovány s mezinárodní platností. Jsou zde pro přehled uvedeny všechny mezinárodně platné třídy vzdušného prostoru.

Třída A

Tato třída slouží pouze pro IFR lety a je kontrolována ŘLP (Řízení letového provozu). Lety v této oblasti podléhají letovým povolením, musí komunikovat s ŘLP a je nutné letět podle letového plánu.[4][5][6]

Třída B

Zde jsou poveleny jak IFR tak také VFR lety, avšak stále je let řízen ŘLP a podléhá letovému povolení a stejně jako v případně třídy A je i zde vyžadováno spojení s ŘLP a let podle letového plánu.[4][5][6]

Třída C

V této třídě jsou povoleny lety jak IFR tak VFR, kde IFR lety jsou řízeny ŘLP, které kontroluje také rozestupy mezi IFR a VFR lety a VFR letům podává informace o ostatních VFR letech. Opět je zde vyžadováno letové povolení, spojení s ŘLP a i zde platí nutnost podat letový plán.[4][5][6]

Třída D

Mohou zde létat jak IFR tak VFR lety. IFR lety jsou zde opět řízeny ŘLP a VFR dostávají informace o ostatních letech. Opět je zde vyžadováno letové povolení, oboustranné spojení s ŘLP a je vyžadován letový plán.[4][5][6]

Třída E

Určen jak pro IFR tak VFR lety. IFR lety jsou řízeny ŘLP a také je od nich vyžadováno letové, spojení s ŘLP a letový plán. Pro VFR lety není nutné letové povolení a také zde neplatí omezení pro oboustrannou komunikaci s ATS. Všem letům jsou předávány informace o VFR provozu.[4][5][6]

Třída F

Umožňuje jak IFR tak VFR lety bez letového povolení. Jedná se již o neřízenou oblast, což znamená, že není vyžadováno obousměrné spojení s ATS. Na základě situace a možností jsou IFR letům podávány informace o ostatním provozu. [4][5][6]

Třída G

Také třída G patří do skupiny neřízených oblastí, což znamená, že pro lety IFR ani VFR není vyžadováno letové povolení a také není nutná komunikace mezi letouny a ATS. Opět na základě možností jsou letounům poskytovány informace o ostatním provozu. [4][5][6]

Situace v ČR

Nad územím ČR se však nacházejí pouze třídy C, D, E, G třídy, které si blíže rozepíšeme v následující části.

Třída C

Tato třída na území ČR sahá od FL95 (Flight Level – letová hladina 9500 ft = 2900m) do FL660 (~20000m), což je horní limit pro FIR Praha. Do této třídy patří také TMA Praha, avšak jen v místech kde do něj nezasahují TMA jiných letišť. Letové požadavky na vizuální meteorologické podmínky (VMC) jsou shodné s tím co je potřeba pro třídu E, pouze od FL100 je požadovaná dohlednost 8km.

Nutností je zde také podání letového plánu, nutnost mít letové povolení, je vyžadováno stále obousměrné radiové spojení a také je vyžadován SSR odpovídač (v TMA Praha je nutno mít SSR odpovídač v režimu Smode). Mimo TMA je do FL100 nutný jen SSR odpovídač. [4][5]

Třída D

Do této třídy patří všechny CTR a TMA všech řízených letišť vyjma TMA Praha. VMC jsou opět shodné s tím co platí pro třídu E a opět platí, že nad FL100 jsou požadavky na dohlednost 8km.

Také zde platí v oblastech TMA a CTR nutnost podání letového plánu, nutnost mít letové povolení, je vyžadováno stále obousměrné radiové spojení a také je vyžadován SSR odpovídač. V TMA Praha je opět nutno mít odpovídač v režimu Smode.

V případě zvláštních podmínek pro lety podle VFR podmínky VMC jako ve třídě G. [4][5]

Třída E

Jedná se o třídu zabírající oblast od 300m nad terénem do výšky FL95 (2900m) a to v oblastech mimo CTR a TMA řízených letišť. VMC je zde alespoň 5km dohlednost a být minimálně 300m vertikálně a 1,5 km horizontálně od oblačnosti.

Nad FL60 (1850m) je nutný SSR odpovídač. [4][5]

Třída G

Prostor třídy G zasahuje v oblastech mimo CTR od minimální letové výšky 150m nad terénem (AGL), v případě měst s průměrem větším než 1200m od výšky 300m nad nejvyšším bodem ve městě, až do výšky 300m nad terénem (AGL) a VMC jsou minimální dohlednost 5km, případně 1,5 km (800m pro vrtulníky) při rychlostech, které umožní včas

spatřit jiný provoz za dodržení poměru rychlosti ku dohlednosti 100(km/h):1(km), případně pro let mimo oblačnosti za dohlednosti země.[4][5]

4.1.3 Horizontální členění vzdušného prostoru

Horizontální vzdušný prostor definuje podmínky provozu nad určitým územím. Společně s vertikálním rozdělením, přesně definuje jednotlivé vzdušné prostory.

ATZ – Zóna okolí letiště

Jedná se o zónu, která horizontálně tvoří kružnici o poloměru 5,5 km od středu neřízeného letiště a sahá až do výšky 4000ft (1200m). Tato zóna zajišťuje ochranu letového provozu v okolí neřízených letišť.

Jak již bylo řečeno provoz v ATZ není řízen, poskytována je pouze služba AFIS, která poskytuje užitečné informace meteorologického a provozního charakteru. V případě vstupu do zóny ATZ by měl pilot navázat komunikaci se stanovištěm služby AFIS.[4][5]

CTA - Řízená oblast

Pro lety v řízené oblasti platí pravidla pro třídu, do které daná řízená oblast spadá. Pro danou oblast je definován ATC(ŘLP) a příslušná komunikační frekvence.[4][5]

CTR – Řízený okresek letiště

CTR je oblast v blízkosti řízeného letiště. Podobně jako ATZ slouží především jako ochrana letadel v okolí letiště. Ve vertikálním směru se jedná o oblast od země do výšky 5000ft (1520m), s výjimkou CTR LKPR, LKKB a LKVO¹. V horizontálním směru velikost této oblasti závisí na směru vzletové a přistávací dráhy, tedy přibližně 9-20km(ve směru dráhy).

Jelikož se jedná o řízenou oblast zasahující na území ČR do třídy D, je potřeba letové povolení a také je nutné udržovat radiový kontakt z ŘLP.

Na oblast CTR ve většině případů navazuje koncová řízená oblast TMA.[4][5]

TMA – Koncová řízená oblast

Pokud CTR sloužilo jako ochrana letadel v těsném okolí letiště, TMA slouží pro jejich ochranu při příletech a odletech. Dolní vertikální hranici poté tvoří výška 300m, tedy hranice prostoru třídy G. Horní vertikální hranici poté většinou ohraničuje letová hladina FL125 (3800m), opět s výjimkou letiště TMA Praha, kde se nachází horní hranice většinou ve výšce FL165). Co se týká horizontálního rozsahu, jedná se o poměrně velkou oblast zasahující až do vzdálenosti 50km od letiště.

TMA náleží do třídy D, kromě TMA Praha, která náleží do třídy C. Z toho také vyplývá, že je nutno mít letové povolení a udržovat spojení s ŘLP.

¹ LKPR – letiště Praha Ruzyně, LKKB – letiště Kbely, LKVO – letiště Vodochody

Koncové řízené oblasti se většinou skládají s většího množství menších pod-prostorů, tak, aby co nejlépe pokryly všechny příletové a odletové trasy, aby zabíraly co nejméně ze vzdušného prostoru.

Provoz v TMA je řízen přibližovací službou APP, která se stará o správné rozestupy mezi letouny a zabraňuje kolizím.[4][5]

LKP – Zakázaný prostor

Průlet nad touto oblastí je zakázán. Většinou se jedná o prostor v okolí významných pozemních objektů, které je nutno chránit před případným dopadem letadla. Jedná se o oblasti např. nad jadernými elektrárnami, strategickými objekty nebo oblasti nad významnými památkami.

Tyto oblasti sahají od země do konkrétní výšky pro danou oblast. Jelikož se jedná o velmi důležitý prostor je vhodné, aby byl přímo zobrazen v syntetickém terénu.[4][5]

LKD – Nebezpečný prostor

Jedná se oblast, kde hrozí nebezpečí při letu nad touto oblastí. Jde například o oblasti, ve kterých dochází k vypouštění plynu do ovzduší, což by mohlo způsobit výbuch atd. Spodní vertikální hranici tvoří země a horní je pak definovaná pro jednotlivé prostory.[4][5]

LKR – Omezený prostor

V omezeném prostoru jsou lety povoleny jen v případě, že není daný prostor aktivován. Pokud dojde k aktivaci tohoto vzdušného prostoru je pro jeho přelet nutno získat povolení od příslušného ŘLP. Doba aktivace je buďto dopředu známa nebo vyhlášována.[4][5]

TRA – dočasně rezervovaný prostor

Obdobně jako v omezeném prostoru jsou lety povoleny mimo dobu aktivace a v případě aktivování je nutno pro let v této oblasti získat povolení příslušného ŘLP. Doby aktivace tohoto vzdušného prostoru jsou většinou dopředu známy.[4][5]

TSA – Dočasně vyhrazený prostor

I v této oblasti je let možný za předpokladu, kdy tento prostor není aktivován. V době aktivace je však přísný zákaz letů v této oblasti. Většinou je tento prostor vyhrazen vertikálně od výšky 300 stop nad zemí do výšky 1000 stop. Tyto prostory jsou především vyhrazeny pro průlety vojenské letecké techniky.

Skutečnou dobu aktivace těchto prostorů vyhláší příslušné stanoviště ŘLP a dostatečně dopředu min. 15 min. a to tak, aby byli všichni schopni zavčas opustit daný prostor.[4][5]

4.2 Objekty ve vzdušném prostoru

Kromě rozličných vzdušných prostorů, jsou součástí vzdušného prostoru i rozličné objekty, ať již například výškové objekty (komíny, vysoké budovy, větrné elektrárny), nebo objekty důležité pro orientaci, vstupní body letiště atd.

UL – Letiště

Na území ČR se nachází poměrně velké množství letišť pro UL letadla. Většinou jde o malá letiště s travnatou plochou, provozovaná místními aerokluby. Tyto objekty jsou důležité jak pro orientaci, tak také můžou v případě nouze posloužit také jako vhodná plocha pro přistání, a to z několika důvodů. Obsahují udržovanou přistávací plochu a také se nacházejí v blízkosti civilizace nebo je tato alespoň rozumně dostupná. Navíc buď přímo obsahují alespoň základní záchranné prostředky, nebo alespoň záchranné složky mají snazší přístup do takových míst.

Vzhledem k významnosti těchto objektů jsou UL – letiště v rámci PFD systému, buď přímo zobrazena v terénu, nebo alespoň zobrazena na podpůrné mapě.

Letiště

Tyto objekty zobrazují větší letiště, s jednou či více přistávacími plochami, většinou zpevněného charakteru. Tyto letiště mají informační službu, která poskytuje meteorologické a provozní služby, vydává letová povolení a provádí řízení provozu.

Tyto plochy jsou z našeho pohledu velmi důležité a proto jsou jejich přistávací a vzletové dráhy vyznačeny přímo v terénu. Podrobněji si systém načítání a zobrazování letišť objasníme v části zabývající se zobrazením objektů ve vzdušném prostoru.

Výškové objekty

Výškové objekty představují při snížené viditelnosti velké riziko srážky. Měli by být proto za špatných podmínek nebo v noci viditelně osvětleny a také se obvykle nacházejí v leteckých mapách. Samozřejmě jsou většinou tyto objekty také významnými orientačními body v terénu, což opět dokazuje jejich důležitost. Z tohoto důvodu jsou tyto objekty přímo zobrazovány v syntetickém terénu.

Vstupní body

Vstupní body jsou významné pro komunikaci s ŘLP a slouží tak jako významný orientační bod. Většina vstupních bodů určuje přibližný směr příletu letounu do CTR, daného letiště nebo může vyznačovat body vyčkávacích okruhů.

Hlásné, význačné body

Vstupní body do FIR Praha označují body pro vstup do vzdušného prostoru České Republiky resp. vzdušného prostoru FIR Praha. Podle nich je poté snazší identifikovat polohu letounu.

Hlásné a významné body slouží pro nahlášení aktuální polohy, slouží především k vojenským účelům.

Radiové stanice VOR/DME

Radiové stanice mají přesně určenou geografickou polohu a definovanou radiovou frekvenci. Tyto stanice slouží pro navigaci pomocí radiomajáků. Funkce navigace pomocí radiomajáků není v současné verzi displejů implementována, avšak tyto body jsou vizualizovány v mapě.

5 Aplikace

Aplikační základ primárních leteckých displejů (PFD) využívá poznatků z práce uvedené v [7], poznatků o současných aplikacích v PFD a přizpůsobuje je pro potřeby vizualizace letových veličin a vzdušných prostorů v prostředí laboratoře SimStar. Pro vizualizaci vzdušného prostoru bylo nutné vytvořit podobu rozložení aplikačního rozhraní, tak aby respektovala také všechny potřeby pro přehledné zobrazení nových objektů v terénu a zároveň nedošlo ke ztrátě přehlednosti zobrazovaných letových veličin.

Pro přehlednost je zpočátku v této části zařazení aplikace primárních letových displejů do prostředí laboratoře SimStar, na což poté navazuje část zabývající se jednotlivými částmi aplikace a rozhraním pro komunikaci mezi jednotlivými systémy v laboratoři SimStar.

5.1 Požadavky na aplikaci

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

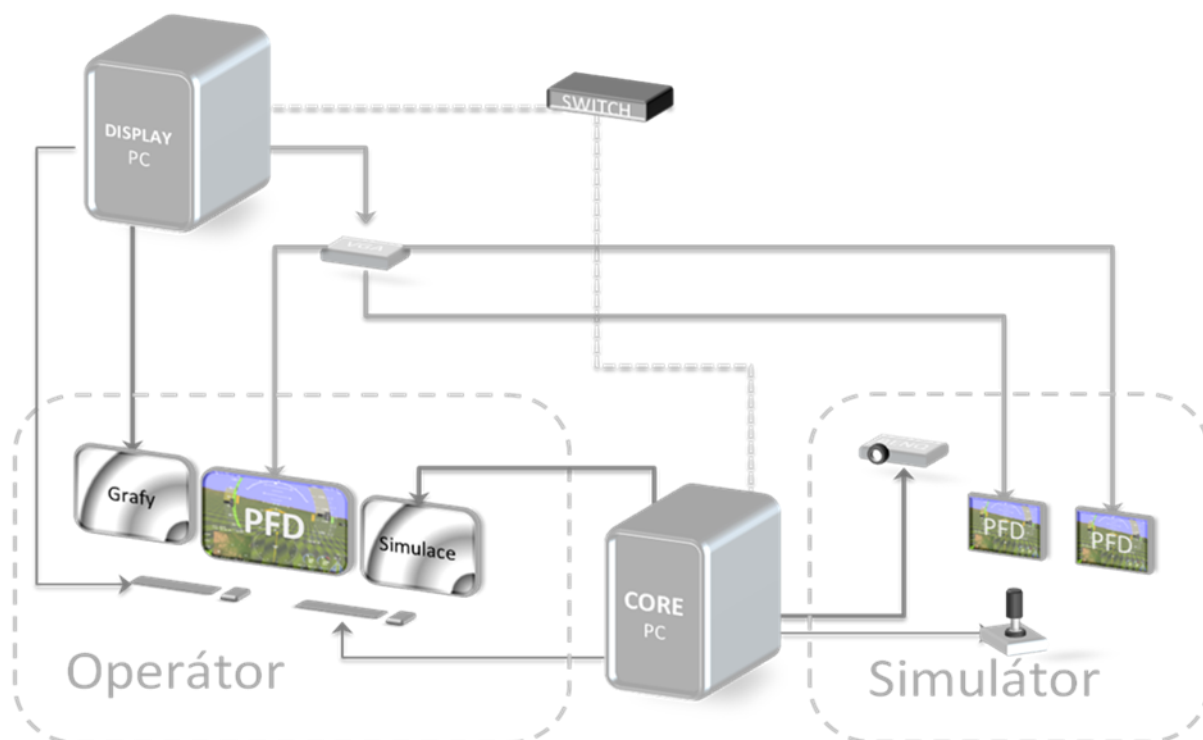
Zároveň systém musí být schopen komunikovat v rámci ostatních aplikací nasazených v laboratoři SimStar.

5.2 Laboratoř SimStar

Jak již bylo zmíněno aplikace je součástí systémů v laboratoři SimStar, která slouží jako výzkumná laboratoř na vytváření a testování avionických systémů. Je vybavena trupem letounu Sportstar s nově nainstalovanými multifunkčními dotykovými obrazovkami.

Laboratoř je rozdělena na dvě části, kde první obsahuje kabinovou část letounu a tvoří simulační místnost a ve druhé je obsaženo výpočetní vybavení a stanoviště operátora. Aplikace PFD běží na stanici DISPLAY-PC a je zobrazována na 3 monitory. Dva se nacházejí uvnitř kabiny letounu a jeden na stanovišti operátora. Simulační jádro, z kterého jsou získávána data pro zobrazení, se poté nachází na stanici CORE-PC, na které je zároveň spuštěna serverová část komunikačního rozhraní a jednotlivé pluginy v simulačních jádrech, popis systému komunikace mezi simulačním jádrem a displeji je popsán v další části.

Přehledové schéma laboratoře a jejího zapojení se nachází na Obr. 10.



Obr. 10 - Schéma laboratoře SimStar

5.2.1 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, jež se starají o vizualizaci nasimulovaných dat.

Stanice DISPLAY-PC zajišťuje obraz programu pro 12“ dotykové PFD uvnitř letounu, s rozlišením 1024x768, což je dnes běžně používané rozlišení i v komerčních systémech, 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 řídicí páka (knipl), pedály a několik ovládacích prvků na palubní desce, tak aby co nejvěrněji simulovaly skutečnou situaci.

5.2.2 Software

Vzhledem k použité klasické PC architektuře na obou stanicích je nám umožněn výběr široké škály operačních systémů. Jelikož však byl jako jeden ze simulačních nástrojů použit MS Flight Simulator, běží obě stanice na OS Windows od Microsoftu.

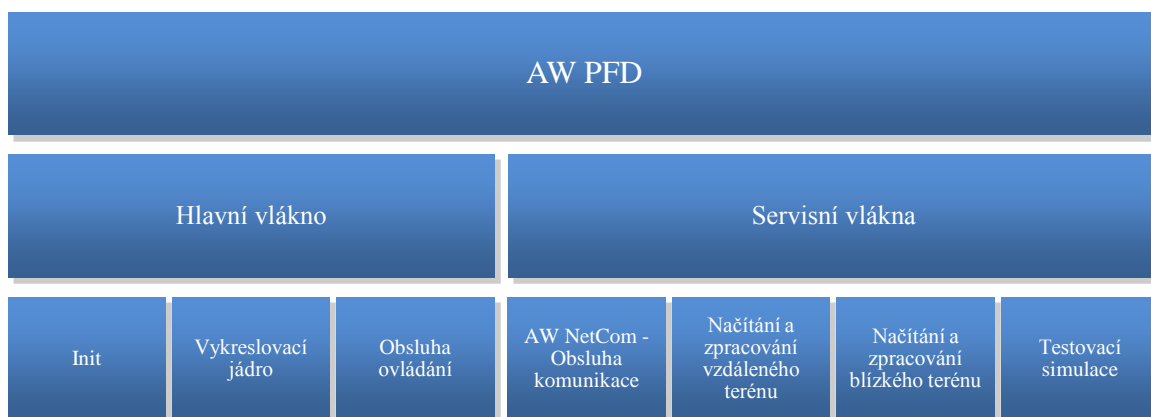
Vyjma leteckého simulátoru od Microsoftu byl pro testovací účely dostupný také certifikovaný letecký simulátor X-Plane, který vyniká především lepším fyzikálním modelem, a také možnostmi rozšiřování a integrace vlastních produktů. Dále byly experimentálně použity také jiné simulátory, postavené na open-source simulačním jádře JSBsim a to Fligh Gear[8] a Outerra[9]. Simulační jádro JSBsim je velmi vhodné na testování simulačních modelů, které jsou také součástí testovacích procedur běžících v laboratoři.

5.3 Architektura PFD

Aplikace primárních letových displejů PFD, dále AW-PFD, je napsána v C++ a pro zobrazování využívá OpenGL a nadstavbou WINAPI. Aplikace využívá paralelní zpracování dat pro optimální výkonnost a vhodné využití dostupných zdrojů. Jako zdroj dat pro objekty a vzdušné prostory jsou použity soubory typu GPX, používané i v mnoha GPS navigacích.

5.3.1 Přehled práce aplikace

Aplikace spouští několik vláken, které vykonávají jednotlivé operace. Vnitřní rozdělení práce se nachází na Obr. 11.



Obr. 11 - Přehled interního uspořádání aplikace.

Hlavní vlákno obstarává počáteční inicializaci vykreslování, inicializaci komunikace, načtení objektů a vzdušných prostorů a přípravné operace pro ostatní vlákna. Po počáteční inicializační fázi postupně spouští jednotlivá servisní vlákna a dále se již jen stará o vykreslování a obsluhu ovládání.

Servisní vlákna poté zapouzdřují jednotlivé IO operace s diskovým sub-systémem, síťovou komunikaci a modul pro vestavěnou testovací simulaci.

Síťovou komunikaci obstarává modul AW NetCom, jež bude popsán dále.

Pro načítání a zpracování terénu je využito dvojice vláken (Blízký terén, Vzdálený terén), které se starají o asynchronní načítání a zpracování dat pro zobrazení 3D terénu a mapy. Zároveň se také starají o načítání a zpracování objektů.

Posledním vláknem je to pro spouštění interní simulace. Ta slouží pro testování a předvádění AW PFD i bez připojení k serveru nebo dalším zdrojům dat.

5.4 GUI

Tato část se zabývá návrhem a popisem jednotlivých prvků zobrazovaných v aplikaci AW PFD. Jelikož se v laboratoři SimStar nacházel již předchozí funkční systém PFD, inspirovaný komerčními systémy, např. Garmin G1000, byl postupně vytvořen návrh nového rozložení, zachovávající funkcionalitu, avšak optimalizovaný pro zobrazení nových objektů ve vzdušném prostoru.

První fáze, která je nutná pro integraci vzdušného prostoru a ovládání nových prvků, náleží v optimalizaci rozložení jednotlivých prvků na PFD a vytvoření programového kódu umožňujícího plynulé zvládání požadovaných operací. Optimalizace zároveň přináší větší komfort ovládání a také umožňuje snížit nároky na výpočetní výkon.

5.4.1 Návrh změny rozložení jednotlivých prvků na PFD

Oproti konceptu původní aplikace nacházející se v prostředí simulátoru bylo nutné více rozšířit středovou část s ukazateli polohy letu, aby bylo možno zaintegrovat nové navigační a orientační prvky a také abychom získali lepší přehled o situaci vzdušného prostoru ve směru letu.

Jak již bylo psáno v části o laboratoři SimStar, výstup aplikace je směřován na displeje s rozlišením 1024x768 a velikostí 12“, čímž je omezen jak prostor pro zobrazení letových veličin tak je také omezena velikost jednotlivých ovládacích prvků.

Původní verze ukazatelů

Původní verze vycházela ze známého tradičního rozložení přístrojů běžných výrobců primárních letových displejů. Na Obr. 12 můžeme vidět běžné rozložení ukazatelů, z původní verze, 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).



Obr. 12 - Původní rozložení prvků aplikace, přistávání na LKTB

Nový koncept přepracovaného rozhraní

V této verzi bylo značně přepracováno grafické uživatelské rozhraní, jak můžeme vidět na Obr. 13 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). Také došlo k přepracování zobrazení mapy a také k úpravě zobrazení mapy. Z tohoto konceptu byla později na základě dalších připomínek, po prezentaci v [10], vytvořena výsledná varianta.



Obr. 13 - Nová optimalizovaná verze rozhraní, přistávání na LKTB

Závěrečná verze rozhraní

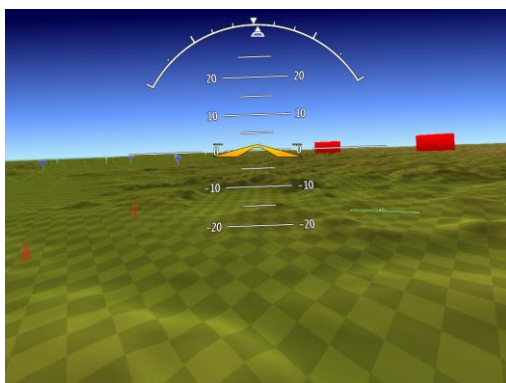
Finální implementace rozhraní vychází z konceptu navrhnutého v minulé části, byla na základě několika připomínek a doporučení přepracována. Především byl značně zvýšen kontrast rozhraní pro lepší čitelnost hodnot a došlo k optimalizaci rozložení jednotlivých



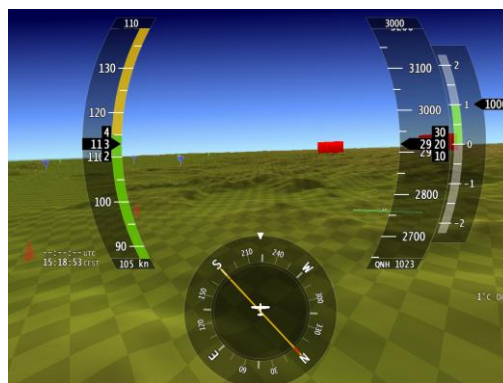
Obr. 14 - Finální rozhraní

prvků a redukci nedůležitých položek. Nově je také rozhraní plně konfigurovatelné pomocí souboru ve formátu XML, což přináší flexibilnější úpravy, podle aktuálních potřeb.

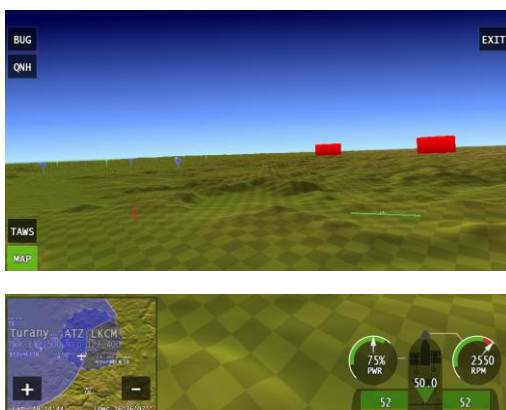
Základem rozhraní je integrace několika různých systémů v jeden, viz Obr. 15. Prvním systémem je umělý horizont, který pomocí syntetického terénu a ukazatelů úhlů klonění a klopení umožňuje rychlou informaci o poloze letounu. Druhým systémem jsou ukazatele rychlosti, výšky, vertikální rychlosti a směru letu.



umělý horizont



rychloměr, výškoměr a
gyrokompas



Ovládací prvky, mini-mapa a
motorové veličiny

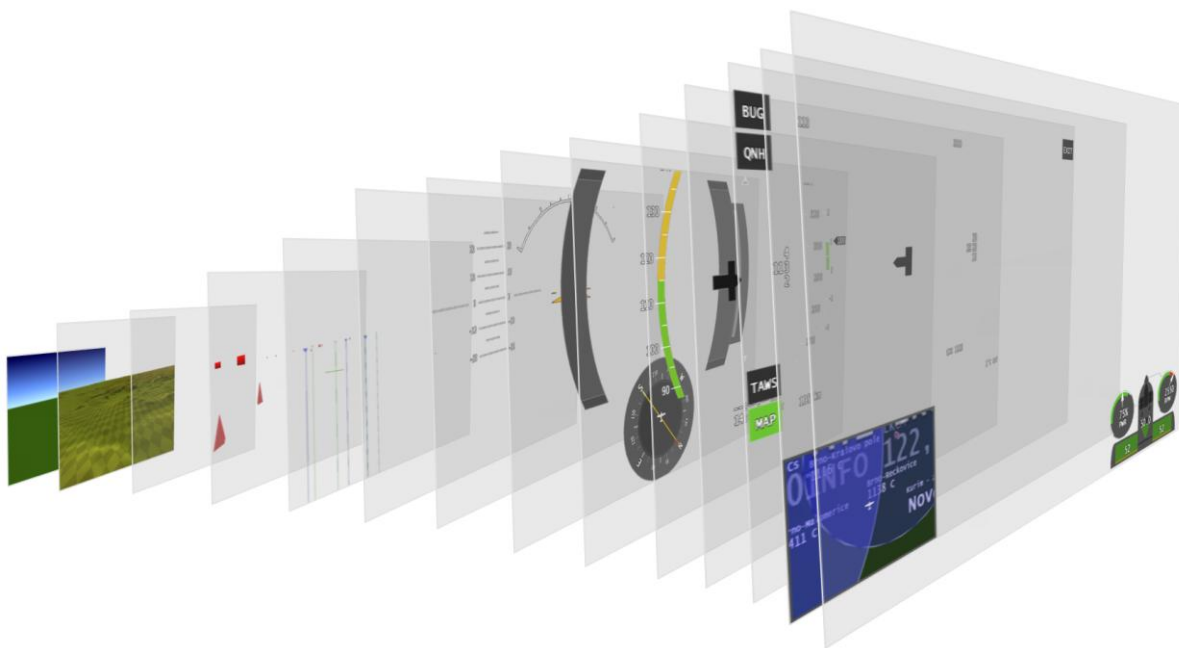


kompletní PFD

Obr. 15 - Přehled jednotlivých prvků rozhraní.

Třetím systémem jsou tlačítka a jiné ovládací prvky pro nastavení QNH, zobrazení mini-mapy, zobrazení ukazatelů nastavené cílové výšky, rychlosti a kurzu. Dále pak mapa integrující reliéf terénu, vzdušné prostory a jiné objekty. Mapa obsahuje také informaci o souřadnicích aktuální polohy a možnost nastavení přiblížení a oddálení. Posledním systémem je panel zobrazující motorové veličiny. Tento panel obsahuje dva kruhové indikátory, jeden s procentuálním výkonem motoru a druhý s otáčkami motoru. Navíc jsou zde zobrazeny informace o aktuálním stavu paliva v jednotlivých palivových nádržích a jeho aktuální spotřeba.

Celý systém rozhraní se skládá s několika vrstev, viz Obr. 16. Tyto vrstvy je nutno zobrazovat v přesně definovaném pořadí, tak aby se jednotlivé části nepřekrývaly.



Obr. 16 - Přehled jednotlivých vrstev terénu a GUI.

Nejvzdálenější vrstvou je vrstva pozadí s horizontem. Ten je rozdělen tak, aby co nejlépe odpovídal přirozenému horizontu. Mezi zemí a oblohou se nachází úzké přechodové pásmo, na které poté navazuje světlá část oblohy, jakoby ovlivněna hustými vrstvami atmosféry blíže k zemskému povrchu. Na tuto část poté navazuje přechod až do temně modré oblohy, navazující pocit vyjasněné oblohy, podobně jako je tomu při pohybu ve vyšších nadmořských výškách.

Další vrstvou je vrstva s 3D terénem, jejíž podrobnější popis se nachází dále. Do této vrstvy jsou poté postupně vkládány jednotlivé objekty a vzdušné prostory, kterým se také věnuje následující část.

Poté jsou vykresleny ukazatele úhlů klonění a klopení. Následuje vrstva s pozadím jednotlivých indikátorů a kompas, poté jsou vykreslovány pásy s hodnotami výšky a rychlosti, pozadí pro aktuální hodnotu výšky a rychlosti a hodnota aktuální výšky a rychlosti.

V další fázi jsou vykreslovány ovládací prvky, mini-mapa a ukazatele stavu motorových veličin.

Součástí úprav rozhraní byla také změna zobrazení 3D terénu, které se však budeme více věnovat především v následujících kapitolách. Z pohledu uživatelského rozhraní, bylo nutné zajistit dostatečnou sladěnost těchto dvou částí a optimalizaci kontrastu mezi 3D scénou a GUI.

5.5 Optimalizace vzhledu a výkonu

Jelikož prvotní verze aplikace nebyla příliš optimalizována, byly její nároky na hardware vzhledem k novým potřebám vysoké. Využívala zpracování pouze v jediném hlavním vlákně, což znamenalo dočasné snížení výkonu v případě načítání nových částí terénu. Vzhledem k potřebě provozovat systém na výkonem nepříliš oplývajících, ale úsporných platformách, například na testovacím Dell-u XT2 (grafická karta Intel HD4500), bylo nutno přistoupit k výkonnostním optimalizacím. Optimalizaci bylo nutné provést jak po stránce zatížení procesoru tak také především po stránce grafické. Vzhledem k tomu, že oba druhy optimalizací spolu úzce souvisí, budou v dalších částech popisovány optimalizace systému po jednotlivých prvcích.

5.5.1 Optimalizace načítání terénu

Vzhledem k tomu, že načítání a zobrazení terénu spotřebuje nejvíce zdrojů během spuštění aplikace, byla věnována zvláštní pozornost věnována úpravě algoritmů pro načítání, zpracování a zobrazení terénu.

Reprezentace terénu

Pro lepší pochopení problematiky úprav algoritmů pro práci s terénem, popíšeme zpočátku, jeho reprezentaci.

Terén je rozdělen na dlaždice pevně dané prostorové velikosti. Data pro zobrazení terénu pocházejí z volně dostupné databáze SRTM, která vznikla během mise raketoplánu Endeavour, který v roce 2000 pomocí dvou radarů pořídil výškovou mapu Země, konkrétně oblasti mezi 60° severní a 56° jižní zeměpisné šířky. Rozlišení jednotlivých bodů odpovídá přesnosti 1 uhlové vteřiny na jeden bod, což odpovídá vzdálenosti asi 30m. Tato data jsou dostupná pouze pro území USA. Pro zbytek světa existují data dostupná v rozlišení 3 uhlových vteřin, což odpovídá přibližně vzdálenosti 90m.[11][12]

Abychom zoptimalizovali načítání a zobrazování terénu byl implementován algoritmus pro změnu rozlišení dlaždic v závislosti na vzdálenosti od pozorovatele, použito je zde metody Geo Mip-Mapping, při níž máme dopředu vygenerovány dlaždice s různými úrovněmi detailů. Celkový počet úrovní detailů je 7. [7][13]

Pro každou dlaždici se načítají ze souboru výšková data dané úrovně detailů. Základní dlaždice úrovně 0 má rozlišení 100x100 bodů. Body jsou poté od sebe 295,276 stop (90 m). což dokáže obsáhnout oblast o rozměrech přibližně 29527,6 stop.

Vnitřně v rámci aplikace tyto dlaždice obsahují informace o výšce jednotlivých bodů terénu v rámci dlaždice, orientaci normál těchto bodů, informaci na jakých souřadnicích se daná dlaždice nachází, jaké je její rozlišení, tj. jakou úroveň detailů má nastavenou, dále obsahuje několik informací o zpracování, dále pak objekty, které se nacházejí v oblasti dané dlaždice, tj. objekty v terénu, vzdušné prostory a letiště.

Načítání dlaždic

Výšková data jsou asynchronně načítána ze souboru pomocí servisních vláken. Servisní vlákna pro zpracování terénu se zároveň starají o opravu chyb, zamezují tak vzniku artefaktů na hranách dlaždic, a také nahrávání objektů náležících do dané dlaždice.

Načítání a zpracování vstupních dat, jak již bylo zmíněno, probíhá asynchronně k běhu hlavního vlákna aplikace. V průběhu optimalizace bylo vyzkoušeno několik metod. Každá z těchto metod má své výhody i nevýhody a její efektivnost je velmi závislá na cílové platformě.

První metodou bylo rozdělení procesu přípravy dat do několika vláken, které načítala jednotlivé dlaždice ze souboru a prováděla poté jejich zpracování. Tyto metoda je velmi efektivní v případě, že načítání ze souboru trvá minoritní čas vzhledem ke zpracování dlaždice. Také počítá s paralelní architekturou, kde by mohlo každé vlákno v ideální případě běžet na jednom výpočetním jádře. Jelikož však cílová platforma disponuje pouze 2 jádrovým procesorem a z důvodu, že načítání z pevného disku je nedostatečně rychlé, byla tato metoda dále upravena a optimalizována na cílovou platformu.

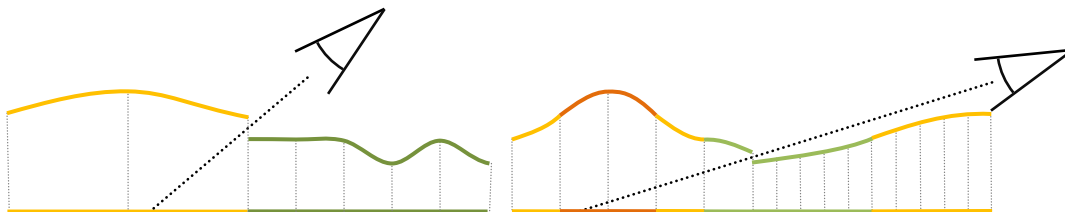
Cílová implementace obsahuje pouze 2 vlákna pro přípravu dlaždic, která nezávisle načítají dlaždice. První vlákno načítá terén v blízkosti pozorovatele a druhé vlákno vzdálenější oblast, tak aby nedocházelo k jejich vzájemnému překrytu. Tím je docíleno efektu, rychlejšího načítání a zpracovávání bližšího terénu. Podrobněji je poté práce jednotlivých vláken popsána v části 5.3 Architektura PFD.

Opravování dlaždic

Jelikož při načítání terénu, při různém rozlišení jednotlivých dlaždic, dochází k jistým nepřesnostem na hranách, je potřeba provádět jejich korekce. Způsobů odstraňování těchto artefaktů je několik a proto také byly v průběhu vývoje aplikace postupně aplikovány.

V prvním případě byly použity vizuální korekce tak, aby hrany dvou dlaždic nebyly viditelné. Výhodou je, že není nutno přímo upravovat dlaždice a tyto metody jsou méně náročné na zpracování dlaždic, avšak o to více zátěže potom převeze grafická karta.

Jednou z možností je pod jednotlivými dlaždicemi zobrazit objekt, který se bude snažit, aby díry, vzniklé mezi dlaždicemi, byly co možná nejlépe vyplněny stejným odstínem barvy jako okolní terén. Tato metoda vypadá dobře z pohledu z větší výšky, avšak čím blíže se nacházíme v terénu, tím snáze může docházet k nepřesnostem, viz Obr. 17.



Obr. 17 - Metoda vizuálního zakrytí děr umístěním plochy pod terén. Obrázek vlevo znázorňuje stav, kdy tato metoda opravdu vizuálně zakryla díru mezi dvěma dlaždicemi. Obrázek napravo zobrazuje pohled, kdy se pozorovatel nachází nízko nad terénem a došlo k situaci, kdy byla díra zakryta jinou barvou než jakou má okolní terén.

Další možností vizuálního zakrytí děr je použití pásů, které ohraničují jednotlivé dlaždice. Tyto pásy se vytvoří tak, že jsou spuštěny z okraje dlaždice směrem dolů až do definované hloubky tak, aby překryly případné mezery mezi dlaždicemi. Tím je docíleno mnohem lepších výsledků, než u metody předešlé, avšak je nutno takto vykreslovat mnohem větší množství trojúhelníků.

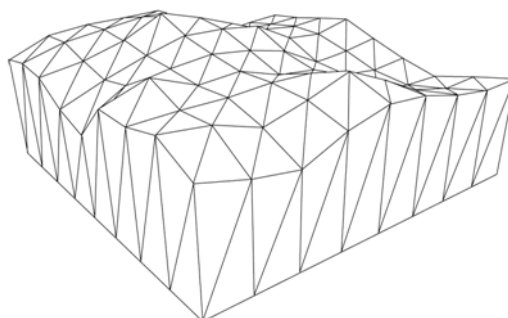
Následující rovnice popisují nárůst počtu trojúhelníků na jednu dlaždici. První rovnice ukazuje obecný výpočet, na každou jednotlivou buňku dlaždice potřebujeme 2 trojúhelníky. Potom na pás trojúhelníků okolo dlaždice potřebujeme 8 krát (4 strany, 2 trojúhelníky na buňku) více trojúhelníků nežli je délka jedné strany.

$$počet_{trojúhelníků}(velikost_{dlaždice}) = velikost_{dlaždice}^2 \cdot 2 + 4 \cdot 2 \cdot velikost_{dlaždice} \quad (5.1)$$

Následuje konkrétní případ výpočtu pro dlaždici velikosti 100x100. Pokud by dlaždice neobsahovala pás trojúhelníků okolo dlaždice, potřebovali bychom na její výpočet 20000 trojúhelníků. Pás okolo ní, nám přidá ještě dalších 800. Výsledek tedy vidíme na následující rovnici.

$$počet_{trojúhelníků}(100) = 100^2 \cdot 2 + 4 \cdot 2 \cdot 100 = 20000 + 800 = 20800 \quad (5.2)$$

Nárůst je tedy oproti dlaždici bez trojúhelníků o 4%. Příklad takového pásu je ukázán na Obr. 18.[14]

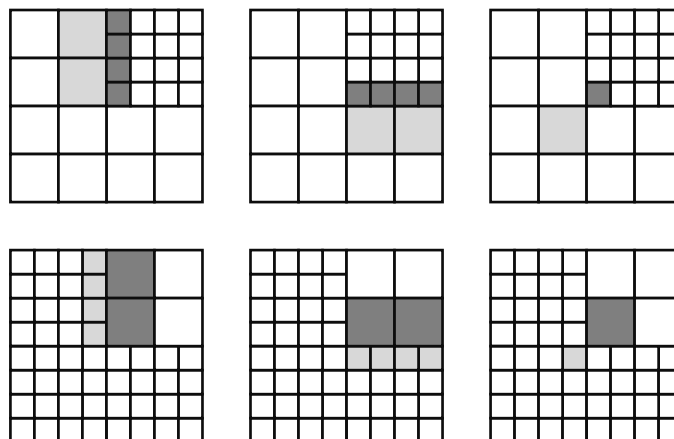


Obr. 18 - Ukázka aplikace pásu okolo dlaždice spuštěného z okraje směrem dolů. [14]

Nejpřesnější metodou je potom přímá úprava dlaždic, tak aby tyto na sebe přesně navazovaly. Tyto úpravy je možno provádět několika různými způsoby.

Pokud se nacházíme na rozmezí dvou dlaždic, vezmeme tu, která má větší úroveň detailů a upravíme její okraje tak aby odpovídala dlaždici s menší úrovní detailů. To pak provedeme pro všechny okolní dlaždice, které splňují tuto podmínku.

Další variantou je úprava dlaždic jen v jednom směru, například upravujeme vždy jen levou a dolní stranu. Tato metoda je implementačně jednoduchá a výpočetně také velmi rychlá avšak dochází u ní občas k drobným nepřesnostem. Metoda má 3 části. Prvně opravuje dlaždice zleva, poté zprava a nakonec ještě provádí opravu krajního rohového bodu z dlaždice, která leží do kříže, viz Obr. 19.



Obr. 19 - Ukázka algoritmu pro opravování terénu. Horní řada ukazuje případ, kdy dochází k úpravě dlaždice s větším rozlišením na dlaždice s menším rozlišením. Spodní řada ukazuje opačnou situaci.

Implementačně byly vyzkoušeny všechny zde popsané metody. První metoda zobrazení plochy pod dlaždicí byla opuštěna, jelikož nedosahovala požadovaných výsledků. Druhá metoda, použití pásu okolo dlaždice se ukázala jako již vizuálně relativně přijatelná, na okrajích mapy vytvářela elegantní ohraničení, avšak byla velmi náročná na vykreslování, jelikož vedla k zobrazení ještě většího množství trojúhelníků, což vzhledem k cílové testovací platformě a potřebě přidání ještě dalších objektů, nebylo žádané.

Nakonec byla implementačně vyzkoušena i třetí metoda, která přímo opravovala terén, způsobem popsaným dříve a vizualizovaným na Obr. 19. **Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.** I takto metoda má jisté nepřesnosti, především pak v situaci kdy opravuje dlaždice s nižším rozlišením z dlaždic s rozlišením vyšším, byla na základě své jednoduchosti implementace a dobrých vizuálních výsledků implementována i ve finální aplikaci.

5.5.2 Optimalizace zobrazení terénu a objektů

V předchozí kapitole byl popsán způsob načítání terénu ze souboru a jeho následné zpracování. V další fázi je poté terén připravován pro zobrazení. A právě tato kapitola popisuje různé metody a postupy, kterými jsou data připravována a zobrazována.

Zobrazení terénu

Jelikož terén obsahuje velké množství polygonů, nachází se zde mnoho prostoru pro optimalizace. Již při načítání bylo uvedeno, že pro optimalizaci velikosti dlaždic je použito Geo Mip-Mappingu. Jeho správné nastavení má významný vliv na rychlost jak načítání, tak především zobrazování, vyjma nastavených různých úrovní detailů pro vzdálenější objekty, navíc je možno také omezit nejvyšší možnou úroveň detailů jaká se bude načítat. Toto nastavení má nejvýraznější vliv na platformě Intel HD4500, kde je nutno omezit co nejvíce parametrů, z důvodu slabého výkonu grafického adaptéru.

Nastavení úrovně detailů terénu je provedeno na základě následující rovnice, ta byla převzata z [7] a byla u ní pozměněna konstanta před logaritmem tak, aby odpovídala aktuálním potřebám:

$$LoD = 15 \cdot \ln \left(\frac{\sqrt{(\Delta x)^2 + (\Delta y)^2 + (\Delta z)^2}}{87209} \cdot 2 + 1 \right) \quad (5.3)$$

- LoD je hodnota výsledné úrovně detailů od 0 do 6, v případě, že se dostane mimo rozsah, dojde k úpravě na nejbližší možnou,
- $\Delta x, \Delta y, \Delta z$ označují vzdálenosti mezi dlaždicí a kamerou,
- Ostatní číselné konstanty jsou vybrány tak, aby výsledná hodnota náležela do vhodné části algoritmu a aby došlo k optimálnímu nastavení náročnosti dle výkonu testovacího zařízení.[7]

Dalším optimalizačním krokem je nastavení omezení maximálního počtu dlaždic, které budou zobrazeny. Pro upřesnění velikost jedné dlaždice byla 100x100 bodů tedy přibližně 9 km, na delší straně a 6km na kratší straně. Minimální akceptovatelné nastavení počtu dlaždic je 10x10 dlaždic, které pro lety v malých výškách do přibližně 3000ft umožňuje ještě dostatečnou orientaci v prostoru okolo letadla. Pro lety do výšky 10000ft se však již rozumným nastavením jeví hodnoty mezi 30x30 až 67x67, kde 67x67 již zabezpečuje teoretickou maximální možnou dohlednost, tj. přibližně 600x400 km.

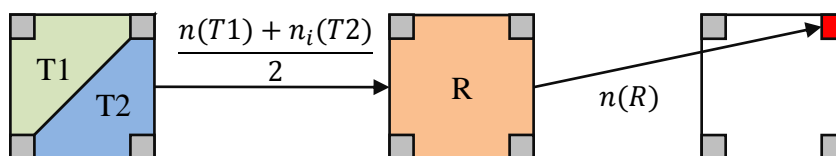
Výpočet normál

Počítat normály sítě reprezentující terén je možno několika způsoby. Jednou z možností je postup, kdy počítáme normálu pro každý celý trojúhelník, avšak jen tento postup nám neumožní plynulé stínování těchto trojúhelníků. Abychom toho dosáhli je nutno aproximovat normály v každém bodě naší sítě.

Pro aproximaci hodnot normál v každém jednotlivém bodě sítě bylo otestováno několik možností, jakými lze postupovat.

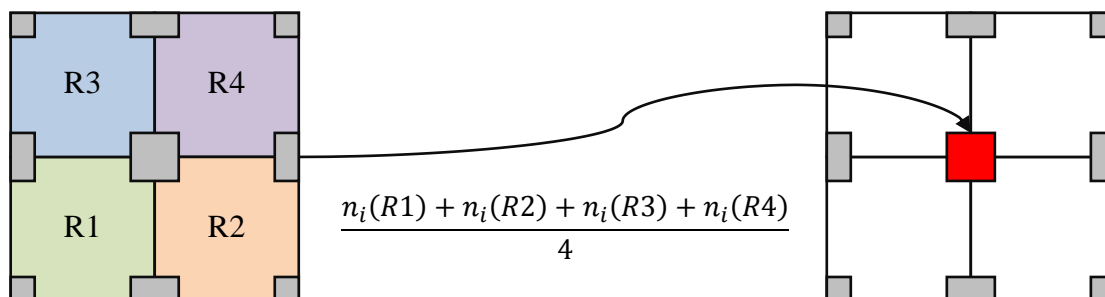
První varianta je založena na výpočtu normál vždy pro dva trojúhelníky k sobě přilehlé přeponou. Tyto dva trojúhelníky se poté po složkách zprůměrovaly a jejich hodnoty byly uchovány.

V první variantě výpočtu normál byly pro jednotlivé body sítě použity právě čtverce složené ze dvou trojúhelníků. Viz Obr. 20.



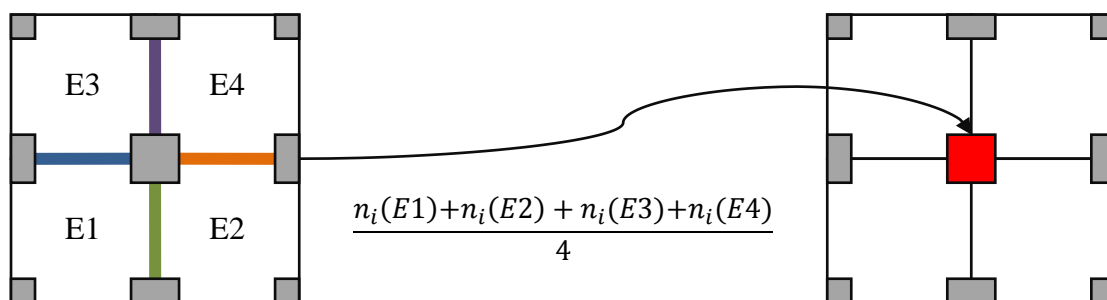
Obr. 20 - První varianta výpočet a ukládání normál. V prvním kroku jsou vypočítány normály pro trojúhelníky T1 a T2. Jejich průměrem poté dostaneme aproximaci normály pro čtverec R, která je poté uložena do pravého horního bodu.

Druhá varianta funguje obdobně jako předchozí, avšak neukládá do bodu hodnotu jen z jednoho čtverce, ale bere průměrnou hodnotu jednotlivých složek normál všech čtyř čtverců ve svém okolí. Výsledkem je poté mnohem hladší přechod v místech výrazných změn normál.



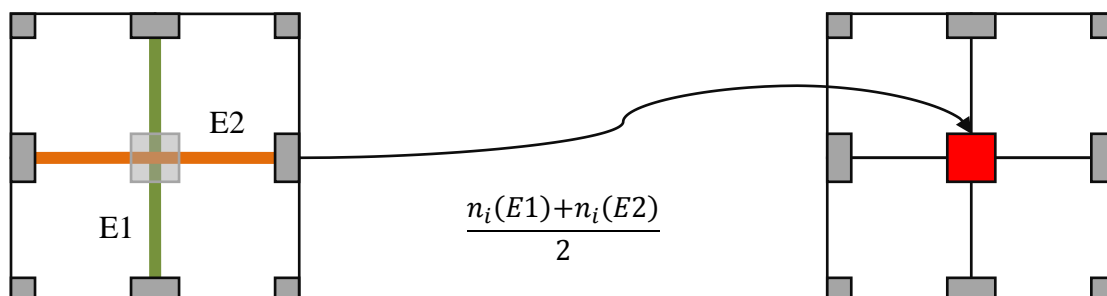
Obr. 21 - Druhá varianta průměruje čtyři okolní body. Průměry jednotlivých čtverců jsou počítány stejně jako ve variantě první.

Třetí varianta vypočítává normály pro čtyři okolní hrany bodu a výsledek poté opět pro každou složku zprůměruje. Tato aproximace dosahuje nejhladších výsledků na přechodech s velkou změnou normál.



Obr. 22 - Třetí varianta výpočtu normál. Proveďte se výpočet normál na jednotlivých hranách a zprůměrováním hodnot jednotlivých složek získáme výslednou normálu ve středovém bodě.

Třetí variantu je možné ještě upravit, takovým způsobem, že bude provádět výpočet pouze dvě hrany do kříže, čímž ušetříme 2 výpočty normál za cenu méně přesného výsledku. Výsledek je navíc vizuálně velmi podobný výsledkům předchozí varianty.



Obr. 23 - Čtvrtá varianta. Je vypočtena normála pouze pro dvě hrany, tedy ignoruje se středový vrchol. Hodnota normály ve vertikálním s horizontálním směru se zprůměruje a uloží do středového bodu.

V předchozí části byly rozepsány jednotlivé varianty výpočtu normál. V následující tabulce je přehled náročnosti výpočtu pro jednotlivé metody. Doba výpočtu je hodnota pro

1000 iterací algoritmu. Uvedené hodnoty jsou v milisekundách a jedná se o průměr ze 100 testů. Testováno bylo na notebooku Dell Latitude D630 s procesorem Intel Core2 Duo T7500@2,20 GHz, se 4 GB RAM a OS Windows 7 Profesional SP1 x64.

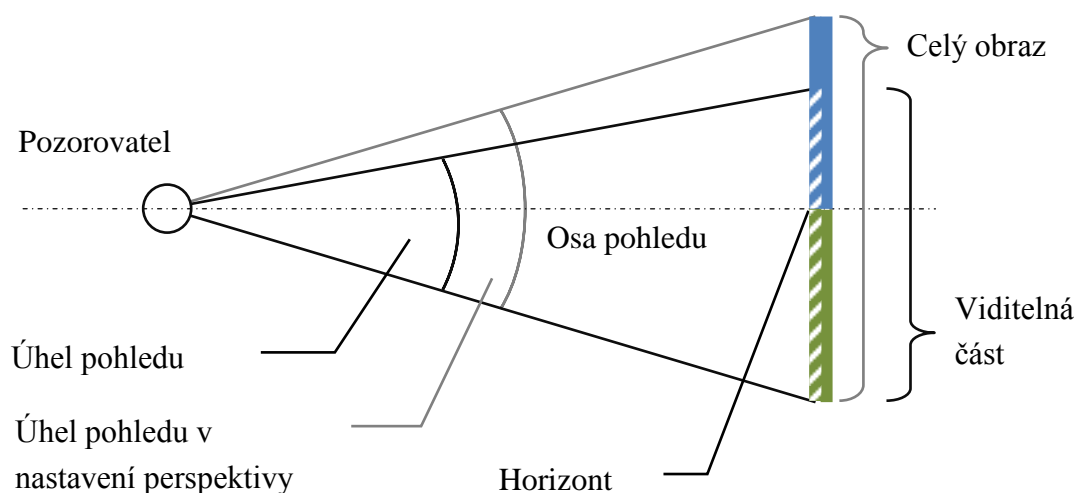
Varianta	1 čtverec	4čtverce	4 hrany	2 hrany
Čas	547,85	616,6	546,87	296,27

Tab. 1 - Výpočetní náročnost jednotlivých metod počítání normál

Z předchozí tabulky jasně vyplývá, že nejrychlejší je algoritmu varianty 4 – 2 hrany. Ten je také ve výsledku nastaven jako výchozí v aplikaci.

Úhel pohledu a nastavení horizontu

Vzhledem k zaměření aplikace, bylo nutno nastavit pohled na terén takovým způsobem, aby byl kladen větší důraz na terén nežli na oblohu. To je podstatné proto, abychom získali co možná nejlepší přehled o situaci před a pod námi. Z tohoto důvodu byl vytvořen systém pro nastavování polohy horizontu. Na následujícím obrázku je znázorněno schéma nastavení pohledu tak, aby odpovídal požadovaným parametrům.



Obr. 24 - Schéma nastavení polohy horizontu

Pozorovatel se tedy dívá do středu scény, avšak ta je o trochu větší nežli obrazovka a je posunuta tak, aby byla viděna potřebná část terénu.

Výška celého obrazu je definována následující rovnicí, kde $poloha_{horizontu}$ je udávána jako poměr vzhledem k $výšce_{okna}$ a $výška_{okna}$ udává požadovanou výšku okna:

$$výška_{celého\ obrazu} = (2 - poloha_{horizontu}) * výška_{okna} \quad (5.4)$$

Posun obrazu poté definuje rovnice:

$$posun_{obrazu} = poloha_{horizontu} * výška_{okna} - \frac{výška_{celého\ obrazu}}{2} \quad (5.5)$$

Poté pro nastavení glViewport je použito parametru $posun_{obrazu}$ pro vertikální posun okna a $výška_{celého\ obrazu}$ pro nastavení výšky obrazu.

Zvýraznění terénu

Jednou z možností zvýraznění terénu je vhodné nastavení normál uvedených v jedné z předchozích částí. Další doplňující možností je zobrazení mřížky nebo šachovnice. Tato mřížka umožňuje lepší zobrazení členitostí v terénu a pak především také umožňuje lepší orientaci ve výšce nad terénem.

Technologie zvýraznění terénu prošla několika iteracemi vývoje. Z počátku byla použita metoda střídavého obarvování jednotlivých vrcholů trojúhelníků terénu. Tato metoda nedosahovala dobrých kvalit výsledného zobrazení, jelikož pokud bylo využito Phongovo stínování, což způsobovalo rozmývání jednotlivých zvýrazněných trojúhelníků. I přes svoje nedostatky však tato metoda, jasně ukázala výhody zvýraznění terénu, kde bylo mnohem snazší vizuálně odhadnout výšku nad terénem a jeho členitost.

Další metodou bylo vykreslení sítě čar, které tvořily mřížku přesně definující velikost jednotlivých částí terénu. Tato metoda znamenala výrazné zlepšení vizuální stránky terénu a také odhad výšky a členitosti se oproti předchozí metodě výrazně zlepšil. Avšak i tato metoda měla jisté nevýhody, a to především ve značném nárůstu vykreslovaných objektů, což vedlo ke zpomalení vykreslování.

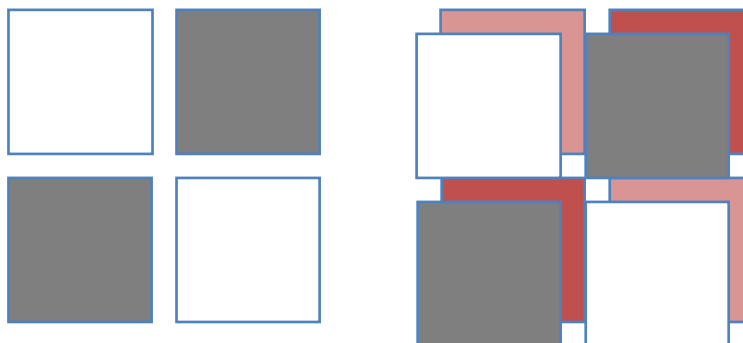
Poslední a nejlepší metodou bylo použití modulace textur. Tato metoda využívá 2D, v našem případě 3D texturu, kterou opakuje v rámci dané dlaždice a tím opět podle zadané textury dokáže vytvořit buď vzor mřížky, nebo šachovnice. Výsledky této metody jsou vizuálně velmi příjemné a také z hlediska náročnosti na vykreslování nedochází k takovému poklesu v počtu snímků, jako při použití předchozí metody. Podrobněji je tato metoda rozepsána v následující části.

3D textury

Jak již bylo uvedeno v předchozí kapitole pro zvýraznění terénu bylo použito tzv. 3D textur. 3D textura je zde použita z toho důvodu, že je možno do jedné plošné textury obsáhnout také její další modifikace v rámci dalšího rozměru.

Dalšího rozměru bylo využito pro uložení, textury pro zvýraznění terénu pro systém TAWS, který zvýrazňuje možnou kolizi s terénem a označuje ji červenou barvou. Kolizním terénem se v tomto případě myslí oblast, jež je vyhodnocena na základě definovaných kritérií, jako místo v terénu, které by letoun při dané konfiguraci za určitý čas dosáhl.

Na následujícím Obr. 25 je zobrazena 2D a z ní odvozená 3D textura, která obsahuje vrstvu jak pro normální zobrazení, tak také vrstvu používanou v systému TAWS.



Obr. 25 - Vlevo ukázka textury pro zvýraznění teránu vzorem šachovnice, napravo její obdoba jako 3D textura pro zvýraznění kolizního terénu.

TAWS

Systém TAWS varuje pilota před možnou srážkou s terénem. Je nesmírně důležitý v podmínkách, kdy došlo ke ztrátě vizuálního kontaktu se zemí. To může nastat z několika důvodů. V noci je vysoké riziko v oblastech kde je nízká koncentrace pozemního osvětlení a tudíž se špatně vizuálně odhaduje vzdálenost od země. Dalším důvodem je situace, kdy v důsledku špatných povětrnostních podmínek došlo ke snížení viditelnosti a tudíž i ke ztrátě vizuálního kontaktu s terénem.

Dynamické nastavení depth-bufferu

Jelikož při zobrazování vzdálených objektů vycházejících z úrovně terénu docházelo k zobrazování nežádoucích artefaktů na jejich rozhraní, z důvodů malé velikosti depth-bufferu, byla implementována funkce na odstranění tohoto jevu.

Tato funkce nastavuje vzdálenost blízké zobrazovací roviny, čímž upravuje přesnost depth-bufferu. Nastavení je provedeno podle následující rovnice

$$rovina_{blizka} = abs(vyska_{letu} - vyska_{terenu})/100.0 \quad (5.6)$$

Tímto způsobem je tedy nastavena velikost depth-bufferu v blízkosti terénu velmi přesně, což znamená, že nedochází k tomu, že by terén před pozorovatelem ustupoval, a ten by letěl do prázdna. Naopak ve větší vzdálenosti od terénu, tedy i potencionálně větší dohlednosti, se posouvá blízká rovina dále od pozorovatele, čímž se však zpřesňuje zobrazení vzdálených objektů. Tím dochází k potlačení artefaktů, které se na hranicích vzdálených objektů a terénu zobrazovaly.

5.6 Zobrazení letišť

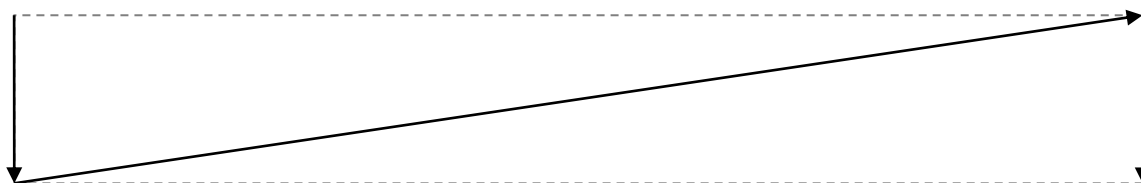
Následující část popisuje způsob a vhodnost zobrazování jednotlivých typů objektů v prostředí aplikace.

5.6.1 Letiště a UL plochy

Základním objektem ve vzdušném prostoru jsou bezpochyby letiště a jejich vzletová a přistávací dráha (plocha), dále VPD.

Tyto objekty mají několik pevně definovaných parametrů. Každou VPD definuje několik parametrů, orientace, od níž je odvozen také název a to pro oba možné směry, šířka a délka. Zároveň celé letiště leží v určité nadmořské výšce.

Pro použití v aplikaci bylo použito načítání objektů ze souboru tak, že VPD je zadáno pomocí souřadnic krajních bodů, viz Obr. 26, čímž získáme téměř všechny potřebné informace, ty jsou dále doplněny o informace o názvech jednotlivých VPD, jelikož tuto



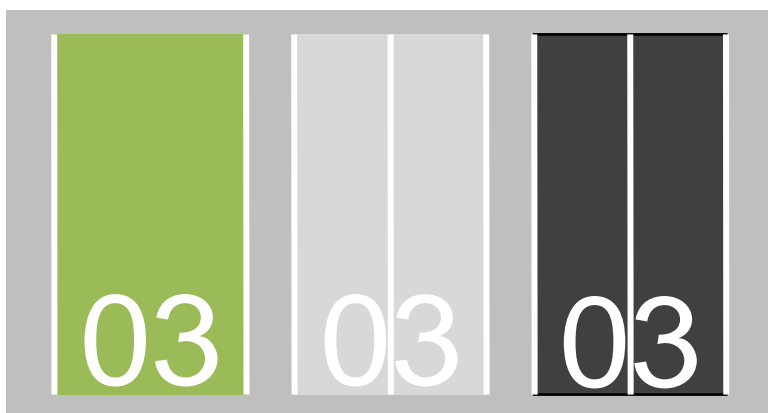
Obr. 26 - Pořadí bodů pro zápis VPD

informaci není možno zcela vyčíst jen z polohy dráhy. Výškový profil je poté vytvořen podle terénu, ležícího pod VPD.

Následující kód ukazuje příklad zápisu VPD:

```
<airport>
  <name>Turany</name>
  ...
  <runway>
    <no1>10</no1>
    <no2>28</no2>
    <type>concrete</type>
    <GPS>
      49.153131,
      16.675918,
      49.152602,
      16.675812,
      49.150006,
      16.711977,
      49.149439,
      16.711845
    </GPS>
  </runway>
  ...
</airport>
```

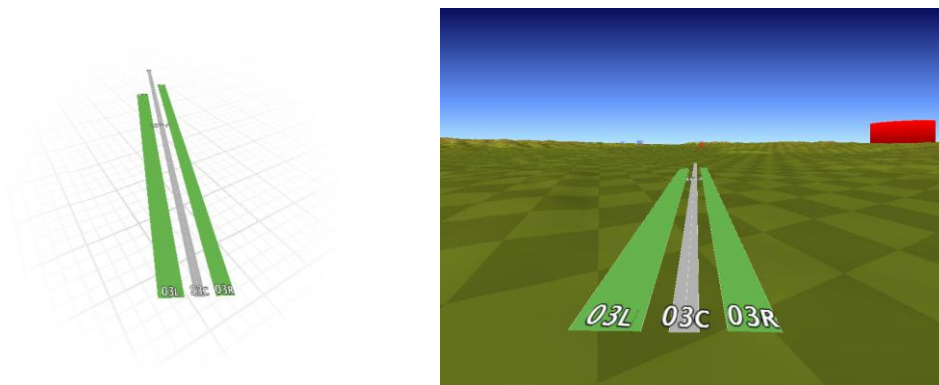
Podle typu povrchu je možno rozdělit VPD na 3 typy. Zprv se jedná o dráhy betonové, které jsou znázorněny šedou barvou, poté dráhy asfaltové znázorněny tmavě šedou barvou a nakonec travnaté plochy znázorněné barvou světle zelenou. Na koncích dráhy je poté zobrazen název jednotlivé dráhy ve tvaru 03 nebo 03C, kde 03 určuje směr a C označuje její



Obr. 27 - Zobrazení jednotlivých typů VPD. Vlevo Travnatá dráha, uprostřed betonová a napravo asfaltová.

pořadí v případě kdy ve stejném směru je více drah. Navíc betonové a asfaltové dráhy obsahují středovou čáru, kdežto travnatá ne, viz Obr. 27.

Jelikož letiště jsou v rámci zaměření aplikace klíčové, zobrazují se jak v rámci syntetického terénu tak také na mini-mapě.



Obr. 28 - Zobrazení letiště v aplikaci.

5.7 Objekty ve vzdušném prostoru

V předchozí teoretické části byly popsány jednotlivé objekty, které mohou být zobrazeny ve vzdušném prostoru. Tato část popisuje jednotlivé objekty z pohledu implementace a jejich zobrazení v aplikaci. Dále budou rozepsány objekty, které se vyskytují jak v syntetickém terénu, tak také na mini-mapě, tj. výškové objekty a vstupní a jiné významné orientační body.

Uložení dat

Všechny objekty jsou načítány ze společného souboru ve formátu GPX, který je možno použít také v rozličných GPS zařízeních, umožňujících zobrazení GPX záznamů. Tento soubor pochází ze zdroje [15] a je průběžně aktualizován.

Data v tomto souboru jsou rozdělena do dvou částí. První obsahuje body, tzv. waypoints (wpt), které reprezentují výškové objekty, rozličné orientační a hlásné body a další informace o objektech. Ve druhé části se poté nalézají trasy, tzv. tracks (trk), které reprezentují jednotlivé významné části vzdušného prostoru.

Následuje ukázka kódu vstupního souboru pro bodové objekty:

```
<wpt lat="48.8475" lon="17.1202777777778">
  <ele>268</ele>
  <name>kominy</name>
  <cmt>Hodonin</cmt>
  <desc>Hodonin</desc>
  <sym>Tall Tower</sym>
  <extensions>
    <gpxx:WaypointExtension xmlns:gpxx="...">
      <gpxx:Depth>104</gpxx:Depth>
      <gpxx:DisplayMode>SymbolOnly</gpxx:DisplayMode>
    </gpxx:WaypointExtension>
  </extensions>
</wpt>
```

Bodové objekty obsahují informaci o poloze, výšce, názvu, popisu, typu objektu a další doplňkové informace. Jednotlivé typy bodových objektů se nalézají v následující tabulce Tab. 2:

Typ objektu	Popis	Zobrazení
Ultralight Area	Letiště pro UL letadla	Terén/Mapa
Airport	Letiště	Terén/Mapa
Tall Tower	Výškový objekt	Terén/Mapa
Diamond, Blue	Vstupní bod	Terén/Mapa
Triangle, Green	Hlásné a význačné body	Terén/Mapa
Radio Beacon	Radiové stanice VOR/DME	Mapa

Tab. 2 - Tabulka obsahující přehled jednotlivých bodových objektů, jejich popis a to kde jsou zobrazeny.

Dále je uvedena ukázka kódu vstupního souboru s informacemi o vzdušných prostorech:

```
<trk>
  <name>LKP 3 Luhacovice</name>
  <extensions>
    <gpxx:TrackExtension xmlns:gpxx="...">
      <gpxx:DisplayColor>DarkRed</gpxx:DisplayColor>
    </gpxx:TrackExtension>
  </extensions>
  <trkseg>
    <trkpt lat="49.118025" lon="17.7649527777778"/>
    <trkpt lat="49.118025" lon="17.7649527777778"/>
    ...
    <trkpt lat="49.118025" lon="17.7649527777778"/>
    <trkpt lat="49.118025" lon="17.7649527777778"/>
  </trkseg>
</trk>
```

Trasy, které nesou informace o hranicích vzdušných prostorů, obsahují data o názvu vzdušného prostoru, barvě (typu objektu) a seznamu krajních bodů. Popis jednotlivých typů vzdušných prostorů se nachází v tabulce Tab. 3:

Typ vzdušného prostoru	Popis	Zobrazení
DarkBlue	CTR	Mapa
DarkRed	Zakázaný prostor	Terén/Mapa
Red	Rezervovaná oblast	Terén ² /Mapa
Blue	TMA	Mapa
LightGray	ATZ	Mapa
Green	LKTSA	Terén ³ /Mapa

Tab. 3 - Tabulka obsahující přehled, popis a typ zobrazení jednotlivých typů vzdušných prostorů nalézajících se ve vstupním souboru.

Jak je možno vidět v tabulce Tab. 3 je většina objektů vzdušných prostorů zobrazena jen na mapě. To je z toho důvodu, aby v syntetickém terénu nebylo zobrazeno příliš velké množství objektů, čímž by mohlo snadno dojít k nepřehledné situaci. Proto jsou tedy přímo ve 3D v syntetickém terénu zobrazeny jen objekty opravdu významné, např. zakázané vzdušné prostory, tedy prostory kde hrozí nebezpečí. Avšak i objekty, které nejsou nyní zobrazeny v syntetickém terénu, jsou připraveny pro případ nutnosti jejich zobrazení i ve 3D pohledu.

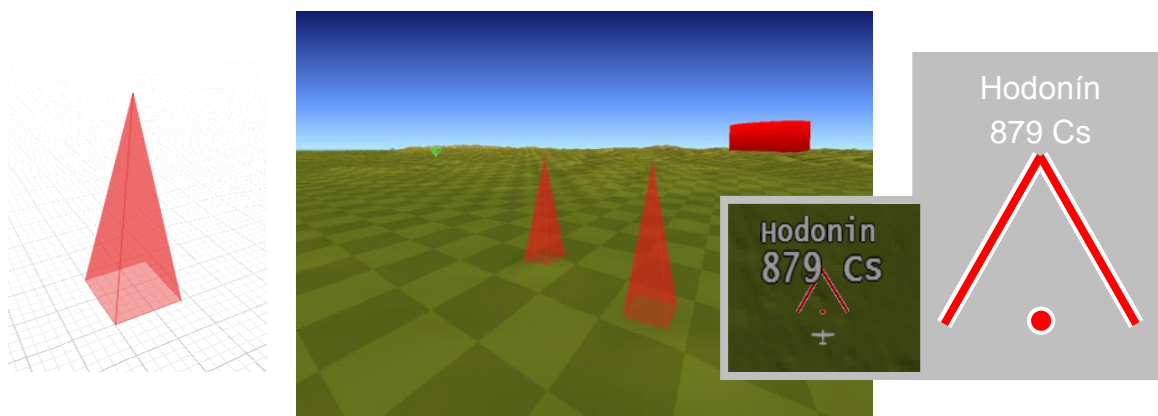
² Pouze v době aktivace, tato funkce však zatím v aplikaci není dostupná.

³ Pouze v době aktivace, tato funkce však zatím v aplikaci není dostupná.

Výškové objekty

V případě malé dohlednosti je velmi důležitá včasná informace o možných kolizních objektech ve směru letu. Z tohoto důvodu je v aplikaci integrován systém pro zobrazování výškových objektů. Tyto objekty můžou zároveň druhotně sloužit také jako orientační body a proto jsou zobrazovány jak v syntetickém terénu tak také na mapě.

V syntetickém terénu je výškový objekt zobrazen jako čtyřboký jehlan červené částečně transparentní barvy, kde nejvyšší bod se nachází v nadmořské výšce, ve které leží nejvyšší bod skutečného objektu. Zároveň také odpovídá zeměpisným souřadnicím, na kterých se nachází střed skutečného objektu. Na mapě se navíc symbol obsahuje také informaci o výšce a o názvu lokality poblíž, které se daný objekt nachází, viz Obr. 29.



Obr. 29 - Ukázka zobrazení výškových objektů. Vlevo ukázka jehlanu symbolizujícího výškový objekt, uprostřed ukázka zobrazení v aplikaci, vpravo styl symbolu určeného k zobrazení na mapě a jeho podoba v aplikaci.

Výškové objekty lze také rozdělit do několika skupin podle toho, o jaké objekty se jedná. Toto dělení je v aplikaci reprezentováno několika znaky nacházejícími se za číslem označujícím výšku, do které objekt sahá. Následující tabulka obsahuje přehled jednotlivých zkratk pro skupiny objektů:

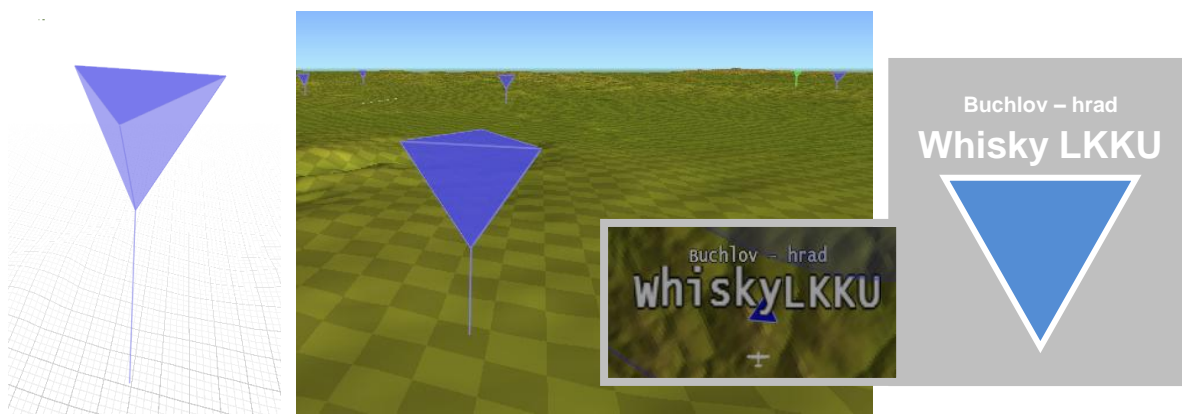
C	Komín	T	Věž
Cs	Komíny	B	Budova
M	Stožár	W	Větrná elektrárna
Ms	Stožáry		

Tab. 4 – Přehled zkratk výškových objektů

Vstupní body a další významné body

Mezi další významné objekty, které však mají význam především orientační, lze zařadit vstupní body.

Tyto objekty jsou zobrazeny jako pravidelné trojboké jehlany orientované podstavou směrem vzhůru. Z vrcholu jehlanu potom vede úsečka směrem k zemi. Skutečná poloha bodu potom leží na stejných zeměpisných souřadnicích, jako leží vrchol jehlanu. Na mapě jsou poté tyto objekty reprezentovány jako trojúhelníky, kde se pak souřadnice daného objektu se nalézají v těžišti tohoto trojúhelníku. Symbol na mapě je navíc doplněn o informace o názvu a přibližné poloze objektu, viz Obr. 30.



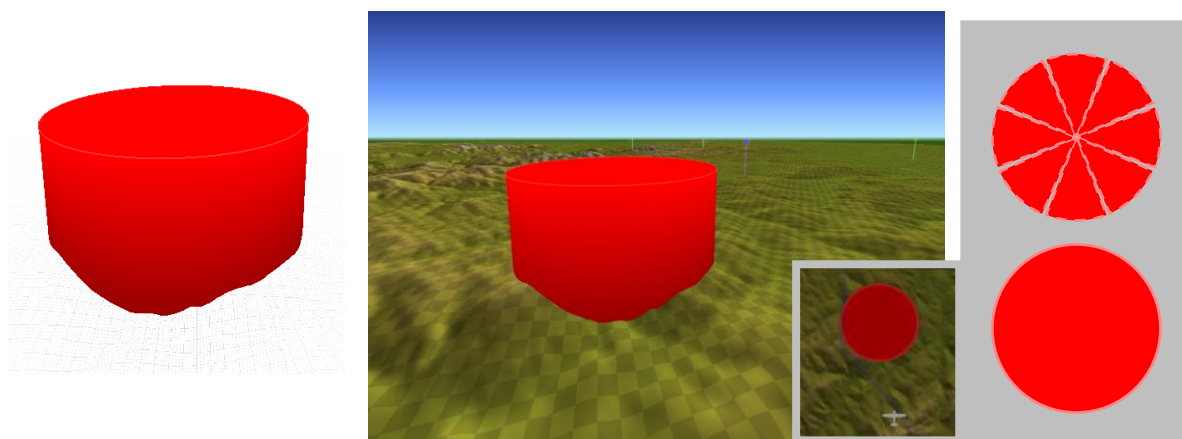
Obr. 30 - Zobrazení vstupních bodů. Vlevo ukázka symbolu vstupního bodu, uprostřed jeho zobrazení v aplikaci a napravo symbol s popisy pro zobrazení na mapě a jeho vzhled v prostředí aplikace.

Jelikož vstupní body nemají přesně definovanou výšku, jsou implementovány tak, že výška podstavy jehlanu se nachází vždy 500 ft pod aktuální letovou výškou. Dále je jejich vertikální omezení 1000 ft nad terénem až do výšky 5500 ft.

Vstupní body jsou potom obarveny modře a ostatní významné body zeleně.

Zakázané a nebezpečné prostory

Podobně jako v případě výškových objektů, také v zakázaných a nebezpečných prostorech hrozí potencionální nebezpečí. Proto jsou také tyto prostory zobrazeny jak v syntetickém terénu tak také na mapě. Objekt prostoru je definován posloupností krajních bodů. Jelikož tyto objekty mají konvexní tvar půdorysu, je pro každý vypočítán střed. Půdorys objektu je poté triangulován tak, že všechny trojúhelníky mají vždy jako jeden svůj bod střed a další dva body leží na hranici objektu, viz Obr. 31.



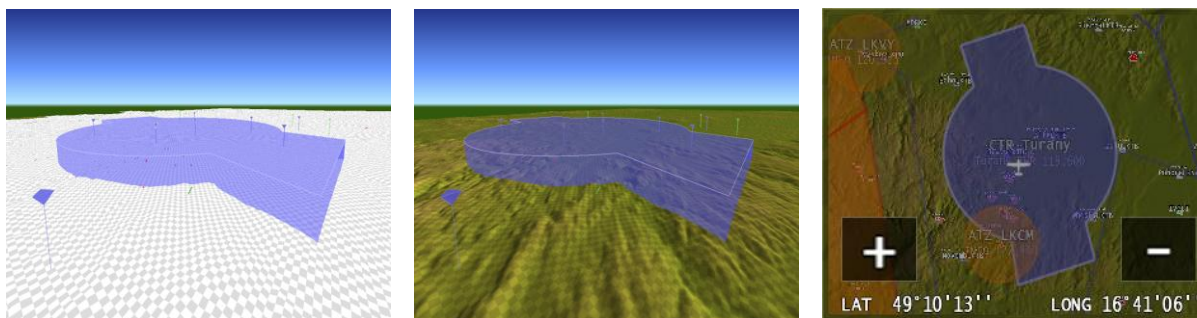
Obr. 31 - Zobrazení zakázaného prostoru. Vlevo symbol objekt pro syntetický terén, uprostřed integrace v aplikaci. Napravo dole symbol a ukázka zobrazení na mapě. Napravo nahoře poté schematické znázornění triangulace.

U těchto prostorů je zobrazována horní podstava a plášť. Výška, do které daný prostor sahá, je ve skutečnosti pro každý objekt zvlášť definována. Protože vstupní data tento údaj neobsahují je ve výchozím nastavení na hodnotě 5000 ft.

CTR – Řízený okrssek letiště

Kromě již zmíněných objektů a vzdušných prostorů jsou v aplikaci zobrazovány i další typy prostorů. Jedním z nich je také řízená oblast okolo letiště, která se rozprostírá v okolí velkých letišť a před vstupem do této zóny je nutno požádat o povolení. Tato oblast většinou tvoří kruh s výstupky ve směru osy dráhy.

Zobrazení objektu probíhá podobně, jako v případě zakázaných prostorů, tj. všechny body mají jeden společný bod v těžišti objektu, jen je zobrazen jako poloprůhledná modrá oblast.

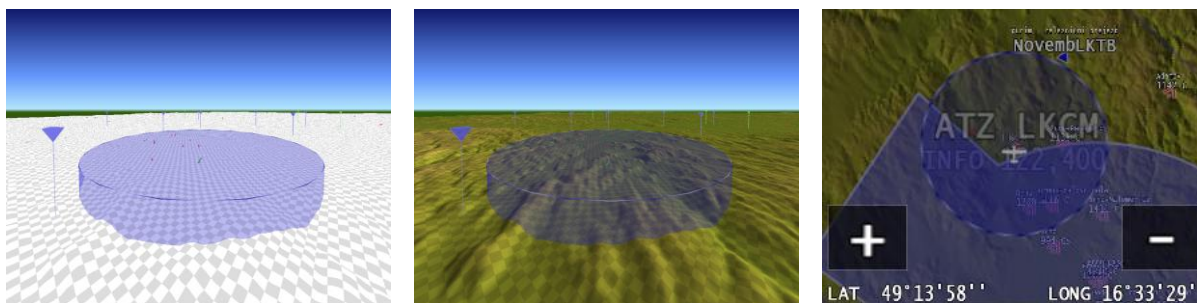


Obr. 32 - Ukázka zobrazení řízeného okrsku CTR. Vlevo a uprostřed možné zobrazení v syntetickém terénu. Napravo zobrazení na mapě.

CTR však není zobrazen přímo v syntetickém terénu, ale pouze v mapě. To především z důvodu lepší přehlednosti syntetického terénu.

ATZ – Zóna okolí letiště

Vzdušné prostory okolo malých letišť tvoří válec, kde podstava má poloměr 5,5 km, a válec sahá do výšky 4000ft (1200m). Protože se opět jedná o konvexní objekty, probíhá jejich zobrazování podobně jako v případě zakázaných prostorů. Barva je však modrá a hranice oblasti je vyznačena přerušovanou čarou.



Obr. 33 - Ukázka zobrazení zóny ATZ. Vlevo a uprostřed možné zobrazení v syntetickém terénu. Napravo zobrazení na mapě.

Zóna ATZ podobně jako CTR není přímo zobrazena v syntetickém terénu, ale pouze z důvodu přehlednosti v mapě.

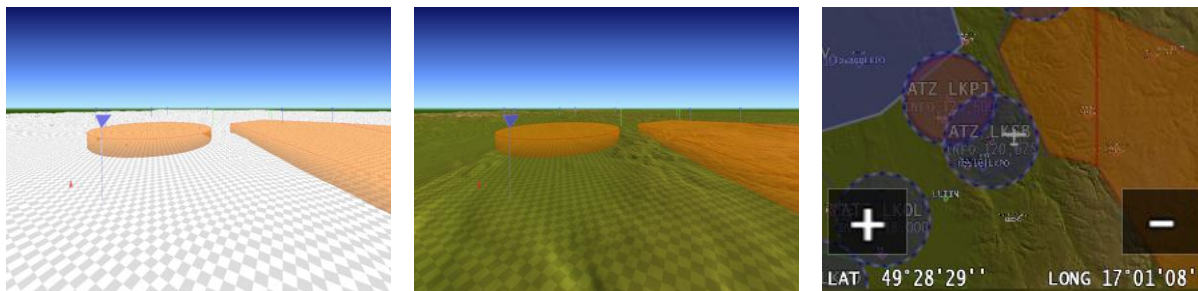
Prostory ATZ jsou zobrazeny jen na mapě, tedy podobně jako případě CTR je to především z důvodu přehlednosti.

TMA – Koncová řízená oblast

Prostory TMA jsou z důvodu přehlednosti zobrazeny pouze v mapě a navíc jsou znázorněny pouze jejich hraniční čáry.

LKR a TRA – Omezené a dočasně rezervované prostory

Tyto prostory jsou zobrazeny, podobně jako nebezpečné prostory, avšak jsou pouze poloprůhledné a zobrazeny červenooranžovou barvou. Podle potřeby opět mohou být zobrazeny jak v mapě, tak v případě aktivace také v syntetickém terénu.



Obr. 34 – Ukázka zobrazení Omezených a rezervovaných prostorů. Vlevo zobrazení v syntetickém terénu. Napravo zobrazení na mapě.

TSA – Dočasně vyhrazený prostor

Podobně jako LKR a TRA prostory mohou být i tyto zobrazeny jak na mapě tak také v syntetickém terénu avšak pouze v případě aktivace.

5.8 Stereoskopické zobrazení

Aplikaci je možno spustit také v režimu stereoskopického zobrazení. Trojrozměrného efektu je tu dosaženo tak, že je změněna poloha pozorovatele při vytváření obrazu pro levé a pravé oko. Toho bylo docíleno změnou nastavení pohledu, konkrétně pomocí příkazu `gluLookAt`, kde hodnota `eyeX[16]` byla nastavena na hodnotu $\pm 0,03$.

Výsledný obraz je poté vytvářen tak, že obrazy pro pravé a levé oko jsou skládány vedle sebe. Tato metoda vytváření stereo-obrazu byla zvolena ohledem na vybavení laboratoře HCI[17].



Obr. 35 - Stereoskopická verze aplikace.

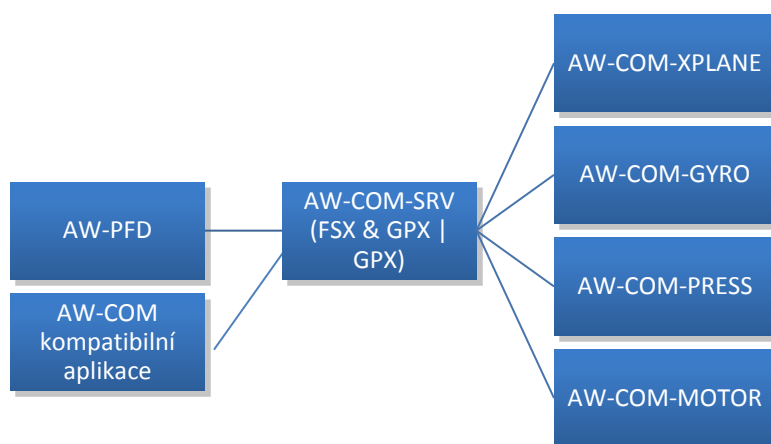
5.9 Komunikační systém AW-COM

Komunikační software AW-COM je založen na architektuře klient-server. Kde část, která data odesílá je server a ta, která se dotazuje a data přijímá je klient. Komunikace probíhá přes Ethernet a je postavena na protokolu TCP-IP.

Pro komunikaci je využito serverového modulu AW NetComSrv, který je nasazen v aplikacích získávající data, a jeho protějšku v klientském modulu AW NetCom. Serverový modul nezávisle obsluhuje klienty (kromě AW-COM-XPLANE) a navíc pracuje asynchronně k ostatním částem aplikace. Je však vždy zajištěno, že klientovi jsou odeslána všechna data s daným časovým razítkem. Klientský modul také vždy v aplikacích pracuje asynchronně a v případě ztráty nebo nedostupnosti zdroje dat se snaží periodicky znovu navázat spojení.

5.9.1 Schéma propojení

Následující schéma ukazuje propojení a rozložení jednotlivých aplikací v rámci komunikačního systému AW-COM.



Obr. 36 - Schéma propojení jednotlivých aplikací

Jednotlivé moduly jsou popsány dále.

5.9.2 Moduly

Systém komunikace mezi simulačními jádry, senzory a displeji se sestává z několika samostatných aplikací nebo doplňků (X-Plane), které si pracovně nazveme moduly komunikačního systému AW-COM.

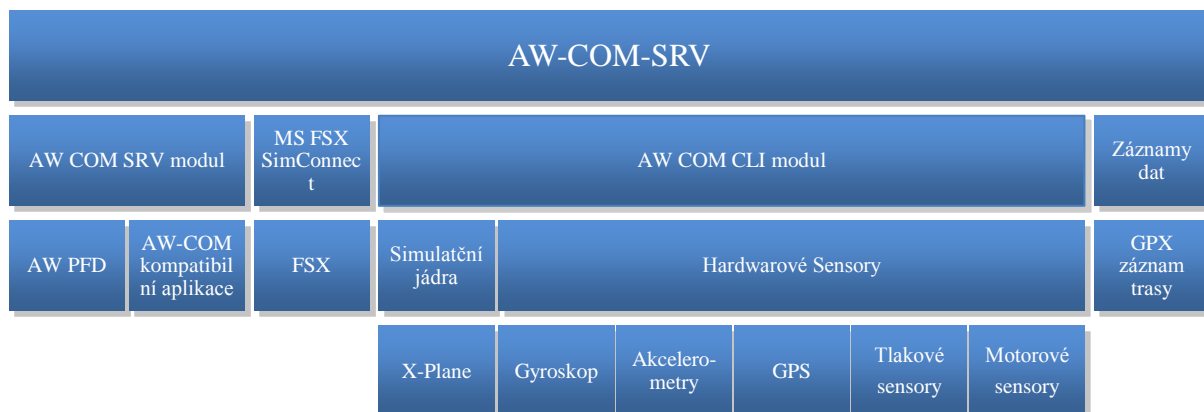
AW-COM-SRV

Tento modul je základním komunikačním serverem, který zapouzdřuje veškeré dostupné zdroje dat. Původně byl vytvořen pro oddělení komunikace AW-PFD se simulačními jádry, především MS Flight Simulator. S přibývajícím zdroji se stal univerzálním nástrojem pro získávání dat.

Server obsahuje serverový modul pro obsluhu klientů (PFD, a další potencionální klienty), modul pro komunikaci s MS Flight Simulator X pomocí rozhraní SimConnect a dále

klientské moduly pro komunikaci s jinými simulačními jádry, např. X-Plane (přes AW-COM-XPLANE, viz dále), a klientské moduly pro komunikaci s aplikací obsluhující zdroj dat ze senzorů. Serverový modul a klientský modul jsou spouštěny paralelně. Z klientských modulů však vždy běží jen jeden, vyjma situace kdy jsou získávána data z reálných senzorů. Výběr klientských modulů je možný buď nastavením parametru při spuštění, nebo je možné zvolit režim, kdy jsou postupně dotazovány všechny zmíněné zdroje dat a je vybrán ten, u kterého byla nalezena pozitivní odezva.

AW-COM-SRV také umožňuje přehrávání záznamů tras letu ze souboru ve formátu GPX.



Obr. 37 - Popis AW-COM-SRV

Následující Tab. 5 popisuje možné nastavení parametrů serveru.

Parametry	Popis
-p port	Povinný parametr určující, na kterém portu server odpovídá
-fsx	Režim získávání dat pouze ze simulátoru MS Flight Simulator X
-xplane	Režim získávání dat pouze ze simulátoru X-Plane
-gpx soubor	Načte data ze souboru GPX (zaznamenaná data z GPS) a spustí jejich simulaci.
-uni	Automaticky vybírá zdroje buď FSX nebo XPLANE. Zjišťuje jejich dostupnost a umožňuje je dynamicky měnit.
-sensors	Původně parametr pro získávání dat ze zařízení s gyroskopem, akcelerometry a GPS, nyní obecně pro získávání reálných dat ze všech dostupných zařízení a snímačů.

Tab. 5 - Nastavení parametrů AW_SRV

Parametr -p je povinný a musí být prvním, z ostatních parametrů je možno vybrat právě jeden. Pro přehrání záznamu z GPS zařízení je vyžadován soubor typu GPX, který je

následně interně upraven, jsou dopočítány chybějící hodnoty požadované pro přibližnou simulaci. Rychlost přehrávání je možno měnit.

AW-PFD

Displeje slouží jako koncový zdroj dat, který umožňuje jejich zobrazení. Zároveň umožňuje také nastavení některých parametrů, které jsou poté zpětně distribuovány do příslušných modulů, např. nastavené QNH.

AW-COM-XPLANE

Speciální doplněk vyvinutý pro přímou komunikaci se simulátorem X-Plane. Umožňuje zobrazení veličin na obrazovce simulátoru a jejich přeposílání do dalších modulů.

5.9.3 Popis komunikačního protokolu – DATA

Komunikační protokol AW-COM umožňuje předávat velké množství důležitých letových veličin podrobněji popsanych v následujících tabulkách. První tabulka obsahuje formát zprávy a ve druhé se nalézá přehled a popis jednotlivých veličin.

Formát zprávy

Tato tabulka obsahuje informace o formátu v jakém je nutno zprávu posílat.

Část zprávy	Popis
DATA	Hlavička zprávy určující, že jsou posílána data. Touto hlavičkou musí začínat každá zpráva nesoucí letové veličiny
:veličina:hodnota(double *.6)	Veličina určuje význam hodnoty, kterou tento řetězec obsahuje. Zkratky veličin se nacházejí v následující tabulce. Pokud se daná veličina vyskytne v řetězci vícekrát, je brána první hodnota zleva. Hodnota veličiny je vždy zapsána s přesností na 6 desetinných míst.
:END	Ukončovací sekvence znaků.

Posílané veličiny

Tabulka v části Příloha A obsahuje přehled a popis veličin, které mohou být posílány. Tyto hodnoty se zapisují ve formátu uvedeném v předchozí tabulce a zapisují se do jednoho řetězce těsně za sebou.

5.9.4 Popis komunikačního protokolu – GET

Komunikační protokol podporuje několik příkazů typu GET, které slouží pro získání dat ze serveru.

Příkaz	Popis funkcionality
GETDATA	Základní příkaz pro získání dat. Posílá celou základní sadu. Používá se v případě komunikace se simulátorem X-Plane, který právě posílá všechny data, důležité pro správně zobrazení veličin na displejích.
GET:GYRO:END	Příkaz pro získání dat ze zařízení obsahující gyroskopy, akcelerometry a GPS byl vytvořen speciálně pro případ, kdy potřebujeme využívat více zdrojů vstupních dat, protože tento příkaz posílá jen data, jež jsou měřena tímto zařízením.
GET:PRESS:END	Slouží pro získání dat z hardwarových senzorů, konkrétně údajů o rychlosti a výšce získaných z tlakových senzorů.

Popis komunikačního protokolu – SET

Příkazy typu set, slouží ke kalibraci a nastavování různých parametrů uvnitř aplikací, především obslužných modulů snímačů, z prostředí grafického uživatelského rozhraní

Příkaz	Popis funkcionality
SETQNH:hodnota:END	Příkaz sloužící k odeslání údaje o nastavení QNH z displejů do aplikace určené k získávání dat z tlakových senzorů. Tato hodnota poté slouží k nastavení správné výšky.

6 Praktické testy

Praktické testy je možno rozdělit do dvou kategorií. Za prvé to jsou laboratorní testy na simulátoru SimStar 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.

6.1 Testy

Testování AW-PFD probíhalo v laboratoři SimStar s parametry letu získávanými z MS Flight Simulátoru nebo ze simulátoru X-Plane. Do budoucna je možný také přechod na simulační jádro JSBSim s jedním z již zmiňovaných rozhraní pro vizualizaci. Z důvodu propojení jednotlivých simulačních jader a také z důvodu plánovaných praktických ověřovacích zkoušek, bylo nutné vytvořit universální rozhraní, umožňující komunikaci jak v prostředí laboratoře tak také přímo v letadle, jedná se o rozhraní popsané v předchozí části pod názvem AW-COM.

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



Obr. 38 - Laboratoř SimStar

6.1.1 Přehled testů

Během testování na simulátoru SimStar proběhlo nespočet plánovaných i neplánovaných testů, na ověření funkcionality jednotlivých systémů. Pro přehled jsou zde uvedeny některé z nich.

Test na ověření umístění jednotlivých objektů v AW-PFD

V průběhu tohoto testu byly ověřovány polohy a umístění jednotlivých objektů v prostředí aplikace AW-PFD. Tyto testy odhalili problémy v oblasti nastavení výškového profilu objektů VPD, jelikož Microsoft Flight Simulator X a X-Plane využívají rozdílného systému profilů VPD. Proto bude nutné pokračování tohoto testu v reálných podmínkách za letu.

Test orientace za zhoršených povětrnostních podmínek.

Testy prokázali schopnosti využití AW-PFD, za zhoršených povětrnostních podmínek, kdy pomohli k orientaci a správnému navedení na přistávací dráhu. Tyto testy proběhli na několika dobrovolnících, na kterých bylo testováno použití systému při náhlé změně povětrnostních podmínek a tím související ztrátě orientace. Všichni dobrovolníci byli schopni se poměrně rychle a snadno zorientovat a dále pokračovat v letu jen za použití AW-PFD a případně také úspěšně přistát na zvoleném letišti. Někteří účastníci dokonce k orientaci primárně používali AW-PFD a tudíž jim ztráta vizuálního kontaktu s terénem nečinila velké potíže.

Test na ověření komunikačního rozhraní

Tím také bylo prověřeno komunikační rozhraní a jeho schopnosti předávat data ze simulačních jader do AW-PFD, případně také dalším aplikacím využívající rozhraní AW-COM.

Test na ověření schopnosti přepínání mezi simulačními jádry

Další testy ověřili také schopnosti komunikačního serveru automaticky přepínat mezi dostupnými zdroji (FSX, X-Plane).

6.2 Letové testy – SportStar

Testování v letounu Evektor EV-97 SportStar slouží především pro připravované testy na ověření funkčnosti AW-PFD v reálných podmínkách a zároveň k vyladění jednotlivých prvků v reálném prostředí tak, aby celkový dojem byl co možná nejpřirozenější.

6.2.1 Prostředky

Tato část popisuje prostředky dostupné a potřebné pro testování platformy v reálných podmínkách na palubě ultralehkého letounu.

Evektor EV-97 SportStar

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

Přehled parametrů SportStar SL[18]

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/h
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



Obr. 39 - EV-97 SportStar, napravo vizualizace možného zabudování.

Dell Latitude XT2

Pro testování v polních podmínkách je použit konvertibilní tablet Dell Latitude XT2, který je díky jeho speciálním vlastnostem vhodný pro testování i 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 Windows 7 Professional 64 bit s doinstalovanými aplikacemi potřebnými pro funkci dotekového ovládání.

Ukázka konceptu testování na tabletu XT2 je vyobrazena na Obr. 40. Zároveň je zde možnost vidět srovnání s již zabudovaným systémem dotekových displejů.



Obr. 40 - Dell Latitude XT2 při ukázce testování (prostředí laboratoře SimStar)

7 Závěr

Aplikace běžící na systému primárních letových displejů instalovaných v laboratoři SimStar v současné době obsahuje integraci objektů pro vizualizaci vzdušného prostoru. Oproti předchozí verzi instalovaného systému došlo k optimalizaci po stránce výkonnosti a také bylo navrženo nové grafické uživatelské rozhraní.

Snížení nároků pro provoz systému je zcela zásadní pro testování v reálných podmínkách na zařízení Dell Latitude XT2 a následně také na příslušném vestavěném zařízení přímo v kokpitu letounu SportStar.

Přepřeprogramování uživatelského rozhraní umožnilo integraci vizualizace vzdušných prostorů, integrace nebezpečných objektů v terénu, vstupních bodů, přistávacích a vzletových drah letišť Brno Tuřany, Medlánky a Kunovice a dalších rozličných orientačních bodů. Také byly ověřeny schopnosti využití těchto systémů pro pilotáž za snížené viditelnosti v prostředí simulátoru SimStar.

Dalším postupem práce bude také zprovoznění systému PFD na testovacím zařízení zabudovaném v kokpitu skutečného experimentálního letounu EV-97 SportStar.

7.1 Možnosti budoucího vývoje

V další fázi je možno integrovat systémy ještě více zvyšující bezpečnost létání. Například přistávacího systému, systémů rozšířené vizualizace terénu, tedy vylepšení systému předpovídání kolize s terénem TAWS, nebo nastavování vzdušných prostorů ČR s možností operativně měnit jednotlivé objekty v závislosti na aktuální poloze, stavu letu nebo jejich aktivace. Vzdušné prostory by mohli být přímo generovány z Letecké informační příručky [4], a být tak doplněny o další důležité parametry.

Také je možno provést optimalizace zobrazení vzdálených objektů ve vzdušných prostorech.

Při reálných letových měřeních bude také nutné vyladit systém tak, aby se eliminovali rušivé prvky a aby systém co nejlépe korespondoval se skutečným světem. Z tohoto důvodu bude nutné také přehodnotit systém zadávání letišť a provést potřebné úpravy v nastavení výškového profilu VPD. Také by bylo možno systém rozšířit o další objekty VPD, pojezdových drah a dalších objektů.

Do aplikace také může být dopracován systém pro zadávání a zobrazování navigačních údajů. To bude zajisté také vyžadovat úpravu systému zobrazování mapy tak, aby byl ještě lépe optimalizován a mapa se tak stála přehlednější a mohla by být také větší. Jednou z alternativ by mohlo být vytvoření systému dvou displejů, kde jeden by zobrazoval PFD a druhý by sloužil např. pro zobrazení velké mapy a sloužit poté také pro navigaci.

Z pohledu komunikačního rozhraní by bylo možno provést jeho optimalizace a umožnit tak přenos dat například i bezdrátově. Komunikační protokol by také mohl být upraven, tak aby odpovídal moderním standardům pro komunikaci mezi leteckými přístroji a zdroji dat.

8 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]. **Kijor, Katarzyna.** *WSPOMAGAJĄCE SYSTEMY WIZYJNE I ICH ZASTOSOWANIE W LOTNICTWIE CYWILNYM*. Rzeszów : Politechnika Rzeszowska, 2010.
- [3]. **Chambers, Joseph R.** *INNOVATION IN FLIGHT: RESEARCH OF THE NASA LANGLEY RESEARCH CENTER ON REVOLUTIONARY ADVANCED CONCEPTS FOR AERONAUTICS*. [Online] 2005.
http://history.nasa.gov/monograph39/mon39_a.pdf. NASA SP-2005-4539.
- [4]. **provozu, Řízení letového.** AIP Letecká informační příručka. *Letecká informační služba*. [Online] Řízení letového provozu, 2011.
http://lis.rlp.cz/ais_data/www_main_control/frm_cz_aip.htm.
- [5]. **Wikipedia.** Vzdušný prostor - Wikipedie. *Vzdušný prostor*. [Online] Wikipedie, 19. Březen 2011. [Citace: 14. Prosince 2011.] http://cs.wikipedia.org/wiki/Vzdušný_prostor.
- [6]. **Federal Aviation Administration.** Official Guide to Basic Flight Information and ATC Procedures. *Aeronautical Information*. [Online] 2011.
http://www.faa.gov/air_traffic/publications/atpubs/aim/chap3toc.htm.
- [7]. **Bílek, Jan.** *AEROSPACE - Futuristický kokpit moderního letounu*. Brno : VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ, 2010.
- [8]. **Olson, Curtis L.** FlightGear Flight Simulator. *FlightGear Flight Simulator*. [Online] [Citace: 10. Leden 2011.] <http://www.flightgear.org/>.
- [9]. **Outerra.** Outerra. *Outerra*. [Online] Outerra. [Citace: 10. 1 2011.]
<http://www.outerra.com/>.
- [10]. **Peter Chudy, Karol Rydlo.** *Intuitive flight display for light aircraft*. Brno : Vysoké učení technické v Brně, 2011. AIAA-2011-6348.
- [11]. **Zomer, Dr. Robert.** SRTM 90m Digital Elevation Data. [Online] 19. Srpen 2008. [Citace: 17. 12 2011.] <http://srtm.csi.cgiar.org/>.
- [12]. **Ramirez, Eric.** Shuttle Radar Topography Mission. [Online] 17. Červenec 2009. [Citace: 17. 12 2011.] <http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/index.html>.
- [13]. **Bartoň, Radek.** *ROAM algoritmus a analýza jeho výkonové náročnosti, bakalářská práce*. Brno : FIT VUT v Brně, 2006.
- [14]. **Boer, Willem H. de.** Fast Terrain Rendering Using Geometrical MipMapping. [Online] 2000. http://www.flipcode.com/articles/article_geomipmaps.pdf.
- [15]. **Avion, Patrik Sainer.** AVION - Databaze letist pro GPS. *AVION*. [Online] 2011.
<http://www.aerobaze.cz/gps/>.
- [16]. **Silicon Graphics, Inc.** gluLookAt. *OpenGL - The Industry's Foundation for High Performance Graphics*. [Online] Silicon Graphics, Inc., 27. červen 2011. [Citace: 12. listopad 2011.] <http://www.opengl.org/sdk/docs/man/xhtml/gluLookAt.xml>.

- [17]. **Kovalcik, Vit.** Human Computer Interaction Laboratory. *HCI Laboratory*. [Online] MUNI-FI, 7. září 2010. [Citace: 06. 01 2010.]
http://decibel.fi.muni.cz/wiki/index.php/Main_Page.
- [18]. **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>.
- [19]. **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>.
- [20]. **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>.
- [21]. **Whitelaw, Julien.** *PFD Boeing 747-400*. místo neznámé : *Airliners.net*.
- [22]. **GARMIN.** In the Air. *GARMIN*. [Online] GARMIN, 2011. [Citace: 10. Leden 2011.]
<http://www.garmin.com/garmin/cms/site/us/intheair/>.
- [23]. **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.

Příloha A – Obsah CD

Složka **Aplikace** obsahuje samotnou aplikaci primárního letového displeje včetně souborů nutných k jejímu spuštění. Složka obsahuje následující soubory:

- AW_PFD.exe – spustitelný soubor aplikace,
- AW_PFD.bat – skript pro spuštění aplikace tak, aby kontaktovala server,
- AW_COM_SRV.exe – spustitelný soubor serveru,
- AW_COM_SRV.bat – skrip pro spuštění serveru tak, aby přehrál záznam z GPX,
- AW_COM_SRV_XPLANE.bat – skrip pro spuštění serveru tak, aby navázal komunikaci se simulátorem X-Plane,
- AW_ComPlugin.xpl – plugin pro X-Plane,
- glew32.dll – dynamická knihovna potřebná pro běh aplikace AW-PFD,
- glut32.dll – dynamická knihovna potřebná pro běh aplikace AW-PFD,
- config.xml – konfigurační soubor aplikace AW-PFD,
- ctr.gpx – soubor s daty vzdušných prostorů a dalším objektů,
- airports.dat – soubor obsahující informace o letištích,
- test_fly.gpx - testovací soubor obsahující testovací let
- data – složka se soubory obsahující zpracovaná SRTM data pro načtení terénu rozdělených podle úrovní detailů do jednotlivých složek,
- gfx – složka obsahující soubory grafických komponent ve formátu PNG,
- AW_PFD_readme.txt – základní informace o aplikaci a jejím spuštění,
- AW_COM_SRV_readme.txt - základní informace o aplikaci a jejím spuštění.
- AW_ComPlugin_XPLANE_plugin_readme.txt – informace pro instalaci pluginu do simulátoru X-Plane

V další složce **Zdroje** se nachází zdrojové soubory a soubor projektu pro nástroj Microsoft Visual Studio. Složka obsahuje následující soubory:

- AW_PFD.sln – soubor projektu nástroje Microsoft Visual Studio
- AW_COM_SRV.sln – soubor projektu nástroje Microsoft Visual Studio
- AW_PFD – složka se zdrojovými kódy aplikace AW-PFD,
 - AW_PFD.vcproj – soubor projektu,
 - config.h – hlavičkový soubor implementace,
 - config.cpp – zdrojový soubor implementace,
 - ctr.h – hlavičkový soubor implementace,
 - ctr.cpp – zdrojový soubor implementace,
 - database.h – hlavičkový soubor implementace,
 - database.cpp – zdrojový soubor implementace,
 - displayFeature.h – hlavičkový soubor implementace,
 - displayFeature.cpp – zdrojový soubor implementace,
 - drawObjects.h – hlavičkový soubor implementace,
 - drawObjects.cpp – zdrojový soubor implementace,

- drawString.h – hlavičkový soubor implementace,
- drawString.cpp – zdrojový soubor implementace,
- fsx.h – hlavičkový soubor implementace,
- fsx.cpp – zdrojový soubor implementace,
- global.h – hlavičkový soubor implementace,
- global.cpp – zdrojový soubor implementace,
- imgtile.h – hlavičkový soubor implementace,
- imgtile.cpp – zdrojový soubor implementace,
- input.h – hlavičkový soubor implementace,
- input.cpp – zdrojový soubor implementace,
- main.h – hlavičkový soubor implementace,
- main.cpp – zdrojový soubor implementace,
- netcom.h – hlavičkový soubor implementace,
- netcom.cpp – zdrojový soubor implementace,
- pfd.h – hlavičkový soubor implementace,
- pfd.cpp – zdrojový soubor implementace,
- picopng.h – hlavičkový soubor implementace,
- picopng.cpp – zdrojový soubor implementace,
- serviceThreads.h – hlavičkový soubor implementace,
- serviceThreads.cpp – zdrojový soubor implementace,
- settings.h – hlavičkový soubor implementace,
- terrain.h – hlavičkový soubor implementace,
- terrain.cpp – zdrojový soubor implementace,
- texgen.h – hlavičkový soubor implementace,
- texgen.cpp – zdrojový soubor implementace,
- tile.h – hlavičkový soubor implementace,
- tile.cpp – zdrojový soubor implementace,
- tunnel.h – hlavičkový soubor implementace,
- tunnel.cpp – zdrojový soubor implementace.
- AW_COM_SRV – složka se zdrojovými kódy aplikace AW-COM-SRV
 - fsx.h – hlavičkový soubor implementace,
 - fsx.cpp – zdrojový soubor implementace,
 - gpx.h – hlavičkový soubor implementace,
 - gpx.cpp – zdrojový soubor implementace,
 - main.cpp – zdrojový soubor implementace,
 - netcom.h – hlavičkový soubor implementace,
 - netcom.cpp – zdrojový soubor implementace,
 - netcomsrv.h – hlavičkový soubor implementace,
 - netcomsrv.cpp – zdrojový soubor implementace,
 - COMSRV.vcproj – soubor projektu.

Ve složce **Text** se poté nachází elektronická verze diplomové práce. Jedná se o soubor xrydlo2.pfd

Příloha B - Možnosti spuštění aplikace

Aplikaci je možno spustit pomocí skriptu AW_PFD.bat, která spustí aplikaci primárních letových displejů a AW_COM_SRV.bat která spustí server a začne přehrávat sekvenci z GPX souboru.

Oba skripty jsou spustitelné v prostředí Microsoft Windows. Pro komunikaci se simulátorem X-Plane je připraven soubor AW_COM_SRV_XPLANE.bat, který spustí server tak, aby umožňoval komunikaci se simulátorem X-Plane. Jeho zkušební verzi je možno zdarma stáhnout z internetu.

Podrobnosti ke spuštění jednotlivých aplikací a instalaci pluginu pro X-Plane se nachází v příslušných souborech README ve složce Aplikace na přiloženém CD.

Příloha C -Popis uživatelského rozhraní



Obr. C. 1 – Přehled prvků uživatelského rozhraní primárního letového displeje

- | | | |
|--|---|---|
| 1. Ukazatel rychlosti | 13. Ukazatel množství paliva v pravé nádrži | 22. Ukazatel zvoleného kurzu |
| 2. Ukazatel výšky | 14. Hodnota nastavené zarážky rychlosti | 23. Tlačítko pro zobrazení zarážek |
| 3. Ukazatel vertikální rychlosti (variometr) | 15. Ukazatel požadované změny rychlosti | 24. Tlačítko pro nastavení QNH |
| 4. Indikátor horizontální situace (gyrokompas) | 16. Zarážka rychlosti | 25. Tlačítko pro zapnutí systému TAWS |
| 5. Stupnice kopení | 17. Ukazatel skutečné rychlosti | 26. Tlačítko pro zobrazení a skrytí mapy |
| 6. Stupnice klonění | 18. Hodnota nastavené zarážky výšky | 27. Přiblížení mapy |
| 7. Mini-mapa | 19. Zarážka výšky | 28. Oddálení mapy |
| 8. Relativní příčný sklonoměr | 20. Ukazatel požadované změny výšky | 29. Ukazatel venkovní teploty |
| 9. Ukazatel výkonu motoru | 21. Aktuálně nastavena hodnota QNH v hPa | 30. Indikátor aktuální pozice na umělém horizontu |
| 10. Ukazatel otáček motoru | | 31. Ukazatel aktuálního času |
| 11. Ukazatel množství paliva v levé nádrži | | 32. Tlačítko pro vypnutí aplikace |
| 12. Ukazatel průtoku paliva | | |

Příloha D -Komunikační protokol a posílané veličiny

Zkr.	Jedn-otka	Název angl.	Název česky	Doplňující popis
LON	°	Longitude	Zeměpisná délka	
LAT	°	Latitude	Zeměpisná šířka	
PIT	°	Pitch angle	Úhel klopení	
BAN	°	Bank angle	Úhel klonění	
HEA	°	Heading	Kurz magnetický	
ALT	ft	Altitude	Výška	
ALTP	ft	Altitude Pressure	Výška tlaková	Výška vypočtená ze snímačů statického tlaku. Preferovaná.
ALTX	ft	Altitude X-Sens	Výška X-Sens	Výška získaná s GPS ze zařízení X-Sens. Záložní.
GAL	ft	Ground altitude	Výška země	Hodnota získávaná ze simulátoru, nyní ignorovaná hodnota, která je dopočítávána přímo z terénu v displejích.
IAS	kn	Indicated air speed	Indikovaná dopředná rychlost	
IASP	kn	Indicated air speed Pressure	Indikovaná dopředná rychlost tlaková	Rychlost vypočtená ze senzorů dynamického tlaku. Preferovaná.
IASX	kn	Indicated air speed X-Sens	Indikovaná dopředná rychlost X-Sens	Hodnota získaná z GPS ze zařízení X-sens. Jedná se o GS(Ground Speed, rychlost vzhledem k zemi). Slouží jako záložní veličina.
TAS	kn	True air speed	Skutečná dopředná rychlost	
PWR				
RPM	ot./m in	Engine RMP	Otáčky motoru	
ACC	G	Acceleration	Zrychlení/Přetížení	
HCM	ft	AP altitude	AP výška	Autopilot nastavení výšky

VCM	kn	AP airspeed	AP rychlost	Autopilot nastavení rychlosti
VS_	ft/min	Vertical speed	Vertikální rychlost	
FFL	l/min	Fuel Flow	Průtok paliva	
GS_	kn	Ground speed	Rychlost vzhledem k zemi	
TMP	°C	Temperature outside	Venkovní teplota	
AOS	°	Angle of side slip	Kulička	Nastavení kuličky
GPS	°	GPS course	GPS kurz	
LFU	l	Left fuel tank	Levá palivová nádrž	
RFU	l	Right fuel tank	Pravá palivová nádrž	
OPR	Bar	Oil pressure	Tlak oleje	
OTM	°C	Oil temperature	Teplota oleje	
TIM	s	Time	Čas	
PRR	rad/sec	Roll rotation rates	Úhlová rychlost klonění	
QRR	rad/sec	Pitch rotation rates	Úhlová rychlost klopení	
RRR	rad/sec	Yaw rotation rates	Úhlová rychlost zatáčení	
LAX	m/s ²	Acceleration X	Zrychlení v ose X	
LAY	m/s ²	Acceleration Y	Zrychlení v ose Y	
LAZ	m/s ²	Acceleration Z	Zrychlení v ose Z	
DR_	°	Deflection Wing Rudder	Výchylka směrového kormidla	
DE_	°	Deflection Wing Elevator	Výchylka výškovky	
DA_	°	Deflection Left Aileron	Výchylka levého křídýlka	

Tab. D. 1 – Přehled kódů pro posílání hodnot pomocí protokolu AW COM