

OPROX, a.s.

ve spolupráci s

**Katedrou leteckých elektrotechnických systémů
Fakulty vojenských technologií Univerzity obrany**

Sborník příspěvků

7. mezinárodní vědecké konference

MDS **MĚŘENÍ**
DIAGNOSTIKA
SPOLEHLIVOST
PALUBNÍCH SOUSTAV LETADEL

Brno 17. - 18. 10. 2007

ISBN 978-80-7231-281-8

Patronát nad konferencí převzal

plk.prof. Ing. Zdeněk VINTR, CSc.
děkan Fakulty vojenských technologií:

Vědecký výbor konference

předseda

plk. doc. Ing. Miloš ANDRLE, CSc.
proděkan pro studijní a pedagogickou činnost Fakulty vojenských technologií

členové

doc. Ing. Rudolf JALOVECKÝ, CSc.
vedoucí Katedry leteckých elektrotechnických systémů

prof. Ing. Zdeněk ŽIHLA, CSc.
Prorektor pro pedagogickou činnost Vysoké školy obchodní v Praze, o.p.s.
emeritní profesor Katedry leteckých elektrotechnických systémů

doc. Ing. Jindřich PLOCH, CSc.
Generální ředitel Úřadu pro civilní letectví České republiky

doc. Ing. Karel DRAXLER, CSc.
Katedra měření Fakulty elektrotechnické Českého učení technického v Praze

Ing. Vladislav MAZÚREK, Ph.D.
jednatel a výkonný ředitel společnosti MESIT přístroje, s.r.o.

Ing. Milan HRUŠECKÝ
HONEYWELL, s.r.o.

Ing. Vlastimil VÁCLAVÍK
OPROX, a.s.

Programový výbor konference

Organizační garant:

doc. Ing. Rudolf JALOVECKÝ, CSc.
vedoucí Katedry leteckých elektrotechnických systémů

Členové

Ing. Jiří Pařízek, CSc.
vedoucí skupiny elektrických a speciálních systémů
Katedry leteckých elektrotechnických systémů

kpt. Ing. Michal Dub, Ph.D.
kpt. Ing. Radim Bloudíček
kpt. Ing. Radek Bystřický
odborní asistenti Katedry leteckých elektrotechnických systémů

Úvodní slovo předsedy vědeckého výboru

Vážené dámy a pánové, příznivci letecké techniky.

Hlavním cílem již sedmého ročníku mezinárodní vědecké konference „Měření, diagnostika spolehlivost palubních soustav letadel“ pořádaného na půdě Univerzity obrany je poskytnutí nových odborných informací a výměna zkušeností v oblasti elektrotechnických, strojních, speciálních a zabezpečovacích systémů letecké techniky. Předchozí ročníky naší mezinárodní vědecké konference zároveň prokázaly, že výsledky vědeckotechnického rozvoje v letectví mohou být aplikovány i do zdánlivě nepřibuzných odvětví národního hospodářství a proto je tento seminář otevřen i široké veřejnosti a dalším zájemcům.

Věřím, že i letošní ročník mezinárodní vědecké konference se stane dobrým místem pro navázání a posílení dobrých profesních vztahů vědeckých, odborných a pedagogických pracovníků, studentů technických a zejména leteckých oborů, pracovníků obranného průmyslu i zástupců soukromého sektoru.

S přátelským pozdravem

proděkan pro studijní a pedagogickou činnost

Fakulty vojenských technologií

plk. doc. Ing. Miloš Andrlé, CSc.

Obsah:

ÚVODNÍ SLOVO PŘEDSEDY VĚDECKÉHO VÝBORU	5
MOŽNOSTI ROZŠÍŘENIA PARAMETRICKEJ KONTROLY LETECKÝCH MOTOROV	7
TECHNOLOGIE A MOŽNOSTI PROVOZU POZEMNÍ LETECKÉ RÁDIOVÉ SÍTĚ PRO ACC	13
VYUŽITIE SYNTETICKÝCH PROSTRIEDKOV PRI VÝCVIKU LETECKÉHO PERSONÁLU	19
MĚŘENÍ KAPACITY MODELÁŘSKÝCH AKUMULÁTORŮ	27
MĚŘENÍ ÚHLOVÝCH RYCHLOSTÍ POHYBU	32
SOUČASNÝ STAV VÝVOJE INERCIÁLNÍ REFERENČNÍ JEDNOTKY	36
SYSTÉM PRO KALIBRACI LETADLOVÝCH AEROMETRICKÝCH PŘÍSTROJŮ	39
VLIV POČÁTEČNÍCH PARAMETRŮ NA PREDIKCI POHYBU LETOUNU	46
ZAŘÍZENÍ PRO TESTOVÁNÍ VLASTNOSTÍ INERCIÁLNÍ REFERENČNÍ JEDNOTKY	53
INFORMAČNÍ SYSTÉM V RADIOTECHNICKÉM ZABEZPEČENÍ LETECTVA AČR	57
INFORMATIZACE METROLOGICKÉ SLUŽBY AČR	64
ANALÝZA POUŽITÍ COTS DATOVÝCH SBĚRNIC PRO POUŽITÍ V LETECTVÍ	73
NOISE AND SIGNAL PROCESSING FOR EMAT NDT	81
NÁHLAVNÍ AKUSTICKÉ SOUPRAVY A KOMPONENTY INTERKOMŮ Z HLEDISKA ZABEZPEČENÍ VYSOKÉ SROZUMITELNOSTI	88
SIMULACE VÝMETU KLAMNÝCH CÍLŮ V PROSTŘEDÍ MATLAB	92
MODELLING AND EVALUATION OF INERTIAL SENSORS	97
SYSTÉM S KMITOČTOVĚ POSUNUTOU NOSNOU V LETECKÝCH RADIOVÝCH SÍTÍCH	106
UNSCENTED KALMAN FILTER AND NAVIGATION SYSTEM	112
RADAR PROXIMITY FUSE	117
PŘENOS VIDEO DAT Z BEZPILOTNÍCH PROSTŘEDKŮ	122
ÚLOHA METROLOGICKÉ SLUŽBY AČR	128

Možnosti rozšírenia parametrickej kontroly leteckých motorov

doc. Ing. František Adamčík, CSc. – Ing. Peter Krajňák
Technická Univerzita v Košiciach, Letecká Fakulta, Katedra avioniky
email: Frantisek.Adamcik@tuke.sk, krape@pobox.sk

Resumé:

Príspevok je zameraný do oblasti diagnostiky leteckých motorov s využitím zaznamenaných údajov o teplote výstupných plynov palubným diagnostickým systémom. Vyhodnocovanie uvedených parametrov by mohlo prispieť k zvýšeniu bezpečnosti prevádzky lietadiel a zabrániť vzniku nehôd z dôvodu porúch leteckého motora.

1 Úvod

Palubné diagnostické systémy leteckej techniky zabezpečujú zber, registráciu a spracovanie prevádzkových parametrov sledovaných sústav, agregátov a prístrojov, ktoré sa ďalej spracovávajú v pozemnej časti diagnostického systému. Zo získaných informácií je možné kontrolovať stav lietadla bezprostredne po lete, ako aj štatisticky spracovávať údaje o režimových zaťaženiach sledovaných kritických prvkov pri plnení jednotlivých letových úloh. Na základe bázy znalostí je potom možné vyhodnocovať čerpanie technického života sledovaných prvkov alebo systémov individuálne pri každom lietadle. Uvedený spôsob prevádzky umožňuje prechod z doteraz prevládajúceho spôsobu údržby podľa odpracovaných hodín na údržbu podľa technického stavu. Čerpanie technického života sa sleduje najmä pri leteckých motoroch a nosných sústavách lietadiel, ktorých funkčná spôsobilosť je rozhodujúca pre bezpečnosť letu.

Pre prevádzku leteckého motora podľa technického stavu sa využíva automatizované pracovisko operátora objektívnej kontroly s programovým vybavením na spracovávanie kalibračných meraní analógových kanálov merania palubného diagnostického systému Tester. Využitie informácií, zaznamenaných počas letu lietadla, pre vykonanie následnej parametrickej kontroly je založené na osobitnom prístupe k vytváraniu databázy kalibračných hodnôt vysielateľov, údajov o parametroch vysielateľov, leteckých motorov, skrine lietadlových agregátov a hlavných častí draku lietadla.

2 Metrologická príprava k vykonaniu parametrickej kontroly

Pri stanovení ľubovoľnej úlohy kontrolovania s použitím parametrickej informácie je potrebné vykonať metrologickú expertízu tejto informácie. Jej výsledkom je zhodnotenie reálnej aditívnej, dynamickej a náhodnej zložky chyby každého registrovaného parametra a hľadanie spôsobov zvýšenia hodnovernosti informácie v procese jej prípravy k spracovaniu, ako aj počas samotného spracovania. V oblasti letectva bol realizovaný rad vedecko-výskumných prác, výsledkom ktorých bolo sformovanie matematického modelu palubných registračných prostriedkov (PRP) a modelov všetkých základných vysielateľov[2]. Na základe týchto modelov boli vykonané praktické skúmania chýb registrovanej informácie.

Vo všeobecnosti, s uvážením diskretnosti odčítania meraní vysielateľov je možné rovnicu merania j-tého vysielateľa napísať v tvare:

$$z_j(t_k) = h_j[\vec{y}(t_k), \vec{u}, t_k] + \Omega_j + v_j(t_k) \quad (2-1)$$

kde $\bar{y}(t_k)$ - vektor parametrov stavu kontrolovaného systému, \bar{u} - vektor riadiacich signálov, t_k - čas k-tého odčítania parametra, Ω_j - statická chyba j-tého vysieláča, $v_j(t_k)$ - náhodná zložka výstupného signálu vysieláča, $z_j(t_k)$ - meraná veličina parametra v čase t_k . Funkcia $h_j[\dots]$ opisuje funkčné vlastnosti a dynamické charakteristiky vysieláča. Pri vytváraní algoritmov kontroly prechodových procesov je nevyhnutné brať do úvahy dynamické charakteristiky vysieláčov v prípadoch, keď je časová konštanta porovnateľná s krokom registrácie príslušného vysieláča, $T_j \geq 1/3f_j$, kde f_j - frekvencia vzorky j-tého vysieláča

Z výskumov v oblasti kontroly leteckých systémov vyplýva, že časové konštanty väčšiny vysieláčov PRP sú menšie ako frekvencia vzorkovania príslušného parametra. Výnimkou sú vysieláče barometrickej výšky a termočlánky. Pri meraní barometrickej výšky zotrvačnosť do vysieláča vnáša rozvod statického tlaku od PVD. Túto vlastnosť je nevyhnutné brať do úvahy pri častiach letu s veľkými rýchlosťami zmeny výšky. Časová konštanta termočlánkov je v rozsahu 5 až 6 sekúnd a je nutné brať ju do úvahy pri kontrole teploty t_4 v prechodových režimoch, ak merací obvod neobsahuje korekčné diferenciálne prvky kompenzujúce dynamické oneskorenie procesu merania teploty t_4 . Pri väčšine vysieláčov PRP je možné náhodnú zložku chyby a nepresnosť vzorkovania pri premene analógového signálu na číslicový kód zanedbať. Výnimkou sú vysieláče (preťaženia a vibrácií), ktorých disperzia náhodnej zložky chyby je väčšia ako krok kvantovania ($\sigma_x > q$). Náhodnú zložku výstupného signálu vysieláčov preťaženia je potrebné brať do úvahy iba pri kontrole presne vyjadrených dynamických manévrov lietadla a náhodnú zložku vysieláčov vibrácií pri kontrole prechodových režimov motorov alebo skrine náhonov. Potom je možné meranie (1-1) j-tého vysieláča vyjadriť v tvare:

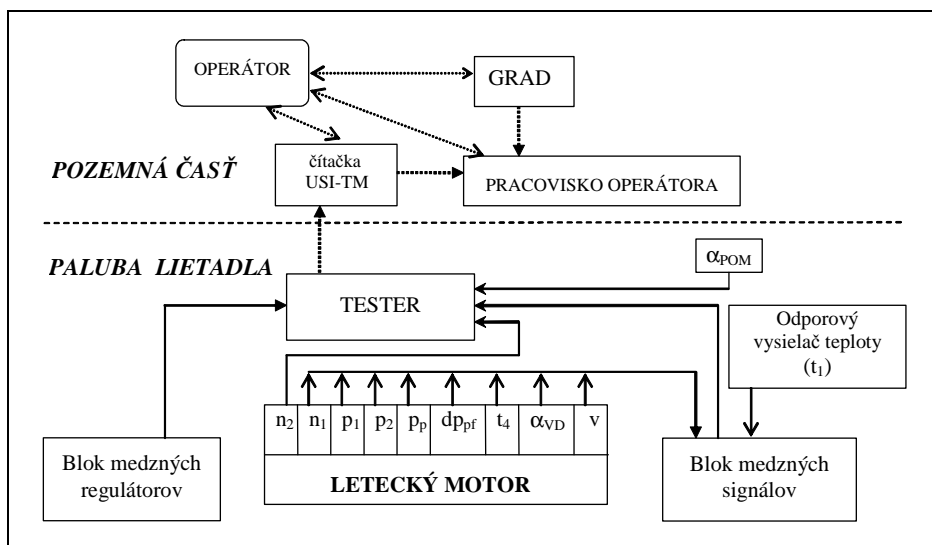
$$z_j(t_k) = h_j[\bar{y}(t_k), \bar{u}, t_k] + \Omega_j \quad (2-2)$$

Z rovnice (1-2) je zrejmé, že pre zabezpečenie efektívnosti a hodnovernosti kontroly spracovávanej informácie je potrebné vyhodnotiť a vylúčiť alebo minimalizovať ustálenú zložku chyby vysieláčov Ω_j . To je možné uskutočniť iba pri predbežne vykonaných špeciálnych experimentoch, ku ktorým v oblasti leteckej techniky je možné zaradiť kalibračné práce vykonávané na vysieláčoch a kanáloch merania PRP v prevádzke.

Pre využitie informácie zaznamenatej PRP pre parametrickú kontrolu palubných systémov bola spracovaná nová metodológia vypracovania metodiky kalibrácie vysieláčov a kanálov merania PRP. Jej podstatou je určenie spôsobu merania s cieľom zabezpečiť množstvo a kvalitu nameraných hodnôt pre stanovenie skutočných individuálnych charakteristík vysieláčov. Zostrojenie kalibračných charakteristík sa vykonáva prostredníctvom špeciálneho programového vybavenia, s použitím robustných metód stanovenia funkčných závislostí (robustná regresná analýza, konfluentná analýza, atď.). Využívanie uvedenej zdokonalenej technológie zjednodušuje proces kalibrovania optimalizáciou množstva odčítavaných údajov (kalibračných uzlov) a umožňuje odhaliť možné chyby, ktoré vznikli počas kalibrovania. Táto technológia umožňuje získať kalibračné závislosti vysieláčov a kanálov merania PRP opisujúce ich skutočné charakteristiky so súčasťou minimalizáciou ustálených zložiek chýb vysieláčov. Tieto charakteristiky nie je možné získať pomocou pôvodných metód kalibrácie kanálov PRP. Takto je možné pri tvorbe programového vybavenia na kontrolu dôležitých systémov lietadla vychádzať z toho, že kalibračné charakteristiky vysieláčov a kanálov merania PRP boli vytvorené podľa zdokonalenej technológie a ustálené zložky chýb vysieláčov vyhovujú nerovnosti $\Omega_j < q$.

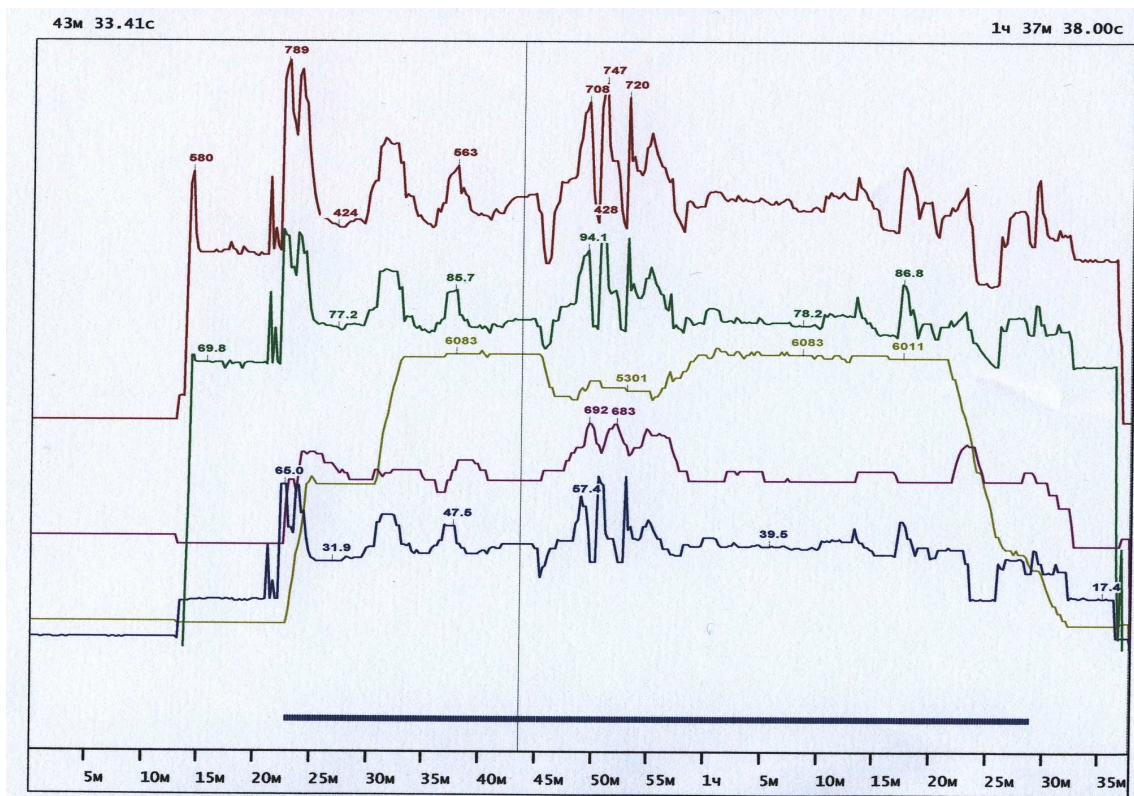
3 Diagnostika leteckého motora na základe teploty výstupných plynov

Pre prevádzku leteckého motora sú typické dynamické prevádzkové režimy, vyplývajúce z častých a rýchlych zmien režimov letu. Vychádzajúc z poznatkov získaných počas ich prevádzky sa vytvorila databáza údajov a informácií o ich poruchách a leteckých nehodách spôsobených vinou motora počas letu (konštrukčná kancelária Klimov, výrobné závody). Na základe záverov z vykonaných analýz boli vydané bulletiny a odporúčenia pre prevádzku motorov a na vykonávanie prác vedúcich k zamedzeniu vzniku nehôd vinou motora. Uvedenú expertnú bázu znalostí bolo možné využiť aj pri tvorbe algoritmov programového vybavenia automatizovaného pracoviska operátora objektívnej kontroly (obr. 1-1). Vyvinutý systém môže vygenerovať hlásenia o vzniku situácie charakterizujúcej poruchový, alebo predporuchový stav motora [1].



Obr. 3-1: Principiálna schéma spracovania parametrov leteckého motora

Z analýzy prevádzkových parametrov leteckého motora vyplýva, že jeho najkritickejšími časťami pre možný vznik poškodenia sú časti namáhané vysokou teplotou, zvlášť spaľovacia komora a prvý stupeň turbíny. Poškodenie spaľovacej komory môže v krátkom čase (v priebehu niekoľkých prevádzkových hodín) zapríčiniť deštrukciu motora, čo vážne ohrozuje bezpečnosť letu. Analýzou parametrov zaznamenaných systémom Tester sa zistila priama súvislosť medzi zmenami niektorých parametrov medzi jednotlivými letmi a poškodením spaľovacej komory. Zaznamenávaným parametrom v systéme Tester počas letu, využitým v matematických modeloch pri parametrickej kontrole je teplota výstupných plynov t_4 . Využitím parametrickej kontroly v prevádzke sa ukázalo kritérium hodnotenia poškodenia spaľovacej komory na základe teploty výstupných plynov ako veľmi produktívne. V automatizovanom pracovisku operátora objektívnej kontroly sa vykonáva diagnostika motora podľa parametra t_4 v ustálených režimoch, stanovených podľa definovaných kritérií, ktoré sú identifikované podľa príslušného algoritmu. Vykonanie parametrickej kontroly podľa parametra t_4 v prechodových režimoch sa v súčasnosti neuskutočňuje.



Obr. 3-2: Príklad priebehu teploty výstupných plynov t_4 počas letu

4 Rozšírenie parametrickej kontroly leteckého motora podľa parametra t_4

Problémom rozšírenia parametrickej kontroly leteckého motora podľa teploty výstupných plynov na prechodové režimy činnosti motora je meranie t_4 . Hodnoty t_4 zaznamenané počas letu, spracované podľa hore uvedeného metrologického prístupu, sú nepoužiteľné v matematických modeloch, popisujúcich prechodové režimy činnosti motora. Tu je potrebné použiť dynamickú charakteristiku termočlánku, ktorá vyjadruje veľký vplyv tepelnej zotrvačnosti prostredia, v ktorom teplotu meriame [3].

Matematický popis termočlánku ako dynamického člena vyplýva z podmienok rovnosti teploty vstupujúcej cez jeho povrch v čase a teploty spotrebovanej ohrevom materiálu termočlánku:

$$c.G.\frac{dT_{tep}}{dt} = \alpha.S.(T_{prostredia} - T_{tep}) \quad (4-1)$$

kde: c - koeficient termočlánku, G - hmotnosť termočlánku, α - koeficient tepelného prenosu, S - povrch termočlánku, $T_{prostredia}$ - teplota prostredia, T_{tep} - teplota spoja.

Dynamickú charakteristiku termočlánkov je možné vyjadriť obrazovým prenosom v tvare:

$$\begin{aligned}
 T \cdot \frac{de}{dt} + e &= k \cdot T_{\text{prostredia}} & F / p / &= \frac{k}{Tp + 1} \\
 e &= k \cdot (T_{\text{tep}} - T_{\text{chl}}) & T &= \frac{c \cdot R}{\alpha \cdot S}
 \end{aligned}
 \tag{4-2}$$

kde: k - koeficient zosilnenia termočlánku, e - termoelektrické napätie, T_{chl} - teplota chladného konca termočlánku, T - časová konštanta termočlánku, R - ohmický odpor termočlánku.

Pri riešení matematického modelu motora v prechodových režimoch je pre vykonanie parametrickej kontroly nevyhnutné analyzovať a vyriešiť nasledujúce špecifické problémy merania t_4 : zotrvačnosť termočlánkov, metodická chyba, prístrojová chyba spôsobená blokom medzných signálov, prístrojová chyba spôsobená blokom medzných regulátorov, rozdiel hodnoty t_4 meranej I. a II. kanáli. Hodnota časovej konštanty termočlánkov T závisí od meranej teploty, režimu činnosti motora a podmienok letu ovplyvňujúcich tlak a rýchlosť prúdu plynov v mieste umiestnenia termočlánkov. Pojem časová "konštanta" je možné chápať ako premennú závislú od okamžitých pomerov v mieste termočlánkov. Tieto pomery sa neustále menia, hlavne v prechodových režimoch, kedy dochádza k zmene výšky a rýchlosti lietadla. Okamžité hodnoty časovej "konštanty" T by bolo možné stanoviť pomocou výpočtov z parametrov letu, vyjadrujúcich podmienky letu. Súčasne je nevyhnutné preskúmať možnosti širšej eliminácie metodickej chyby. Metodická chyba je spôsobená počtom termočlánkov, ich rozložením a hĺbkou ich "zapustenia" v prúde plynov. Rozdiel hodnôt teploty t_4 meraných kanálom bloku medzných signálov je spôsobený "zaťažením" meracieho obvodu ukazovateľom v pilotnej kabíne. Tento rozdiel nie je konštantný a tiež sa mení. Pri kontrole činnosti elektronického obmedzovača je nevyhnutné tento rozdiel brať do úvahy, čo vyžaduje jeho určenie s dostatočnou presnosťou.

5 Záver

Pri riešení úlohy rozšírenia parametrickej kontroly leteckého motora na prechodové režimy je nutné vychádzať z podmienky, že nie je možné vykonať zmeny v meracích obvodoch v blokoch medzných signálov a regulátorov, ukazovateľa ITG a vysieláčov umiestnených na motore. Preto úlohou bude vytvoriť zodpovedajúci matematický model na stanovenie koeficientov prenosovej funkcie termočlánkov, prístrojových a metodických chýb a rozdielu hodnôt meranej teploty medzi I. a II. kanálom merania.

Vyriešenie problému spracovania záznamu teploty výstupných plynov umožní využiť matematické modely činnosti motora v prechodových režimoch. Rozšírenie parametrickej kontroly z hľadiska teploty výstupných plynov má kľúčový význam pri hodnotení stavu tepelne namáhaných častí motora pre identifikovanie jeho poruchových a predporuchových stavov. Toto rozšírenie by malo viesť nielen k účinnejšej diagnostike, ale výstup parametrickej kontroly by sa mohol stať pomocným nástrojom pre stanovenie medzí pre rezerv leteckého motora.

Príspevok bol spracovaný v rámci riešenia projektu KEGA č. 3/3053/05 "Tvorba softvérových modulov pre počítačom podporovanú výučbu leteckých špecializácií".

Literatura

- [1] Katalóg hlásení a algoritmov rozšírenej analýzy letovej informácie zaznamenanej systémom Tester-uz, 2005.
- [2] POLOZOV, A.A.: Aktualnyje zadači parametričeskogo kontrolja sostojanija složnych sistem i metody ich rešenija, 2006.
- [3] LAZAR, L. – GAEVSKIJ, S. A.: Základy lietadlových systémov, Skriptá, VVLŠ SNP Košice, 1983, str. 126 – 127.

Technologie a možnosti provozu pozemní letecké rádiové sítě pro ACC

kpt. Ing. Bloudíček Radim

Univerzita obrany, email: radim.bloudicek@unob.cz, tel.: +420-973-445-296

Resumé:

Článek popisuje technologie a možnosti provozu pozemní letecké rádiové sítě RCOM, která bude využita pro poskytování letových provozních služeb v kategorii ACC (od AGL do FL 095 – Terén, nad FL 095 pro OAT) ve vojenské části nově budovaného integrovaného střediska řízení letového provozu (M)IATCC. Součástí článku je i rozbor možnosti provozu rádiových stanic systému RCOM v souladu s platnými civilními a vojenskými doporučeními a standardy.

1 Současný stav letecké rádiové komunikace v ČR

Cílem letecké komunikačních služeb v letectví je poskytování spojení a radiotechnických prostředků nezbytných pro zajištění bezpečnosti, pravidelnosti a hospodárnosti letectví. Z hlediska povahy spojení a různých principů komunikačních zařízení, tzv. stanic, rozeznáváme různé typy leteckých komunikačních služeb. Letecké komunikační služby používané v letectví se podle L10/II dělí na:

1.1 Letecké pevné služby

Letecká pevná služba (Aeronautical Fixed Service) – Komunikační služba mezi stanovenými pevnými body, zvláště poskytovaná pro bezpečnost letového provozu a pro pravidelný, účinný a hospodárny provoz leteckých služeb. Využívá se zde především telekomunikačních systémů a prostředků.

Letecká pevná telekomunikační síť (Aeronautical fixed telecommunication network AFTN) – jde o celosvětový systém leteckých pevných okruhů zřízených jako součást letecké pevné služby pro výměnu zpráv mezi stanicemi letecké pevné služby se stejnými nebo slučitelnými charakteristikami.

1.2 Letecké pohyblivé služby

Leteckou pohyblivou službu (Aeronautical mobile service) – Letecká pohyblivá služba zahrnuje spojení mezi leteckými a letadlovými stanicemi nebo mezi letadlovými stanicemi navzájem. Mohou se jí zúčastnit i stanice záchranných prostředků a nouzové palubní majáky polohy k pátrání a záchraně na stanovených tíšňových a pilnostních kmitočtech.

Letecká pohyblivá služba (R) (Aeronautical mobile (R) service) – Je letecká pohyblivá služba určená pro přenos zpráv týkajících se bezpečnosti a pravidelnosti letů civilních letadel obzvláště na vnitrostátních a mezinárodních tratích.

Pro lety nad FL 245 (nad územím Francie nad FL 195) je provoz, prakticky nad celou Evropou, veden při kanálovém dělení 8,33 kHz a to včetně území ČR, v kategorii oblastního řízení (ACC/U).

VKV spojení **leteckých pohyblivých služeb (OR)** v pásmu 138 – 144 MHz je vedeno výhradně na kanálech s dělením 25 kHz, pro lety prakticky bez výškového omezení, provozem DSB AM. Pro provoz v tomto úseku jsou používány rádiové stanice se širším kmitočtovým rozsahem (většinou speciální výrobky pro vojenské účely), než jako u rádiových stanic pro RLP (118-136,975 MHz).

Spojení leteckých pohyblivých služeb (R) pro ŘLP je vedeno v úseku na VKV 118 – 137 MHz na kanálech s dělením 25 kHz pro lety do FL 245, provozem DSB AM. Provoz je veden na jednotlivém provozním kmitočtu.

KV spojení leteckých pohyblivých služeb (R) a (OR) je vedeno v souladu s normou ITU (Doplněk RR - č. 26 / OR a č. 27 / R) v pásmu cca 3 – 24 MHz na kanálech s dělením 3 kHz, provozem SSB, se šířkou kanálu max. 2,8 kHz, s výkony do 1 kW.

2 Spojovací řetězec a požadavky na jeho části dle civilních a vojenských předpisů

Spojovací řetězec sloužící pro zabezpečení letecké pohyblivé služby ve vojenské části IATCC Praha – Jeneč je charakteristický svoji rozsáhlostí plynoucí z nutnosti zajistit rádiové krytí po celém území ČR ve výškách AGL – FL 095.

Samotné radiostanice jsou umístěny na kótách, odkud je zajištěno dostatečné krytí rádiovým signálem o požadované intenzitě a nízkofrekvenční signál je k těmto kótám veden v různých datových prostředích linkovými a radioreléovými trasami, ať už stálými sítěmi AČR nebo pronajatými linkovými spoji komerčních operátorů.

V oblasti civilní legislativy řeší tuto problematiku v rámci ICAO norma Annex10/III – L10/ příloha III, Předpis o civilní letecké telekomunikační službě, část II – Systémy přenosu hlasu. Pro poskytování letecké pohyblivé služby se předpisy omezují na charakteristiky radiostanic. Charakteristiky pozemního komunikačního řetězce nejsou v těchto předpisech podrobněji rozebrány. Lze na ně usuzovat charakteristikami nízkofrekvenční části a z toho plynoucími požadavky.

2.1 Technologické možnosti zabezpečení spojení v letecké pohyblivé službě

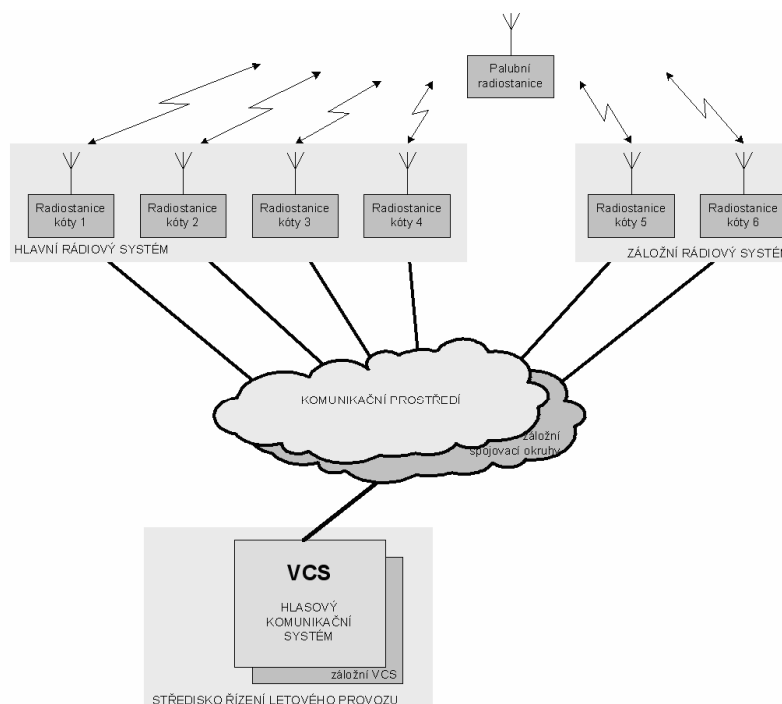
Rádiový komunikační systém vojenské části IATCC bude sloužit pro zabezpečení leteckých pohyblivých služeb ve výškách od 300m (AGL) do FL 095 pro dolní sektor - TERÉN a výškách nad FL 095 pro horní sektor - OAT. Což předpokládá využití leteckých rádiových stanic umístěných na takových kótách, odkud je zabezpečen požadavek na dosah v uvedených výškách na celém území ČR.

Jelikož se jedná o několik zdrojů rádiového signálu, je tedy nutno zabezpečit jejich vzájemnou dekorelaci. Využití pouze prostorové diverzity jednotlivých rádiových vysílačů není možné vzhledem ke skutečnosti, že difference signálů přicházejících na palubní přijímač má charakter náhodné veličiny. V menších výškách by byl možný příjem jednoho vysílače, avšak ve výškách větších, kde již jsou intenzity signálů srovnatelné, by docházelo k interferenci těchto signálů různých vysílačů pracujících na jediném nosném kmitočtu. Tento fakt by nakonec vedl ke značnému zhoršení srozumitelnosti nebo v krajním případě i k výpadku spojení.

Samotnou dekorelaci těchto signálů je následně možné provést těmito způsoby:

- územní sektorizací FIR ČR v oblasti od 300m (AGL) do FL 095 pro dolní sektor - TERÉN a výškách nad FL 095 pro horní sektor - OAT,
- využití vysílání s kmitočtově posunutou nosnou – offsetem,
- územní sektorizací s využitím offsetu pro pokrytí dílčích sektorů.

Jednoduchá struktura je komunikačních systémů, která realizuje výše zmíněné možnosti je naznačena na obrázku obr. 2-1.



Obr. 2-1: Přenosový řetězec letecké pohyblivé služby

Pro samotné rádiové spojení je využito leteckých pásem 117-144MHz, 220-399,975MHz s kmitočtovým dělením 25kHz a využitím rádiového signálu AM-DSB s modulací A3E. Technologické části stanic pro zabezpečení letecké pohyblivé služby pro tyto účely pak můžeme zobecnit na:

- Nízkofrekvenční část – realizuje konverzi akustického signálu na elektrický, jeho digitalizaci (VCS) a následně přenos k (a od) radiostanici na kótě, kde je opět jako nf signál veden do (z) radiostanice.
- pozemní rádiová vysílací část – část pozemní letecké radiostanice sloužící k vysílání rádiových signálů v leteckých pásmech,
- pozemní rádiová přijímací část - část pozemní letecké radiostanice sloužící k příjmu rádiových signálů v leteckých pásmech,
- palubní rádiová vysílací část - část palubní letecké radiostanice sloužící k vysílání rádiových signálů v leteckých pásmech,
- palubní rádiová přijímací část - část palubní letecké radiostanice sloužící k příjmu rádiových signálů v leteckých pásmech a součástí je i palubní radiostanice a jejich přepínacích bloků, spolu s elektroakustickými měniči.

2.1.1 Územní sektorizace a požadavky na komunikační systém

Předpokládá rozdělení území FIR ČR do samostatných sektorů, v nichž budou letové provozní služby poskytovány na odlišných rádiových kanálech. Dané sektory pak odpovídají dosahům rádiových vysílačů umístěných na příslušných kótách. Poskytování letových provozních služeb je pak nezávislé v každém takovém sektoru.

Výhodou takového komunikačního systému je pak jednoduché technické řešení pomocí jakýchkoliv leteckých radiostanic splňujících požadavky civilních a vojenských předpisů. Avšak podstatnou nevýhodou je větší počet pracovišť řízení a řídicích, předávání letu mezi řídicími, a tím pádem nutnost přeladovat palubní radiostanici při přeletu mezi sektory.

2.1.2 Využití vysílání s kmitočtově posunutou nosnou – offsetem

Předpokládá využití pozemních leteckých rádiových stanic na kótách, odkud je zaručen spolehlivý příjem signálu ve všech zájmových oblastech, tj. FIR ČR AGL až FL 095. Poskytování letových provozních služeb je pak na jediném rádiovém kanálu a kromě prostorové diverzity jednotlivých pozemních vysílačů je využito i částečné kmitočtové separace v rámci jednoho kanálu, tj. je využit systém s kmitočtově posunutou nosnou – režim offset.

Hlavní výhodou takového systému je, že během letu nedochází k nutnosti přeladovat palubní rádiovou stanici, tj. spojení je realizováno na jediném rádiovém kanálu. Úskalím tohoto řešení je náročnost na parametry technického vybavení jak pozemního, tak i palubního. Při nedodržení velmi přísných parametrů, zvláště pak u systémů se třemi a více nosnými, pak nedochází k dostatečné dekorelaci zdrojů, a tedy k následnému zhoršení srozumitelnosti nebo i k úplnému výpadku rádiového spojení. Dalším problémem, spíše legislativním, je skutečnost, že režim offset není v II. leteckém pásmu definován v leteckých předpisech, a to ani v civilních, ani vojenských.

2.1.3 Územní sektorizací s využitím offsetu pro pokrytí dílčích sektorů

Je to řešení kombinující výše uvedené metody. Je využitelné v případě, že počet radiostanic pracujících v režimu offset, je vyšší než je možnost jednoho rádiového kanálu nebo příjem z radiostanic pracujících v režimu offset s více nosnými vykazuje značné zhoršení srozumitelnosti, či úplně zamezí rádiovému spojení. Řešení v tomto případě znamená využití radiostanic v režimu offset s menším počtem nosných (optimálně 2 nosné frekvence) v jednom rádiové kanálu a využití příslušného počtu rádiových kanálů odpovídajících sektorům.

Hlavní výhoda této metody spočívá v poměrně nízkém počtu sektorů pro pokrytí celého území FIR ČR v příslušných letových hladinách a zároveň nedochází k přeladování palubní radiostanice příliš často.

Zůstává zde ale otázka absence legislativního krytí II leteckého pásma režimem offset.

Parametry pozemního a palubního vybavení pak odpovídá požadavkům na provoz zařízení v režimu s kmitočtově posunutou nosnou dle L10/III část II, hlava 2 a dodatku A k části II L10/III.

3 Prostředí pro přenos hlasového signálu v pozemní části spojovacího řetězce

Rádiový komunikační systém vojenské části IATCC slouží pro zabezpečení leteckých pohyblivých služeb ve výškách od 300m (AGL) do FL 095 pro dolní sektor - TERÉN a výškách nad FL 095 pro horní sektor - OAT. Což předpokládá využití leteckých rádiových stanic umístěných na takových kótách (viz obr. 3-1), odkud je zabezpečen požadavek na dosah v uvedených výškách na celém území ČR (vyjma systému Last resort).

Tento komunikační systém vojenské části IATCC sestává ze dvou částí, které využívají jedinou infrastrukturu:

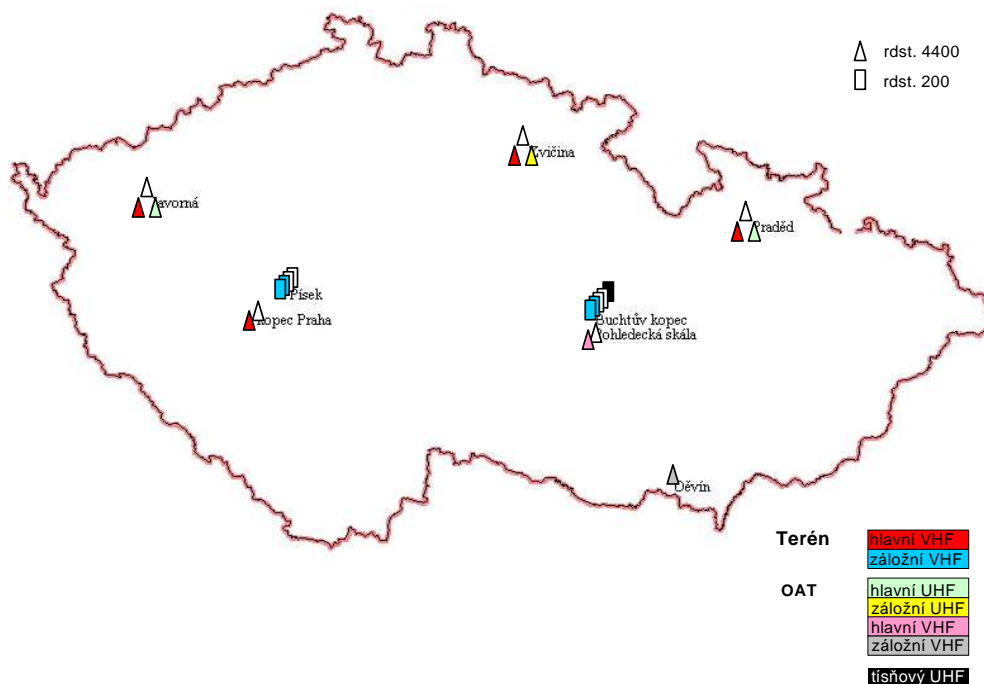
Modul RCOM – slouží k přenosu digitalizovaného hlasového signálu v paketové formě k radiostanicím a k managementu (ovládání) jednotlivých rádiových stanic na příslušných kótách.

Úkolem modulu RCOM je zajistit spolehlivou komunikaci mezi stanovištěm IATCC (VCS) a zařízením umístěným na kótě (tzv. přístupovým modulem). Vstupem a výstupem tohoto modulu je jednak audio signál pro vysílání a signály pro management radiostanice (ladění, signály PTT, SQL, atd.) Rádiové stanice na kótách jsou typu Rohde & Schwarz M3SR. Modul RCOM se skládá z podsystémů (viz. Obrázek obr. 3-2) centrálního, přenosového a přístupového modulu.

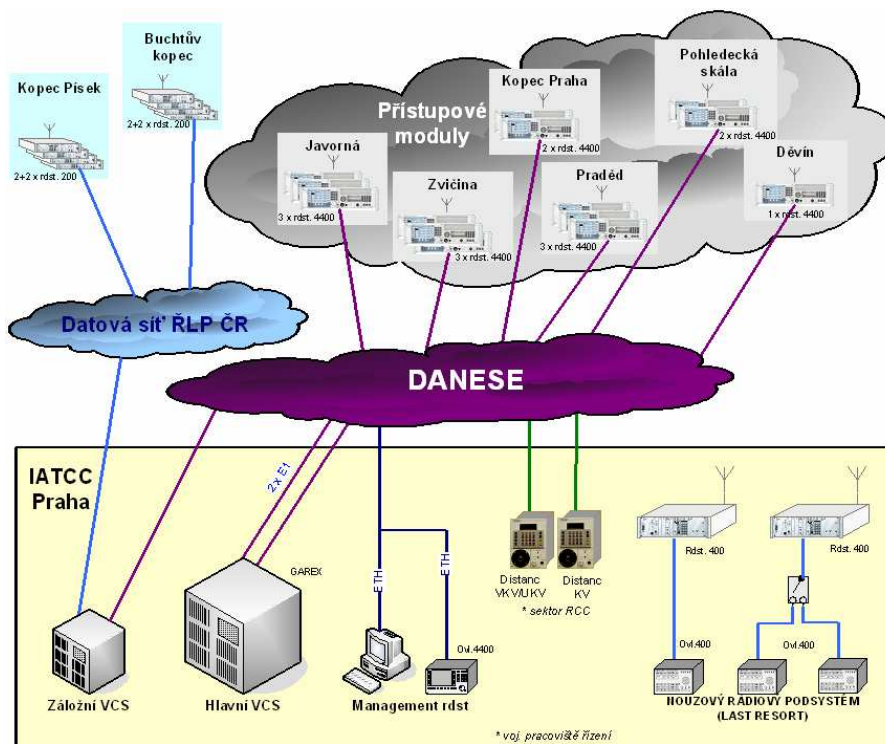
Samotnou páteř tohoto komunikačního systému tvoří síť velení a řízení vzdušných sil (DANESE - Data Network Services). DANESE používá jedinou fyzickou infrastrukturu pro všechny druhy poskytovaných služeb. Pro samotný přenosový systém DANESE je použito technologií MPLS nad ATM nad E1 G.703. Tento přenosový systém je základní a nazývá se primární spoj. Záložní spoj je realizován technologií Voice over IP. Po pronajatých linkách.

Použití ATM jako technologie pro přenos vychází z požadavků na samotnou přenosovou síť (emulace okruhů E1, spojení bod-bod, datová komunikace, servisní okruhy). ATM technologie je primárně určena pro zabezpečení videokonferencí, řeší signalizaci, QoS.

Jelikož technologie používají aplikace implementované pro technologie LAN sítí (Ethernet), je zapotřebí zajistit přenositelnost těchto aplikací i do prostředí ATM sítě a to bez nutnosti přidání softwarové podpory nativního ATM rozhraní pro tyto aplikace. Mechanismem pro aplikování IP do ATM je technologie MPLS. MPLS je nejmodernější model umožňující integraci IP a ATM technologie. Právě tento model využívá přenosový modul.



Obr. 3-1: Umístění hlavních a záložních radiostanic na kótách



Obr. 3-2: Struktura modulu RCOM

4 Závěr

Článek popisuje obecné možnosti pro realizaci ACC rádiového komunikačního systému v souladu s platnými normami a standardy. Tyto zásady byly aplikovány na konkrétní rádiový komunikační systém vojenské části nově budovaného IATCC Praha. Tento článek také ukazuje využití systému offset pro poskytování letových provozních služeb ve FIR ČR. Z požadavků na systém offset vyplývá, že nejvhodnějším způsobem provozu modulu RCOM bude kombinace hlavních sektorů s využitím offsetu pro pokrytí v těchto sektorech.

Literatura

- [1] DRHA, L. - BLOUDÍČEK, R. – JOHANIDES, P. – KOLÁŘ, J. – RYDLO, S. : ŘLP - Výzkum rušivých jevů, Continuous technical report, Air Force Research Institute in Prague, Prague, Czech Republic, 2006
- [2] BLOUDÍČEK, R. – JEŘÁBEK, J. : Usage data transfer environment for air radio communication, Proceeding of The International Scientific Conference NTRL 2006, Košice, Slovak Republic, 2006

Využitie syntetických prostriedkov pri výcviku leteckého personálu.

Ing. Róbert BRÉDA, PhD., doc. Ing. František ADAMČÍK, PhD

Letecká fakulta TU v Košiciach, email: robert.breda@tuke.sk, frantisek.adamcik@tuke.sk

Resumé:

Syntetické prostriedky výcviku, je možné charakterizovať ako prostriedky, ktoré využívajú výpočtovú a inú techniku na vytvorenie zhodného procesu, s ktorým sa môže cvičiaci stretnúť pri plnení reálnych úloh. Tieto prostriedky sa líšia prístupmi k jednotlivým formám a úrovňou kvality. Úroveň potrieb a možností jednotlivých syntetických prostriedkov výcviku je možné definovať parametrami, ktoré sú zadané užívateľom zariadenia, pre ktorého je zariadenie určené, ale hlavne vychádzajú z noriem a predpisov. Príspevok popisuje tvorbu využítie daných prostriedkov pri výcviku leteckého personálu na vybraný typ leteckej techniky, príspevok je publikovaný vďaka finančnej podpore získanej v rámci projektu schváleného grantovou agentúrou KEGA v roku 2005.

1 Úvod

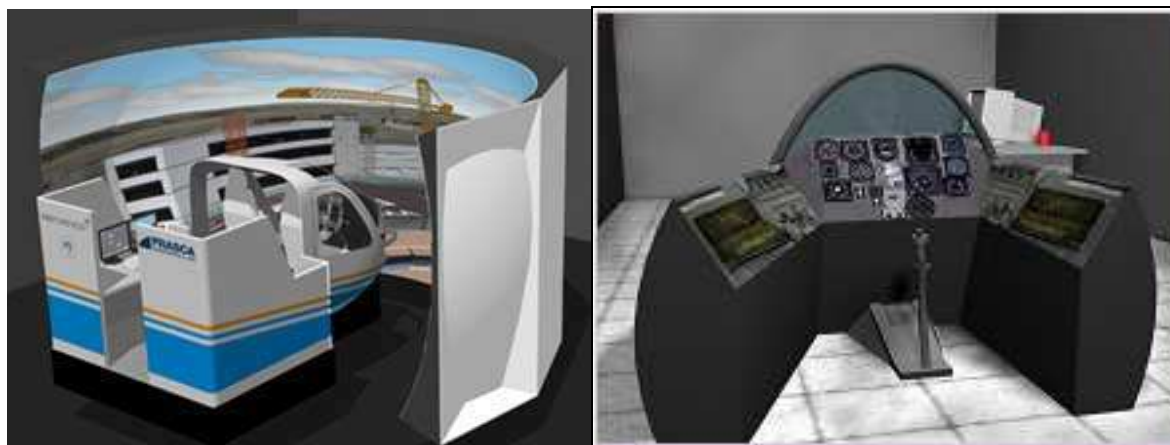
V súčasnosti, keď výpočtová technika dosiahla výkonov, ktoré komerčný užívateľ vie už len ťažko využiť, nastáva proces integrácie výcvikových prostriedkov. Tento proces definuje prístupy, normy a smer integrácie. Integrácia výcvikových prostriedkov je nevyhnutná z pohľadu ich analýzy a využitia. Významnou úlohou je klasifikácia výcvikových prostriedkov do leteckých noriem pre výcvik pilotov a leteckého technického personálu. Ich zavedenie definuje hlavne oblasť simulátorov. Simulátory ako výcvikové prostriedky definujú letecké predpisy z hľadiska úloh, ktoré sa na výcvikovom prostriedku cvičia. V rámci výroby a vývoja lietadiel a ich predaja, vznikajú konzorciá firiem, ktoré riešia výcvik v rámci samostatného článku, ktorý je súčasťou ich ponuky. Uvedeným modelom sú riešené výcvikové prostriedky pre leteckú techniku. Len týmto spôsobom je možné zabezpečiť integráciu a kvalitu, ktorú tieto prostriedky majú z pohľadu leteckých noriem splniť. Počítačom podporovaný výcvik je v súčasnosti súčasťou výcvikových centier, kde spolu so simulátormi tvorí neoddeliteľný článok pre kvalitný a moderný výcvik personálu. Integrácia systémov vo výcvikových centrách vytvára priamu väzbu s výcvikom vykonávaným na reálnom prostriedku a na syntetickom prostredí.

Syntetické prostredie výcviku je možné chápať ako modulárny systém. Jednotlivé moduly a ich úlohy sú definované v požiadavkách a určení. Postupnosť výcviku prebieha podľa metodík a určení jednotlivých modulov. Tieto moduly sú definované ako samostatné prvky podporujúce výcvik, pričom každý z týchto prvkov je možné deliť na nižšie moduly, ktoré plnia čiastkové úlohy.

Do modulov počítačom podporovaného výcviku (CBT) sa premietajú teórie a základy poznania z rôznych vedných disciplín. CBT umožňuje spracovanie týchto oblastí. Ich výsledkom sú napríklad obnovenie požadovanej informácie, rozšírenie vedomostí alebo získanie nových vedomostí z danej problematiky. Z hľadiska poznania je to efektívny prístup zvládnutia výučby zložitých systémov. Z pohľadu metodiky a hlavne podpory vizualizácie jednotlivých spracovávaných podkladov CBT môže obsahovať ľubovoľné metodické pomôcky na podporu školenia. V širokej miere sa využívajú multimedialne prvky, ktoré môžu byť do celku zakomponované aj ako prvky modelovania a simulácie.

Počítačom podporovaný výcvik musí spolupracovať s operačným softvérom preto je nutné nastaviť a pripraviť platformu tak, aby ju dostupný operačný softvér zvládal. Tento predpoklad je nutné splniť pokiaľ sa jedná o komerčný a distribuovateľný produkt. Produkty

špeciálneho určenia sa spracovávajú podľa požiadaviek zadávateľa väčšinou pre výcvikové centrá. Tieto produkty môžu obsahovať špeciálne systémy, ktoré rozširujú klasické CBT o ďalšiu hardwarovú platformu. Prepojením sa kategória výcviku rozširuje až po kategóriu *virtuálnej kabíny* čo je kategória už simulovaného prostredia. Toto simulované prostredie sa líši od simulátora kabíny tým, že neobsahuje hardvérové časti. Tieto časti sú nahradené grafickým zobrazením.



Obr. 1-1: Komplexný letecký simulátor, 3D model kabíny pre trénažer kabínových postupov

2 Uživatelské prostredie softvéru počítačom podporovaného výcviku

Užívatelia sú dostatočne spôsobilí v užívaní výpočtovej techniky, ale napriek tomu je snaha o maximálne užívateľské pohodlie pri realizácii CBT. Koncepcia tvorby CBT vychádza z filozofie interaktívneho ovládania, ktoré umožňuje užívateľovi použiť prístupy k informáciám podľa jeho potrieb. Užívateľ je tak schopný sám určovať postupnosť pri oboznamovaní sa s danou problematikou, čo umožňuje maximálne pohodlie pri oboznámení sa s novými poznatkami.

Z hľadiska realizácie je možné produkty počítačom podporovaného výcviku (CBT) rozčleniť na:

CBT ako samostatný manažment systém – je spracovaný ako softvérový produkt, ktorý možno nazvať riadiacim modulom, alebo definovaným prehliadačom, ktorý má definované vnútorné väzby celej aplikácie. Obsahuje linkové spojenia definované protokolom inštrukcií, ktoré obhospodarujú zdrojovú databázu prvkov. Manažment systému je projektovaný tak, aby nedochádzalo k zámene inštrukcií pri požadovanom kroku.

CBT produkt na platforme WEB prehliadača – produkt je definovaný ako lineárne štruktúrovaný dokument, ktorý umožňuje využiť web prehliadač na poskytnutie požadovanej informácie. Takýto produkt je nutné realizovať bez komplikovaných väzieb. Používanie týchto komerčných prostriedkov je už v súčasnosti štandardom.

CBT samostatný interaktívny produkt – samostatný produkt je definovaný svojím prostredím, v ktorom sa odohráva celá koncepcia výučby. Softvérové prostredie má vysoké nároky na výrobu textov, grafiky a iných súčastí programu.

Dôležitou vlastnosťou je aj modulárnosť softvéru a vlastnosť jednotlivých oblastí CBT ako modulov, ktoré je možné prepájať.

2.1 Hardwarová náročnosť produktov a ich úrovně

Hardvér pre potreby CBT je závislý na koncovom riešení. Kvalitné CBT vyžaduje takú platformu, ktorej hardvér je odladený, lebo sa jedná obvykle o zložitú aplikáciu. Hardvér pre potreby CBT musí zodpovedať potrebám produktu v plnom rozsahu. Ideálne je, ak sa produkt vyrába a odlaďuje na takej konfigurácii hardvéru, pre ktorý je určený. Samostatnou kapitolou sa javí oblasť hardvérového riešenia akou je distribúcia sieťovej aplikácie, ktorá vyžaduje ďalšie technické riešenia. Hardwarovú náročnosť je možné rozčleniť na základe určenia spracovávanej oblasti CBT. Delenie je možné podľa nasledujúcich kritérií:

Objem spracovaných dát – je závislý na spracovávanej problematike. Podľa objemu je možné distribuovať náročné problematiky na niekoľkých médiách. Tieto obsiahle produkty sú dodávané po partikulárnych častiach, ktoré sa spoja do funkčného celku. Celok je uložený priamo na pevnom disku počítača. Distribúcia dát je možná aj v sieťovej aplikácii, kde sú potrebné dáta umiestnené na serveri, ktorý distribuuje aplikáciu CBT na jednotlivé stanice.

Forma distribúcie a metódy použitia – počítačom podporovaný výcvik je forma spracovania výukovej problematiky podľa potrieb s metodickým základom. CBT ako ho spracovávajú aj rôzne spoločnosti má rôzne spôsoby použitia. Sú definované dva základné smery.

- a) *Distribúované CBT* - sú distribuované na dátovom médiu CD ROM, DVD ROM alebo WEB platforme. CBT distribuované na dátovom médiu je určené k okamžitému použitiu. Na distribuovanom médiu je popis minimálnych hardvérových parametrov potrebných pre správnu funkciu dátového média. V obsahu CBT môže byť umiestnený aj samotný prehliadač, ktorý riadi proces výučby, alebo sa softvér obráti na systémové prostriedky obsiahnuté v operačnom systéme. Tieto aplikácie predpokladajú, že zákazník disponuje počítačovým vybavením, ktoré umožňuje používať aplikáciu CBT. CBT spracované na WEB platforme, umožňuje vzdialenú distribúciu CBT v rámci uzavretej skupiny užívateľov. Proces zabezpečenia a požadovaných atribútov je stanovený pri spracovávaní tohto produktu.
- b) *CBT určené na špecializované učebne vybudované na výcvik* – špecializované učebne sú účelovo vybudované a vybavené technikou a sú obvykle súčasťou výcvikových centier. V učebniach určených na výcvik pomocou CBT sa využíva špeciálne technické vybavenie. Na základe metodiky použitej pri vývoji a výrobe softvéru CBT sa určí hranica diferenciacie určenia pre samostatnú prípravu a pre výučbu pod vedením inštruktora. Táto hranica je veľmi podstatná vzhľadom na nutnosť pôsobenia ľudského faktora vo vyučovacom procese / učiteľ – žiak, žiak – učiteľ/

Prepojenie jednotlivých pracovísk z hľadiska prenosu dátových štruktúr, je možná na rôznych platformách a rôznych úrovniach. Riešenie vyžaduje hlavne kvalitný a plynulý tok dát, ktorý sa dá dosiahnuť len za dodržania určitých kritérií. Najzložitejšie prenosy sú videosekvencie a animácie, ktoré musia splniť kvalitatívne a technické parametre. Ostatné súčasti CBT ako je fotografia, modely, 2D grafika a texty, sú v súčasnosti absolútne zvládnuté bez špeciálnych riešení.

Distribúcia ako nosná zložka predstavuje množstvo dát, ktoré sú schopné sa zobrazovať na presne definovaných staniciach v rámci výučby. Počítačové stanice musia zvládať zobrazovať v reálnom čase spracované dáta, ktoré tvoria obsah výukového celku. Základom týchto celkov je množstvo dát usporiadaných do definovanej štruktúry. Základom výučby celku je vždy informácia, ktorá je distribuovaná po počítačovej sieti. Informácia môže mať niekoľko foriem, ale najvýstižnejšou je grafika a jej formáty od obrázkov až po animácie. Grafické formáty predstavujú väčšinu dát počítačom podporovaného výcviku a obvykle je to viac ako 2/3 prostriedkov. Neberú sa do úvahy dátové potreby reálnych videosekvencií. Proces

spracovania grafiky pre CBT je založený na kvalitatívnej a presne definovanej platforme. Grafika zohráva jednu z hlavných úloh koncepcie počítačom podporovaného výcviku. Z hľadiska hardwarovej náročnosti je grafika závislá od grafickej karty. Grafická karta ako interpret zobrazenia danej grafiky určuje možnosti a obmedzenia zobrazenia objektu. V súčasnosti je platforma 1024x768 ako štandard. Pre distribúciu na CD nosičoch je vyhovujúce rozlíšenie 800x600, ktoré je možné použiť aj pre staršie hardvérové vybavenie.

3 Počítačom podporovaný výcvik v procese výcviku technického a obslužného personálu.

Preškolenie leteckého technického a obslužného personálu má určité špecifiká, ktoré nie je možné v žiadnom prípade zanedbať. V úvodnej fáze výcviku, t.j. vo všeobecnej časti, je možná integrácia modulov CBT určených pre pilotný a technický personál. Členenie nastáva hlavne v hĺbke požadovaných informácií zo spracovaných oblastí.

CBT pre technický personál umožňuje zvýšiť efektivitu hlavne pri pochopení zložitých zariadení a systémov. CBT umožňuje aj kvalitatívny posun výučby hlavne z dôvodu, že otvára možnosti simulovania kontrolných prístrojov a diagnostiky. Simulácia procesov umožňuje výcvik odľahčiť o čas potrebný na výcvik na reálnej technike. V procese výcviku pomocou CBT je možná príprava aj na zariadeniach, ktoré súvisia so zmenami na leteckej technike. Počítačom podporovaný výcvik je možné spracovávať aj s predstihom pred modernizáciou, čím sa urýchlí proces zavádzania nových prvkov.

Počítačom podporovaný výcvik je v oblasti vzdelávania technického personálu veľmi silný nástroj. Nie je teda veľmi prekvapivým faktom, že veľké množstvo výrobcov leteckej techniky, distribuuje spolu s predávaným produktom aj prostriedky CBT, čím sa pre zákazníka tento produkt stáva prítlačivejším.

Posun technológií a prenos IT technológií do diagnostického systému údržby podporuje potrebu nových výcvikových prostriedkov na báze CBT. V rámci počítačom podporovaného výcviku je takto možné simulovať aj procesy, ktoré nie je možné v praxi dosiahnuť žiadnym spôsobom.

3.1 Metodické aspekty používané v procese tvorby CBT.

Prístup k metodike výcviku je individuálny a závisí od ľudského faktora – inštruktora, alebo tvorcu podkladov pre tvorbu CBT. Z tohto dôvodu je nutné nastaviť proces verifikácie a odborného posúdenia niekoľkými nezávislými recenzentmi a procesom verifikácie spracovaných tém. V procese metodických prístupov v danej problematike je nutné vziať do úvahy: určenie, úlohu, prínos a očakávaný výsledný efekt. Stanovenie základných atribútov je základným stavebným kameňom pri návrhu CBT. V celom procese je definovaný a stanovený obsah spracovávanej problematiky. Koncepcia návrhu je základom pre spracovanie kvalitného modulu CBT. V procese tvorby sú stanovené niektoré prvky, ktoré vychádzajú z metodiky vyučovania. V rámci procesu sú zachovávané a vyzdvihované informácie pre zvládnutie a pochopenie danej problematiky. Celý tento proces podporovaný najmodernejšími technológiami je založený na vnímaní a následnom uchovávaní vizuálnej a zvukovej informácie. Z vedeckých štúdií je totiž známe, že vizuálnu informáciu spracuje človek 3 až 5 krát rýchlejšie oproti klasickým výkladovým metódam výučby. Vytvorenie pamäťovej informácie je tak kvalitnejšie a rýchlejšie. Výcvik postavený na tomto základe, umožní skvalitnenie a zrýchlenie preškolenia.

3.2 Novodobé prostriedky simulovaného výcviku

Novodobé prostriedky simulovaného výcviku sú priamoúmerné použitým technológiam na nových typoch leteckej techniky. Tieto technológie sa premietajú do celej škály výcvikových

prostriedkov, ktoré využívajú informačné technológie. V simulátore je nutné zachovať základné ergonomické charakteristiky komponentov, s ktorými cvičiaci na simulátore prichádza do kontaktu. Simulácia v prostredí výcviku na lietadlá 3. – 4. generácie je oveľa efektívnejšia vzhľadom k integrite systémov. Nové technologické prvky použité v letectve obsahujú integrované údaje, z rôznych systémov, ktoré zabezpečuje centrálny počítač. Výsledné hodnoty prístrojov sú v digitálnej podobe. V tomto prípade je možné hovoriť o multifunkčnom displeji, kde môžeme zobrazovať niekoľko letových prístrojov a režimov. Multifunkčný displej je priamou konzolou k centrálnemu počítaču. Aplikovaný multifunkčný displej v procese výcviku je ideálnym riešením novodobého prístupu k simulácii. Ostatné analógové prístroje a prostriedky sú definované ako záložné a nemusia byť predmetom funkčnej simulácie.

3.3 Prostriedky integrovaného syntetického prostredia

Tieto prostriedky plnia v rámci výcviku rôzne úlohy. Sledovanie plnenia úloh výcviku na týchto prostriedkoch je zložité. Sledovanie výcviku na samotnom syntetickom prostriedku je zakomponované v systéme riešenia. Integrované syntetické prostredie má riešiť tento problém a z globálneho hľadiska sledovať výsledky syntetického, praktického a teoretického výcviku.

Training Management System (TMS) – riadenie systému výcviku

TMS je definovaný ako komplexný systém pre správu výcviku. Umožňuje zníženie nákladov na prevádzku výcvikových systémov a zvyšuje kvalitu a rozsah služieb, ktoré môže ponúkať. Umožňuje *jednoduché* plánovanie kurzov, lekcí a zdrojov. Zabezpečí definovanie obsahu kurzu a zaisťuje dôležité predpoklady pre jeho absolvovanie. Integruje správu osobných údajov jednotlivých študentov a inštruktorov, sledovaním odborného rastu. Prevádza záznam výkonu, využíva kapacitu jednotlivých pracovísk, výcvikových zariadení a plánuje ich údržbu. Tvorí zostavy o zariadeniach a kurzoch personálu. Pre externý prístup umožní export všetkých dostupných typov dát, pre účely podrobnejších analýz, histórie výučby, odborného rastu a podporuje transakčné prenosy.

Global Information System (GIS) – komplexný informačný systém

GIS je globálny informačný databázový systém, ktorý úzko spolupracuje s ostatnými časťami integrovaného výcvikového systému (ITS). Tento produkt je úplne nezávislým prvkom, definovaný perifériami, s ktorými spolupracuje v rámci ITS aj s ostatnými systémami užívateľ'a. Zabezpečuje centralizovanú správu dát. Jedná sa o modulárny systém umožňujúci ľubovoľné rozširovanie vlastností a funkcií informačného systému, ktorý je zabezpečený proti odcudzeniu, či narušeniu citlivých dát. Definovanie prístupových práv k informačnému systému a jednoduchá údržba dátového skladu, je zabezpečená pomocou vlastného užívateľ'ského rozhrania. Zabezpečené „webové“ rozhranie, umožňuje riadenie informačného systému zo vzdialeného počítača. GIS obsahuje automatizovanú archiváciu dát a inteligentnú obnovu v prípade havárie, prakticky neobmedzený počet konkurenčne pripojených užívateľ'ov a môže poskytovať dynamicky aktualizované dáta pre verejný informačný systém.

Advanced Testing System (ATS) – vylepšený systém testovania

Celková aplikácia je postavená na vlastnom užívateľ'skom rozhraní. Zabezpečí tvorbu a správu otázok, testov a tematického rozpadu. ATS umožňuje tvorbu tlačových zostáv o výsledkoch študentov, správu prístupu užívateľ'om k aplikácii. Obsahuje samostatné webové rozhranie pre kontrolu výsledkov a tvorbu zostáv z ktoréhokolvek počítača v sieti. Pre splnenie týchto úloh je predpokladom zabezpečenie previazanosti systému ATS, so systémami TMS a GIS.

Flight Management Training System (FMTS) –výcvikový systém riadenia letu

FMTS je určený na simuláciu letových vlastností v režimoch automatického letu. Obsahuje simuláciu auto pilota / FMS, simuluje mechanické ovládacie prvky ako napr. klapky, sloty,

aerodynamické brzdy, podvozok a niekoľko ďalších ovládacích prvkov kabíny, umožňuje nácvik núdzových a kritických situácií, ktoré sa môžu uskutočniť na jednotlivých simulovaných systémoch, môže umožňovať nácvik štandardných postupov a postupov pri riešení kritických a nebezpečných situácií.

Je možné nahrávanie novej alebo inej verzie navigačných dát s možnosťou nahrávania a uloženia letového plánu (flight-plane). Umožňuje vykonávanie predletovej prípravy, voľbu trate, modifikáciu a obnovenie dát s režimami počas letu a po skončení letu. Poskytuje simuláciu chybových a havarijných stavov.

Virtual Cabin (VCAB) – *virtuálna kabína* – predstavuje simulačný softvér určený k výučbe pilotov, vodičov a pod. Simulácia sa zakladá na syntetickom modeli simulovaného pracoviska s možnosťou voľného pohľadu po tomto pracovisku. Simuluje fyzikálne vlastnosti predlohy. Umožňuje nácvik núdzových a kritických situácií súvisiacich so simulovanými systémami, nahrávanie aj uloženie situácie. Simulovanie vykonávaných postupov ich spomalenie alebo zrýchlenie, prerušenie simulácie a simuláciu chybových a havarijných stavov. Obsahuje aj skúšobný modul s lekciami a vlastným editorom testov.

Part Task Trainer (PTT) – *trenažér kabínových postupov* – je určený pre pokračovací a zdokonaľovací výcvik po absolvovaní výcvikových stupňov CBT a VCAB. Je určený k výučbe pilotov, vodičov a pod. v rozšírenej interaktívnej podobe oproti modulom FMST a CBT. Simulácie sa zakladajú na syntetických modeloch simulovaného pracoviska s prepojením na reálne modely alebo reálne prístroje. Umožňuje nácvik núdzových a kritických situácií súvisiacich so simulovanými systémami. Simulácia umožňuje podobne ako u FMST možnosť nahrávania a uloženia situácie, spomalenie alebo zrýchlenie simulácie, prerušenie a globálnu zmenu polohy. PTT obsahuje skúšobný modul s lekciami, vlastným editorom testov, simuláciou chybových a havarijných stavov.



Obr. 3-1: Simulácia letovej situácie na hlavnom display, trenažér kabínových postupov

3.4 Vytváranie e - learningových modulov

K tvorbe e-learningových modulov pre počítačom podporovanú výučbu avionických systémov lietadiel je možné využiť programy od spoločnosti Macromedia a to Flash MX a Authorware. Programové prostredie Macromedia Authorware integruje grafiku, zvuk, animácie, text, čím vznikajú veľmi presvedčivé multimediálne prezentácie. Authorware je optimalizovaným nástrojom, ktorého rozhranie poskytuje rýchle a jednoduché prostredie pre vývoj interaktívnych aplikácií. Metóda drag – and – drop prenášania ikon priamo na zvislú časovú os zjednodušuje prácu s týmto programom. Organizáciou ikon na tejto časovej osi určujeme poradie v ktorom ich bude program prevádzať. Rôzne typy ikon predstavujú rôzne typy objektov ako grafika, text, zvuk digitálne video a pod. Usporiadanie týchto ikon tvorí logiku projektu, jeho štruktúru a architektúru. Každá aplikácia vytvorená v Authorware môže využívať zabudované tzv. hypermediálne prvky, ktoré značne zjednodušujú navigáciu a

orientáciu v programe. Medzi najvýznamnejšie z nich patrí tvorba hypertextových odkazov, fulltextové vyhľadávanie a triedenie. Proces programovania zjednodušuje aj použitie knižníc a modelov. Kým knižnice slúžia pre centrálnu uloženie často používaných multimediálnych prvkov (zvuky, grafika, atď.), modely sú sekvencie často používaných interakcií a programových štruktúr. Každý model je možné uložiť a v prípade potreby ho vložiť do rozpracovanej aplikácie a doplniť o požadovaný obsah. Authorware obsahuje nástroje dovoľujúce do zvolenej aplikácie integrovať text, 2D/3D grafiku, digitálne i analógové video a zvuk. Keďže všetky multimediálne prvky môžu byť uložené ako externé súbory (tzn. nemusia byť priamou súčasťou aplikácie) ich integrácia nevyžaduje zmeny v štruktúre programu. O správu a kontrolu prepojenia externých súborov s aplikáciou sa stará modul Media Browser. Macromedia Flash MX je profesionálny nástroj na vytváranie interaktívnych plne animovaných aplikácií určených prevažne pre web rozhranie. Aplikácie v Macromedia Flash sú založené na vektorovej grafike, ale môžu v sebe skrývať aj importované zvuky, videosekvencie a bit mapy. Animácie v Macromedia Flash sú akousi obdobou Java Appletov. V tomto programovom prostredí je možné vytvárať interaktívne aplikácie, v ktorých možno pomocou klávesnice a myši zadávať informácie, presúvať sa na iné časti dokumentu a vykonávať množstvo iných operácií. Macromedia Flash poskytuje niekoľko objektov - movie clipov, ktoré sú nazývané tiež komponenty, a sú vhodné pri vývoji zložitejších aplikácií.

4 Záver

Počítačom podporovaný výcvik prechádza vývojom, preto je dôležité pripomenúť, že najväčšiu úlohu zohráva určenie základných atribútov vzdelávania. To znamená cieľ a úloha spracovanej problematiky. Metodika spracovávanej problematiky by mala mať vzostupnú tendenciu od jednoduchšieho k zložitejšiemu. Celkový prínos produktu musí spĺňať stanovené parametre. Dôležitou úlohou je aj určiť presné miesto počítačom podporovaného výcviku v procese výučby, a to nie len samotného školenia, ale aj udržiavacieho vedomostného procesu, ktorý je definovaný seba vzdelávaním pilotov a technikov. Takýto prostriedok potom spĺňa systém profesionálneho prístupu k riešeniu a následnému profesionálnemu rastu školeného personálu. Celkové technické riešenia sú závislé v akej kompozícii školení seminárov a výučbe má byť umiestnený produkt CBT. Celkový produkt je možné podporiť kvalitným technickým riešením, ktoré umožní rozšíriť škálu použitia produktu a následne maximálne využitie a efektívnosť.

Literatura

- [1] Jané's review. 1999 Simulation and Training System (JSTS) part COMPUTER – BASED TRAINING DEVICES AND SYSTEMS Braun, P.: Das Aircrew Selection System, Gesellschaft für Angewandte Psychologische Forschung, Würzburg, 1995,
- [2] EUROCONTROL, Guidelines for the Production of Computer Based Training HUM.ET.ST07.2000-GUI-01
- [3] Gerathewohl, S.: Leitfaden der militärischen Flugpsychologie, Verlag für Wehrwissenschaften, München 1987, 195-197
- [4] Hunter, D.R., Burke E.F.: Handbook of Pilot Selection, Avebury Aviation, 1995
- [5] DIGITAL MEDIA. Macromedia Flash: Uživatelská příručka [online]. Flash Olomouc: Digital Media ČR, 2000.
- [6] Sanders A.F.: Simulation as a tool in the measurement of human performance, ergonomics, 34, 8, 995-1025
- [7] Král, J. Computer based training v integrovanom syntetickom prostredí výcviku, Dizertačná práca 2004, Košice

- [8] Kantor, J.E. and Carretta T.R.: Aircrew Selection System, Aviation, Space and Environmental Medicine, 1988, 32-38
- [9] Kyung S. P. and Sang W. L.: A computer-aided aptitude test for predicting flight performance of trainees, Human Factors, 1992, 34(2), 189-204
- [10] Shmotkin D.: The validity of simulated prediction of behavior, The Journal of General Psychology, 118(4), 317-325

Príspevok vznikol na základe schváleného projektu Kultúrnou edukačnou a grantovou agentúrou MŠ SR (KEGA) v roku 2006 č. p. 3/4129/06 s názvom Integrované navigačné systémy.

Měření kapacity modelářských akumulátorů

npor. Ing. Radek Bystřický

Univerzita obrany, email: radek.bystricky@unob.cz, tel.: +420-973-445-234

Resumé:

Příspěvek se zabývá měřením nabíjecích a vybíjecích charakteristikách modelářských Ni-Mh akumulátorů. Ukazuje na získaných charakteristikách vybrané vlastnosti těchto akumulátorů a pokouší se odpovědět na otázku zda má běžný uživatel možnost zaregistrovat tzv. paměťový efekt.

1 Úvod

Niklmetalhydridové akumulátory NiMH vycházejí z niklkadmiových NiCd, ale jsou navrženy tak, aby měly při stejném objemu vyšší kapacitu a byly menším nebezpečím pro životní prostředí. Kladná elektroda je stejně jako NiCd opět tvořena niklem, popřípadě může být z hydroxidu-oxidu nikelnatého $\text{Ni}(\text{OH})_2$. Zápornou ovšem tvoří hydrid směsi kovů jejichž složení pochopitelně výrobci těchto akumulátorů tají. Elektrolytem je hydroxid draselný.

NiMH má nominální napětí (1,2–1,25 V) a stejný režim nabíjení, mají kapacitu vyšší asi o 40 % a relativně plochou vybíjecí charakteristiku. Použitelnost NiMH akumulátorů v extrémních klimatických podmínkách není příliš dobrá (podle výrobců je funkčnost omezena na teploty těsně pod bod mrazu). Vybíjecí proudy NiMH akumulátory jsou omezena na přibližně dvojnásobek až trojnásobek nominální kapacity.



Obr. 1-1: NiMH akumulátor X-cell 3600mAh

Skladovat je lze v nabitém i vybitém stavu, jen je nutné několikrát během roku provést celý kapacitní cyklus, jinak může dojít vlivem chemických reakcí ke znehodnocení elektrod akumulátoru a tím i k jeho zničení. Pro skladování je nejlepší pokojová teplota a sucho.

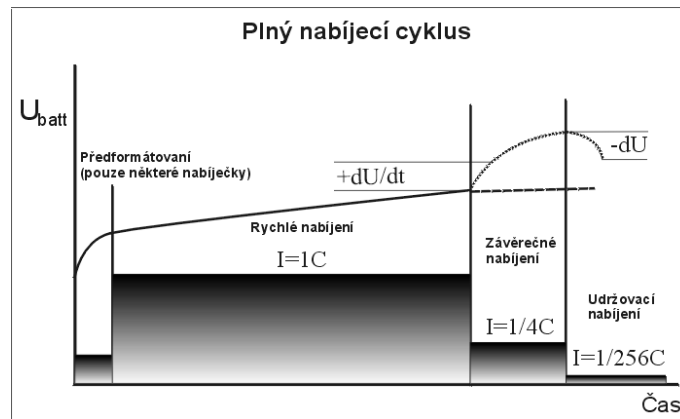
2 Teorie nabíjení

Pomalé nabíjení je základní a bezpečná metoda nabíjení akumulátorů. Spolehlivě funguje u plně vybitých akumulátorů. Nabíjecí proud se pohybuje v rozmezí 1/20 až 1/10 nominální kapacity akumulátoru po korespondující dobu, tedy cca 12 - 24 hodin, údaje jsou obvykle uvedeny výrobcem na akumulátoru. Pro stejnou kapacitu článku a jiný nabíjecí proud ho musíte nechat v nabíječce o odpovídající dobu déle či méně. Velkou výhodou je, že pokud v nabíječce akumulátory zapomenete sice dojde k ohřevu akumulátoru, ale díky relativně malému proudu se zpravidla hned nezničí a máme tedy jistou časovou rezervu.

Zrychlené nabíjení se používá u moderních článků, kdy se nabíjecí proud pohybuje v rozmezí 1/3 až 1/5 kapacity článku po dobu 3 až 6 hodin. Tady již není na škodu mít i hlídání teploty článku a hlavně dodržet předepsaný čas nabíjení, jinak dojde k velkému ohřátí akumulátoru a ke zničení může dojít velmi rychle. Nabíječky s kontrolou nabíjení podle změny napětí v čase dU/dt nabíjejí tímto způsobem.

Zde je nutné si uvědomit typ nabíječky kterou máme k dispozici. Většina levných nabíječek sice hlídá čas, ale ten je je hlídán pouze časovačem (pojistka pro sklerotiky), nikoliv sledováním křivky napětí a proud je nastaven na jakousi univerzální hodnotu bez ohledu na kapacitu článku. Tedy nastavený čas nabíjení nekoresponduje s nabíjecím proudem a kapacitou akumulátoru.

Konkrétní zkušenost uživatele takovéto „Inteligentní nabíječky“: „nabíječka nabíjí zrychleně cca 2 hodiny proudem 300 mA (mikrotužkové články to ničí, tužkové jsou za mezními parametry ale pár desítek cyklů vydrží). Pak se přepne na dobíjení nad 100% kapacity, málo výkonné články jsou již spolehlivě přebíjeny a hřejí se, výkonné naopak dobíjeny na plnou kapacitu. To je ukončeno po cca 3 - 4 hodinách bez ohledu na to, jakou kapacitu má vložený článek.“[1]



Obr. 2-1: Citlivá osa a rozsah měření

Rychlé nabíjení si vynutila daždodenní potřeba. Mám-li například model který „vydrží“ pracovat z akumulátoru o kapacitě 3600mAh pouze 15 minut, nebudu ochoten nabíjet akumulátory 6 hodin a čekat tuto dobu než se opět nabije, abych je mohl opět používa. Proto se začaly vyrábět akumulátory s nabíjecími proudy rovnými jejich nominální kapacitě (nebo dokonce větším). Příslušná nabíječka je pak schopná je plně nabít do cca jedné hodiny. Zde je nutné podotknout že v tomto případě musí být 100% kontrola nad napětím i teplotou akumulátoru. Rozhodně nedoporučuju takto nabíjet obyčejné akumulátory.

3 Vlastní měření

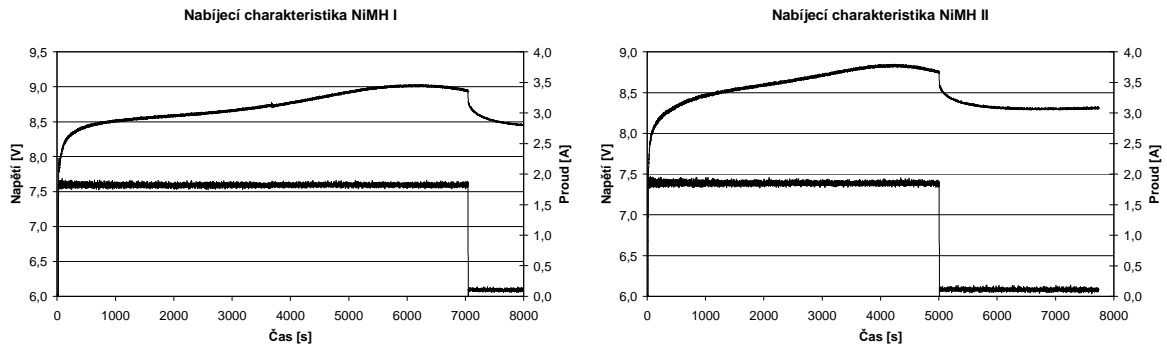
Vlastní měření jsem provedl na NiMH akumulátorových RC-pacích X-cell o nominálních kapacitách 3600mAh. Výrobce u této baterie povoluje nabíjení proudy od 360mA do 3600mA. Hodnoty časů i korespondujících proudů jsou v tab. 3-1.

nabíjecí proud	nabíjecí čas udaný výrobcem	skutečný nabíjecí čas	teoreticky dodaná kapacita	skutečně dodaná kapacita
360 mA	14 h	-	5040	-
1800 mA	-	1,94 h	-	3500
3600 mA	1,5 h	-	5400	-

Tab. 3-1: Parametry naměřené a udávané výrobcem

Pro nabíjení jsem zvolil časově nepříliš náročný nenáročný nabíjecí proud o hodnotě 1800mA. S touto hodnotou proudu by měl být akumulátor nabit za cca 2h. Pro nabíjení byla zvolena automatická nabíječka Graupner Ultramat 14. Nabíječka byla nastavena na hlídání dU rovno 15mV.

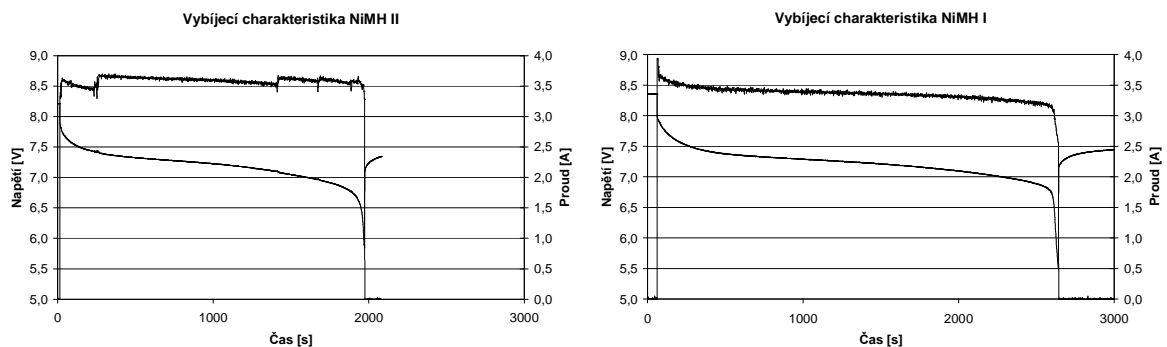
Na obr. 3-1 jsou zobrazeny průběhy napětí a proudu v průběhu nabíjení. Teploty baterií se při nabíjení pohybovaly do 45°C. Jak je z obrázků patrné nabíjecí charakteristiky odpovídají teoretickým poznatkům.



Obr. 3-1: Nabíjecí charakteristiky NiMH akumulátorů

Pro vybíjení jsem původně chtěl zvolit proud kterými jsou tyto akumulátory v mém modelu používány, (10A), ale nakonec jsem byl donucen laboratorní základnou k přehodnocení a záměrně jsem zvolil vybíjecí proud jako dvojnásobek nabíjecího. Zde jsem se rozhodl provádět oba dva způsoby vybíjení a to:

- do konstantní zátěže (proměnný vybíjecí proud)
- do proměnné zátěže (konstantní vybíjecí proud)



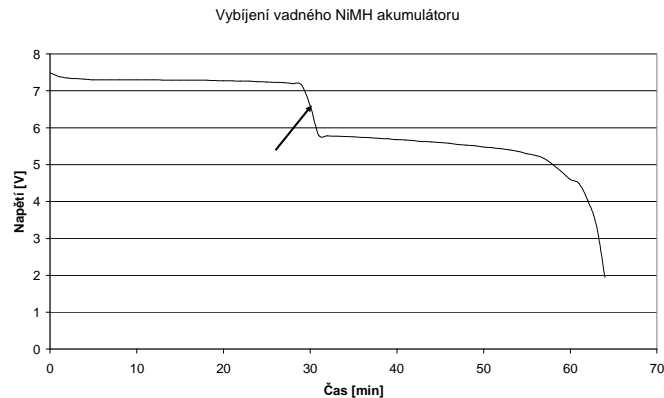
a) Konstantní proud

b) Konstantní zátěž

Obr. 3-2: Vybíjecí charakteristiky NiMH akumulátorů

Jak je z charakteristik patrné akumulátory NiMH mají velmi tvrdou vybíjecí charakteristiku. Rovněž je patrná tzv. náhlá smrt u akumulátoru který dosáhne konce své kapacity. Tento jev je zvláště pro RC modeláře velmi nebezpečný. Model totiž může bez jakéhokoli předchozího varování přestat reagovat. Následky si jistě každý umí představit. Pro doplnění uvádím charakteristiku akumulátoru u kterého je jeden z článků vadný. Tento jev je taktéž nemožné předpovědět a je proto nezbytná pečlivá údržba akumulátorů. Po krátkém vybíjení totiž dojde k totálnímu poklesu napětí na vadném článku a akumulátor tak přijde o cca 1,2V výstupního

napětí. Pokračování vybíjení za tento bod může vadný článek kompletně zničit a může dojít i k „výbuchu“ baterie.



Obr. 3-3: Vybíjecí charakteristik NiMH akumulátoru s vadným článkem

Původně jsem se chtěl rovněž zabývat tzv paměťovým efektem, který je neustále zmiňován ve spojitosti s nabíjením akumulátorů. Tento „efekt“ je natolik zakořeněný, že jsem se o něj logicky musel zajímat.

Podle sesbíraných dat z internetu a od výrobců akumulátorů dochází ke vzniku paměťového efektu po zhruba stovce neúplných vybíjecích/nabíjecích cyklů u NiCd akumulátorů. Výsledný rozdíl v konečném napětí se liší o setiny voltu a kapacita o méně než 3%. U NiMH akumulátoru je tento jev mnohem větší než NiCd, u nich k němu dochází po cca 20-30 neúplných cyklech, výsledný pokles kapacity je o něco větší. Vcelku rozšířený omyl je i to, že kapacita takového akumulátoru je nadobro ztracena, skutečnost je však jiná. Akumulátor lze opět dobít na nominální kapacitu několika úplnými kapacitními cykly.

Vzhledem k nedostatku času jsem provedl pouze 15 kapacitních cyklů na obou sadách akumulátorů, kdy jednu sadu akumulátorů jsem vybíjel na 6V a druhou sadu na 6,5V. Po těchto 15 měřeních jsem provedl kompletní vybití obou baterií. Výsledná charakteristika odpovídala charakteristikám na začátku oněch 15 kapacitních cyklů. Po 15 neúplných vybití tedy nebyl paměťový efekt zaznamenán. Normální uživatel se tedy dle mého soudu s paměťovým efektem nemá šanci potkat.

4 ZÁVĚR

Ke kapacitním cyklům NiMH akumulátorů by měly být podstatně výrobcem uváděné nabíjecí a vybíjecí proudy. Tepelné zatížení článku, ať už velkými nabíjecími nebo vybíjecími proudy, teplotou okolí či přebíjením může mít katastrofální následky. Teplo vyvíjené při činnosti akumulátoru je ve skutečnosti příčinou snižování využitelné kapacity a lze jím při překračování povolených hodnot (cca 50°C) akumulátor zcela zničit.

Perličkou a novinkou i pro samotného autora tohoto příspěvku bylo nalezení odkazu tvrdícího že: „Nejvyšší životnosti akumulátorů NiCd a NiMH dosáhneme při splnění podmínky vybíjení jen o 25% kapacity a s následným nabitím. Pak lze s NiCd a NiMH akumulátory dosáhnout neuvěřitelného počtu až 5000 cyklů. Při plném vybíjení je zpravidla zaručeno 500 cyklů, při vybíjení o 75% však už více než 1000 cyklů, při polovičním vybíjení článků stále téměř 2000 cyklů vybití/nabití.“[1]

LITERATURA

- [1] HLINÁK, Jan. *Nabíjení a nabíječky : Teoretický úvod, snaha o vymýcení nepravd o akumulátorech* [online]. 2001 , 25.2.2001 [cit. 2007-09-26]. Dostupný z WWW: <<http://www.paladix.cz/clanky/teoreticky-uvod-snaha-o-vymyceni-nepravd-o-akumulatorech.html>>.
- [2] EISMIN, Thomas K. *Aircraft electricity & electronics*. 5th edition. Orion Place : Glencoe McGraw-Hill, 2002. 417 s. ISBN 0-02-801859-1.

Měření úhlových rychlostí pohybu

npor. Ing. Radek Bystřický

Univerzita obrany, email: radek.bystricky@unob.cz, tel.: +420-973-445-234

Resumé:

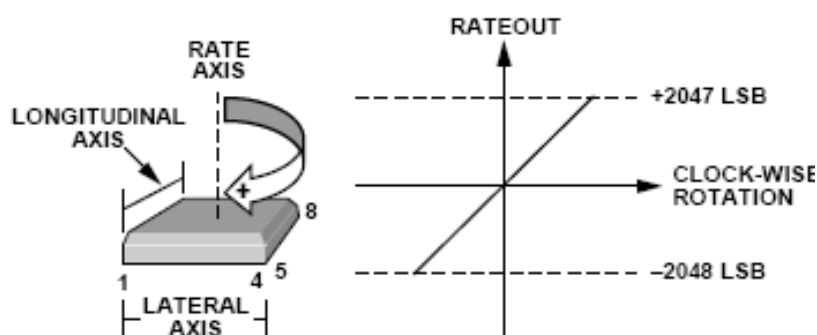
Příspěvek se zabývá návrhem a měřením úhlových rychlostí létajícího prostředku. Ke konstrukci měřící jednotky jsou využity snímače MEMS a mikroprocesor rodiny 51. Komunikace se zemí je obsloužena Wi-fi rozhraním. V PC pak probíhá následné zpracování nasnímaných letových dat respektive úhlových rychlostí kolem třech základních os.

1 Úvod

Vývoj snímačů respektive použití snímačů v oblasti měření parametrů letu ukazuje jasný trend směrem k mikroelektromechanickým snímačům tzv. MEMS namísto drahých a rozměrnějších gyroskopů s rotujícími elementy. Důvod tkví ve snižování hmotnosti a ceny. Příkladem může být průzkumný letoun U-2 u kterého navýšení hmotnosti o jeden kilogram vede ke snížení dostupu o 0,6 m. Tento fakt je o to důležitější u maket létajících prostředků, v mém případě vrtulníku Raptor jehož nosnost je prakticky limitována hodnotou 1,5 kg. Rovněž možnost komunikace po jediné sběrnici snižuje množství nezbytné kabeláže a umožňuje například velmi jednoduché zálohování jednotlivých prvků. Z tohoto důvodu padla volba snímače na ADIS16100 firmy Analog Devices těžící s výše uvedených faktů.

2 Fungování snímače

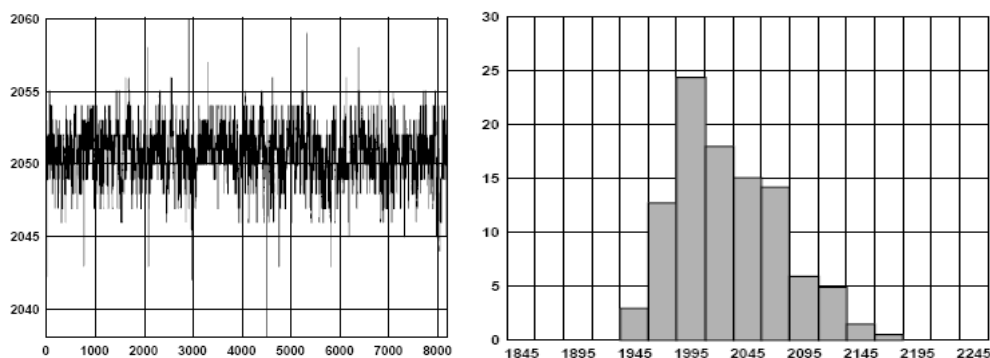
Zmiňovaný snímač měří úhlové rychlosti otáčení kolem citlivé osy a patří do kategorie mikroelektromechanických snímačů. Podle výrobce má být schopen měřit úhlové rychlosti v rozsahu $\pm 300^\circ/\text{s}$, je vybaven rozhraním SPI a pracuje s 5 V logikou.



Obr. 2-1: a) Citlivá osa

b) Rozsah měření

Datasheet rovněž obsahuje kromě základních charakteristik i statistické zpracování typického snímače. Jako příklad zde uvedu jen ty absolutně nejdůležitější. Zvolil jsem náčrt citlivé osy obr. 2-1 a a celkový rozsah měření na obr. 2-1 b, statistický vzorek naměřených dat pro nulový pohyb na obr. 2-2 a, a konečně statistické zpracování naměřených dat na obr. 2-2 b.



Obr. 2-2: a) Statistický vzorek dat

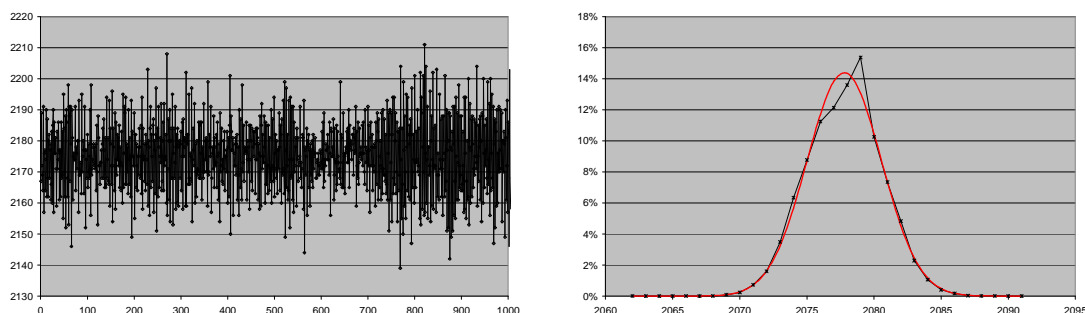
b) Histogram vzorku dat

3 Hardwarová konstrukce a provedení experiment

Zmiňované snímače (testovací desky) jsou umístěné do jednotlivých stran kostky coby základní kostry, zabezpečující jejich základní ustavení do třech os souřadného systému. Pro potřeby tohoto příspěvku byly však měřeny ve stejné ose aby byly výsledky porovnatelné. Tato měřicí kostka je zapojena do univerzálního mikroprocesorového setu (autorova vlastní výroba). Snímače jsou programově obslouženy mikroprocesorem AduC-841 firmy Analog devices vybaveným rozhraním SPI. Vzhledem k tomu, že výsledný produkt má být namontován na létající prostředek již od začátku je pro vysílání dat použita bezdrátová linka na bázi Wi-Fi. Zde se jedná o převod RS232-Wi-fi a zpět. Pro rychlé odečítání jsou naměřená data posílána na LCD display v podobě binárního kódu z důvodu šetření času nezbytného na převod či na matematické operace, které v této fázi nejsou nutné.

Jako velký problém se při sestavování funkčního vzorku ukázal být výrobcem použitý konektor 2x10 pinů s mezerou 2 mm místo obvyklých 2,54 mm který velmi znesnadnil integraci k autorově experimentální desce. O to větším překvapením pak byla bezvadná komunikace mezi mikroprocesorem a jednotlivými snímači, neboť vestavěné SPI rozhraní na mikroprocesoru a konkrétní součástce obvykle nepracuje 100 % a je potřeba delšího ladění a hledání správných parametrů SPI. Druhý problém bylo oživení komunikace mezi dvěma zařízeními Wi-Fi zařízeními.

Po překonání počátečních problémů s navázáním komunikace následovalo první uskutečněné měření které bylo bez pohybu. Jednalo se tedy o ověření nuly měření nezbytné k zřejchování snímače. Obslužná aplikace byla optimalizovaná pro maximální rychlost měření, a byly tak vynechány všechny zbytečné rutiny kromě přímého zobrazení na LCD display. Celkem bylo změřeno 24103 vzorků. Na obr. 3-1 a je pro ilustraci zobrazeno prvních 1000 vzorků.



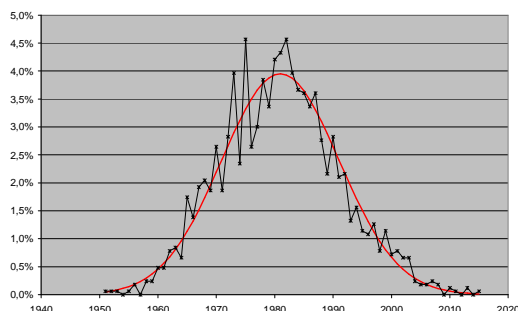
Obr. 3-1: a) Ověření nuly měření

b) Histogram nuly měření

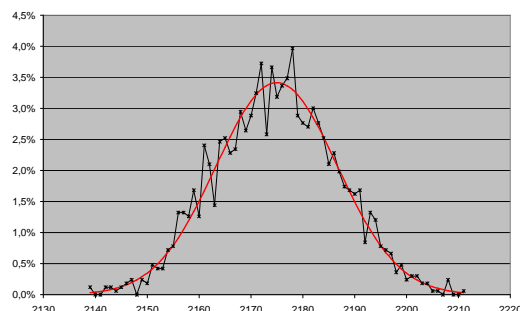
Takto změřená data prošla základním statistickým zpracováním. Výsledkem tohoto zpracování je obr. 3-1 b. Střední hodnotou je číslo 2077,79 odpovídající „0“ měření. Sigma měření je 2,77 a oblast ± 1 sigma zahrnuje 71,35% všech naměřených vzorků.

Na obr. 3-1 b je kromě „histogramu“ samotného statistického souboru zobrazen mimo jiné i průběh normálního rozdělení se stejnými parametry střední hodnoty a rozptylu.

Stejným postupem pak byly ověřovány i pohyby oběma směry. obr. 3-2 a a obr. 3-2 b korespondují s otáčením proti respektive po směru hodinových ručiček při rychlosti 20°/s.



Obr. 3-2: a) Otáčení proti směru



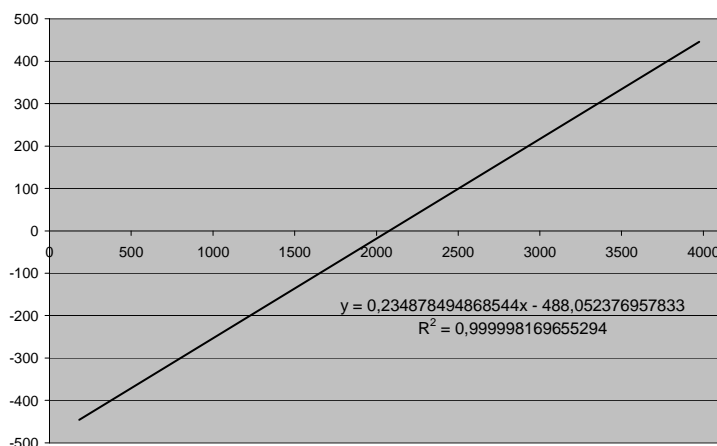
b) Otáčení po směru hodinových ruček

Z těchto dvou měření byly získány statistické parametry uvedené v tab. 3-1.

směr	počet vzorků	střední hodnota	sigma
←	01664	1980,96	10,10
0	24103	2077,79	02,77
→	01665	2174,98	11,691

Tab. 3-1: Získané statistické parametry

Ze získaných dat byla vykreslena výsledná převodní křivka snímače, která je zobrazena na obr. 3-3.



Obr. 3-3: Zjištěný rozsah snímače

4 ZÁVĚR

Uvedený typ snímače představuje na poli měření letových parametrů velmi levnou a pro účely studijní či výzkumné i postačující variantu inerciálního snímače. Jeho rozsah je možné teoreticky měnit od $\pm 300^\circ/\text{s}$ do $1200^\circ/\text{s}$ což je dostatečný rozsah i pro rychle manévrující modely letadel.

Důvodem k sepsání tohoto článku je mimo jiné i vcelku značný rozpor mezi daty dodanými výrobcem a daty získanými při oživování těchto snímačů. Prvním výstupem z měření byla poloha nuly. Zde je rozdíl mezi výrobcem a vlastním měřením při zjištěné citlivosti cca $5,5^\circ/\text{s}$.

Samotné měření proběhlo z technických důvodů sice pouze v rozsahu $\pm 180^\circ/\text{s}$, ale jak obrázek 8 ukazuje, výrobcem udávaná hodnota měřitelnosti je značně vyšší už pro základní nastavení. Teoreticky je pro plný rozsah A/D převodníku dosažitelná hodnota $\pm 500^\circ/\text{s}$ (místo $\pm 300^\circ/\text{s}$). Tento fakt je sice pro některé aplikace výhodný, ale v celkovém důsledku snižuje citlivost měření „téměř“ na polovinu. Zajímavým zjištěním byl i značný nárůst hodnoty sigma v případě pohybujícího se snímače. Tento nárůst ale přičítám nepříliš kvalitnímu a poněkud zastaralému otočnému stolku. Z měření je rovněž patrná shoda předpokládaného normálního rozdělení statistických souborů.

Na druhou stranu snímače velmi překvapily svojí rychlostí. Celková doba potřebná pro zapsání informací o následujícím měření a odečtení stávající hodnoty trvalo „pouhých“ $76 \mu\text{s}$ oproti době 2 ms potřebné pro vyslání dat po lince RS232 směrem k Wi-Fi rozhraní. Tento převis rychlosti umožňuje implementovat do obslužného programu celou řadu korekcí měřeného signálu, například plovoucí filtr (až 26 hodnot) nebo i celou řadu dalších měření například signály z akcelerometrů či jiných letových snímačů. Tato možnost je konečně snadno proveditelná využitím dvou externích vstupů vestavěného A/D převodníku. Lze tedy navíc změřit 6 analogových signálů bez přidání „jediné“ součástky navíc.

Jeho vnitřní architektura rovněž umozňuje velmi vysokou vzorkovací frekvenci a tím umožňuje implementaci číslicového filtru. Takovýmto způsobem ošetřená data jsou pak vhodná například pro matematický aparát směrových kosinů sloužící pro výpočty polohových úhlů

LITERATURA

- [1] DESCHEEMAER, Cédric et al. Pilotage/Guidage du minidrône La Drenaline : Projet en équipe intégrée. 2003, 2003. 174 s. , CD-rom. Ecole Nationale Supérieure de l'Aéronautique et de l'Espace. Veducí absolventské práce Alazard Daniel.
- [2] ČIŽMÁR, Jan. Modelování inerciálních systémů. [s.l.], 2006. 143 s. Univerzita obrany.
- [3] Analog Devices. ADIS16100 $\pm 300^\circ/\text{sec}$ Yaw Rate Gyro with SPI Interface [online]. 2007 [cit. 2007-09-16]. Dostupný z WWW.: <http://www.analog.com/en/prod/0%2C2877%2CADIS16100%2C00.html>

Současný stav vývoje inerciální referenční jednotky

Ing. Jan Čižmár, CSc., Univerzita obrany, jan.cizmar@unob.cz, Tel.:+420973445196
 Ing. Vlastimil Václavík, OPROX, a.s., vlastimil.vaclavik@oprox.cz, tel.: +420545245449
 Michal Pančík, OPROX, a.s., michal.pancik@oprox.cz, tel.: +420545245449

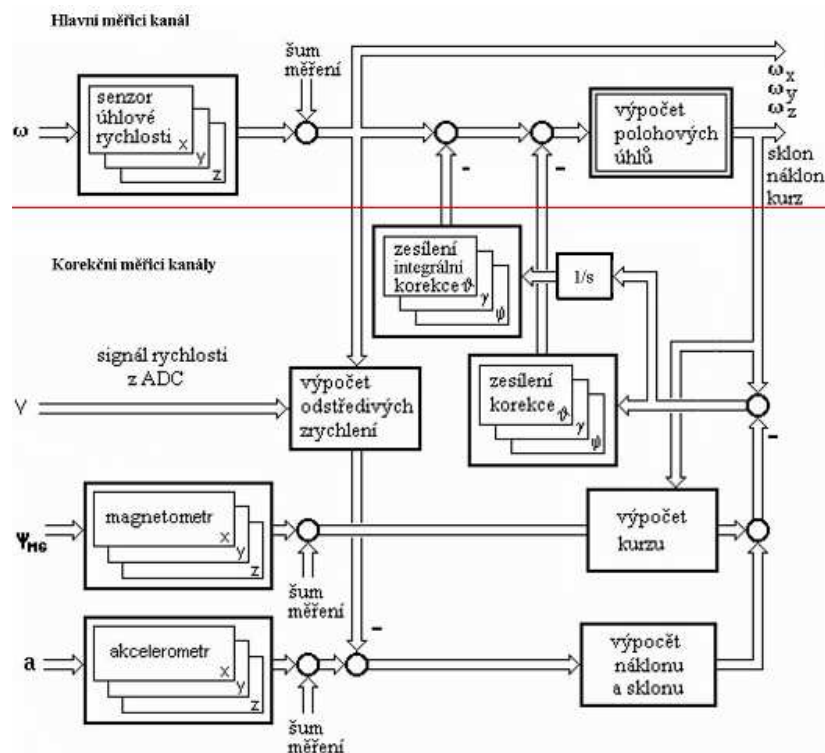
Resumé:

Příspěvek prezentuje současný stav ve vývoji letecké inerciální referenční jednotky (IRJ), která je vyvíjena firmou OPROX, a.s. ve spolupráci s Univerzitou obrany za podpory Ministerstva průmyslu a obchodu České republiky v rámci projektů průmyslového výzkumu (projekt FT-TA3/104). IRJ je digitální měřicí ústředna, která zpracovává signály složek zrychlení, úhlových rychlostí a intenzity geomagnetického pole měřených v letadlové souřadnicové soustavě a dále signály z přijímače GPS a z aerometrické centrály. Na jejich základě pak řeší polohové úhly letadla, tedy náklon, sklon a kurz a další letové parametry.

1 ÚVOD

Inerciální referenční jednotka (IRJ) je měřicí zařízení určené především k měření polohových úhlů, tedy sklonu náklonu a kurzu. Tyto úhly je nutné měřit pro zajištění polohové zpětné vazby při manuálním i automatickém řízení pohybu letadla v prostoru.

Pro zajištění rychlostních zpětných vazeb, zajišťujících vhodné tlumení rychlých kmitů letadla, je nutné měřit úhlové rychlosti pohybu letadla vzhledem k letadlové souřadnicové soustavě (LSS).



Obr. 1-1: Navrhovaná struktura IRJ

Při automatickém řízení letu letadla je možné přímo využít i signály zrychlení (např. pro omezení letových násobků) signály lineárního zrychlení měřené v LSS.

Dalšími doplňkovými signály, které je výhodné mít při automatickém řízení letadla k dispozici, jsou signály složek vektoru intenzity geomagnetického pole a samozřejmě i signály získané z přijímače GPS.

IRJ představuje především plnohodnotnou náhradu umělého horizontu, gyromagnetického kompasu, zatačkoměru, tří derivačních gyroskopů a tří akcelerometrů, a to při podstatném snížení hmotnosti, rozměrů a především finančních jak pořizovacích, tak i provozních nákladů.

Možnost konstruovat IRJ je dána výsledky rozvoje mikroelektroniky, optoelektroniky, výpočetní techniky, ale především výsledky rozvoje technologie mikrosystémů (Micro-Electro-Mechanical System – MEMS), na jejichž základě jsou komerčně vyráběny miniaturní senzory úhlových rychlostí, akcelerometry, ale i magnetometry a řada dalších podobných senzorů. Technologie MEMS prodělává v současnosti velmi rychlý rozvoj. Je možné, že v blízké budoucnosti přesnost senzorů vyráběných technologií mikrosystémů vzroste natolik, že budou aplikovatelné i na poli inerciální navigace.

Hlavní měřicí kanál IRJ využívá senzory úhlových rychlostí (mikromechanické „gyroskopy“). Pro korekci chyb hlavního měřicího kanálu jsou ve vyvíjené IRJ použity akcelerometry a magnetometry. Pro korekci chyb měření způsobených rušivými odstředivými zrychleními se předpokládá využít signál rychlosti z aerometrické centrály či z přijímače GPS. Struktura IRJ je zřejmá z obr. 1.

2 Stav vývoje IRJ

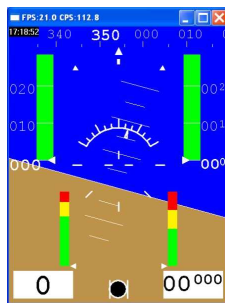
V současnosti je IRJ realizována ve dvou vývojových variantách. Varianta 2 je uvedena na obr. 2-1.



Obr. 2-1: Blok IRJ, varianta 2



Obr. 2-2: IRJ na segmentu TZ-IRJ



Obr. 2-3: Zobrazení na displeji PDA



Obr. 2-4: Montáž IRJ do letounu „Cozy“

V průběhu vývoje byly pro prověření správnosti funkce IRJ provedeny jak simulace, tak i reálné experimenty za nejrůznějších statických i dynamických vstupních podmínek (při proměnných změnách úhlového natočení).

K provádění experimentů je souběžně vyvíjeno testovací zařízení TZ-IRJ (viz obr. 2-2).

Způsob zobrazení polohových úhlů a některých dalších veličin pomocí PDA je zřejmý z obrázku 2-3.

Zařízení IRJ bylo úspěšně testováno i za letu na palubě experimentálního letounu MK-IV „Cozy“ (viz obr. 2-4).

3 Závěr

Navržená IRJ je v současnosti zcela funkční a osvědčila se i při letových experimentech. Je však nutné provést další přesná statická (kalibrace) a dynamická měření.

Po zajištění maximální přesnosti letových (dynamických) měření IRJ bude třeba optimalizovat zesílení korekčních signálů vzhledem k poruchám vyvolaným pohybem letadla (či dopravního prostředku) za letu, které jsou vyvolány atmosférickou turbulencí a manévrováním letadla.

Literatura

- [1] Kolektiv autorů, Výzkum a vývoj high-end technologií pro zvýšení bezpečnosti a komfortu letu lehkých a ultralehkých letadel, Brno, OPROX, a.s.
- [2] JALOVECKÝ, R.: Možnosti měření IRJ a návrh testovacího zařízení IRJ, Dílčí výzkumná zpráva projektu MPO ev. č. FT-TA3/104, Výzkum a vývoj technologií pro řízení ultralehkých a lehkých letadel, Brno, OPROX, a.s., 2006, 30 str.
- [3] ČIŽMÁR, J.: Vývoj inerciální referenční jednotky, Dílčí výzkumná zpráva projektu MPO ev. č. FT-TA3/104, Výzkum a vývoj technologií pro řízení ultralehkých a lehkých letadel, Brno, OPROX, a.s., 2006, 60 str.

System pro kalibraci letadlových aerometrických přístrojů

doc. Ing. Karel Draxler, CSc. Ing. Martin Prošek
Katedra měření FEL ČVUT Praha, email: draxler@fel.cvut.cz, tel.: +420224352185

Resumé:

Článek popisuje využití rezonančních převodníků absolutního tlaku vzduchu ke kalibraci letadlových aerometrických přístrojů.

1 Úvod

Barometrická výška, kalibrovaná a skutečná vzdušná rychlost, vertikální rychlost a Machovo číslo patří k základním letovým parametrům měřeným na letadle. Přístroje resp. systémy pro měření těchto veličin jsou kalibrovány podle vztahů odvozených pro podmínky dané mezinárodní standardní atmosférou (MSA). Barometrická výška, odvozená z řešení barometrické rovnice, je daná vztahem

$$H = \frac{T_0}{\tau} \left[\left(\frac{p(0)}{p(H)} \right)^{R\tau} - 1 \right] \quad (1-1)$$

Kde:

- H (m) je výška měřená od vztažné úrovně s tlakem p_0 (Pa) a teplotou T_0 (K),
- p_H (Pa) statický tlak vzduchu ve výšce H ,
- τ (Km^{-1}) koeficient závislosti teploty s výškou,
- $R = 29,271 \text{ mK}^{-1}$ je upravená plynová konstanta pro vzduch podle MSA.

Při kalibraci barometrických výškoměrů se další konstanty v (1) volí podle MSA:

- $\tau = -6,5 \cdot 10^{-3} \text{ Km}^{-1}$ pro výšky 0 až 11 km,
- $\tau = 0 \text{ Km}^{-1}$ pro výšky 11 až 20 km,
- $\tau = +1 \cdot 10^{-3} \text{ Km}^{-1}$ pro výšky 20 až 32 km,
- $T_0 = 288,15 \text{ K}$,
- $p_0 = 101\,325 \text{ Pa}$.

Vztah (1-1) lze přímo použít pro výšky do 11 km, pro větší výšky je potřeba upravit řešení barometrické rovnice. Vztah (1-1) platí také v případě, že tlaky p_0 a p_H jsou vyjádřeny v jednotkách používaných v letectví (mmHg, resp. inchHg).

Barometrická výška letu se převážně udává ve feetech (ft), kde $1\text{ft} = 0,30487\text{ m}$. Kalibrovaná rychlost letu, které odpovídá vztlaková síla působící na letadlo, je za předpokladu uvažování stlačitelnosti vzduchu daná vztahem:

$$v_c = \sqrt{\frac{2\kappa}{\kappa-1} \cdot \frac{p_0}{\rho_0} \left[\left(\frac{p_c - p_0}{p_0} + 1 \right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} - 1 \right]} \quad (1-2)$$

Kde:

- v_c (ms^{-1}) je údaj kalibrované rychlosti letu,
- $\kappa = 1,4$ Poissonova konstanta pro vzduch,
- p_c (Pa) celkový tlak na vstupu Pitotovy trubice,
- $\rho_0 = 1,2250\text{ kgm}^{-3}$ je hustota vzduchu v nulové výšce MSA.

Údaj skutečné vzdušné rychlosti se kalibruje podle vztahu

$$v_s = \sqrt{\frac{2\kappa}{\kappa-1} \cdot R_m T_0 \left(\frac{p_H}{p_0} \right)^{0,2} \left[\left(\frac{p_c - p_H}{p_H} + 1 \right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} - 1 \right]} \quad (1-3)$$

Kde:

- v_s (ms^{-1}) je skutečná vzdušná rychlost, kterou se letadlo pohybuje ve výšce H,
- p_H (Pa) statický tlak vzduchu ve výšce H (m),
- $R_m = 287,0529\text{ Jkg}^{-1}\text{K}^{-1}$ je měrná plynová konstanta pro vzduch.

Kalibrovaná a skutečná vzdušná rychlost se udává v knotech (kt), kde $1\text{ kt} = 1,83\text{ km/hod}$.

Údaj vertikální rychlosti pohybu letadla je kalibrován jako časová změna výšky podle vztahu

$$v_v = \frac{dH}{dt} \quad (1-4)$$

Kde:

- v_v (ms^{-1}) resp. (ft/min) je vertikální rychlost pohybu letadla.

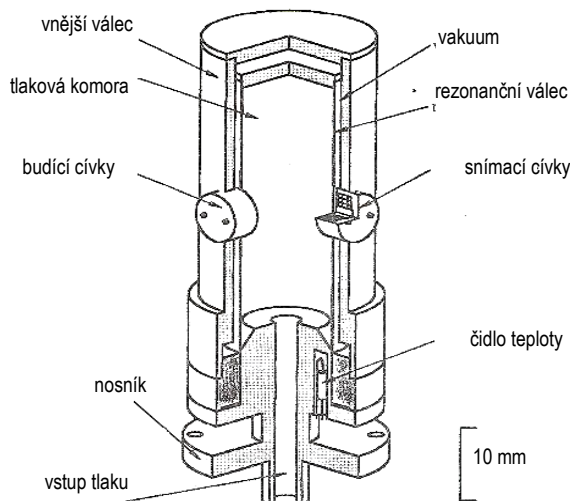
Pro podzvukové rychlosti je Machovo číslo dáno vztahem

$$M = \sqrt{\frac{\kappa}{\kappa-1} \left[\left(\frac{p_c - p_H}{p_H} \right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} - 1 \right]} \quad (1-5)$$

Je tedy zřejmé, že při kalibraci přístrojů resp. systémů, které měří shora uvedené veličiny, je potřeba s co nejvyšší přesností měřit statický tlak p_H a celkový tlak p_c .

2 Převodníky pro měření celkového a statického tlaku vzduchu

Z hlediska přesnosti, citlivosti a dlouhodobé stability patří k nejvíce používaným rezonanční převodníky tlaku vzduchu. Zpravidla se jedná o převodníky absolutního tlaku na frekvenci, kterou lze snadno a s požadovanou přesností měřit.



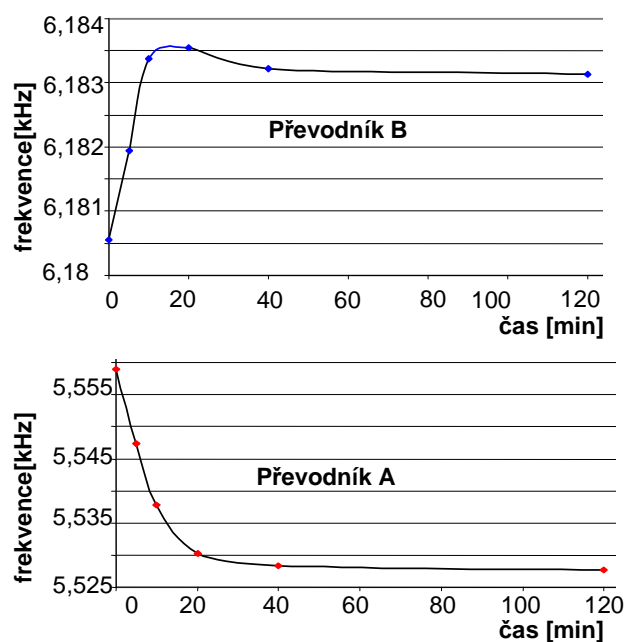
Obr. 2-1: Válcový rezonanční převodník tlaku vzduchu

V našem případě byly použity převodníky s rezonančním válcem, vyrobené v podniku Mikrotechna Praha. Jejich uspořádání je patrné z obr. 2.1. Základním prvkem je tenkostěnný rezonanční válec, vyrobený ze speciálních feromagnetických materiálů typu Ni-Span nebo Alconel, které se vyznačují minimální závislostí parametrů na teplotě. Tloušťka stěny je v závislosti na měřeném tlaku v rozmezí 0,1 mm až 0,3 mm. Spodní část válce je přivařena na nosnou část upevňovací příruby, horní část je uzavřena tuhým víčkem. Rezonanční válec je uvnitř vnějšího masivního souosého válce, který je rovněž přivařen k horní části upevňovací příruby. Do jeho stěny jsou zapuštěny dvě snímací a dvě budicí cívky s permanentním magnetem, jehož tok je nezbytný pro vyvolání kmitů válce. Prostor mezi oběma válci je vakuován, takže převodník měří absolutní tlak vzduchu. Příčné kmity válce jsou buzeny pomocí zpětnovazebního elektronického zesilovače, jehož výstup je připojen na sériově spojené budicí cívky a do vstupu je přiveden signál ze snímacích cívek. Zpětná vazba se tedy uzavírá přes tenkostěnný válec a celá soustava kmitá na frekvenci odpovídající mechanické rezonanci tohoto válce. Ta závisí na jeho rozměrech, materiálu a mechanickém napětí ve stěnách. Měřený tlak vzduchu, přiváděný do vnitřní dutiny rezonančního válce, působí na jeho stěny a vyvolá v nich mechanické napětí, které ovlivňuje rezonanční frekvenci. Pro realizaci systému byly k dispozici dva válcové rezonanční senzory, umístěné v termostatech, aby se minimalizoval vliv teploty na frekvenci.

Parametry převodníků

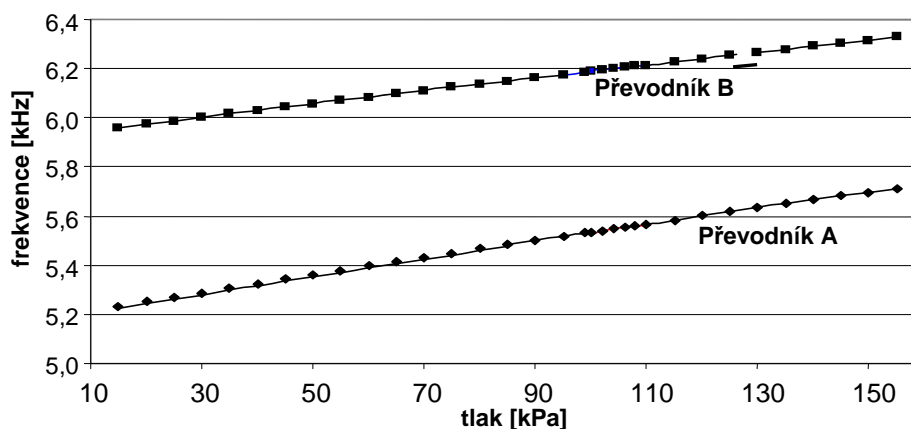
Pro měření závislosti frekvence na tlaku byl použit tlakoměr DPI 740, vyráběný anglickou firmou DRUCK, s měřicím rozsahem (35 až 3500) hPa, rozlišením číslicového údaje 1 Pa, přesností 0,02 % z rozsahu a dlouhodobou stabilitou údaje lepší než 0,01 % z rozsahu. Frekvence převodníků byla měřena pomocí čítače HP 5313 A.

V úvodu byla zjištěna doba potřebná k ustálení teploty termostatovaných převodníků. Měření bylo provedeno při konstantním tlaku 100 kPa a výsledky jsou uvedeny v obr.2.2. Z výsledků je patrné, že minimální doba ustálení frekvence je 40 minut od zapnutí termostatu.



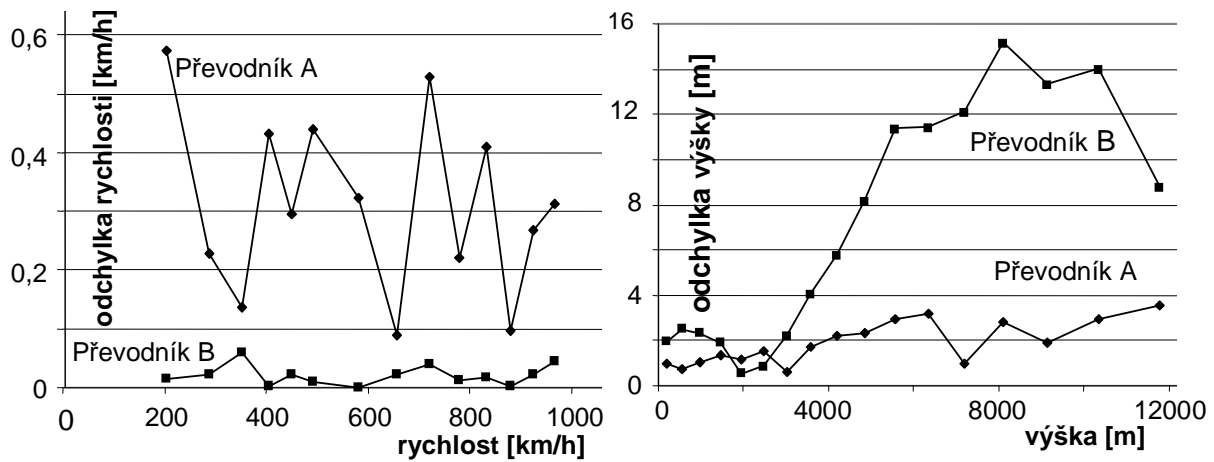
Obr. 2-2: Ustálení frekvence převodníků

Dále byly změřeny závislosti výstupní frekvence převodníků na tlaku v rozsahu 15 kPa až 155 kPa. Výsledky jsou uvedeny na obr.2.3. Je z nich patrné, že závislost se blíží lineárnímu průběhu a frekvence obou převodníků jsou navzájem posunuté.



Obr. 2-3: Průběh závislosti frekvence obou převodníků na tlaku

Při podrobném rozboru obou průběhů pomocí jejich analytického vyjádření se ukazuje, že při použití analytického vyjádření pro výpočet tlaku z měřené frekvence je potřeba oba průběhy aproximovat polynomem 2. řádu, kdy jsou odchylky od naměřeného průběhu zanedbatelné. Dále bylo potřeba zjistit, který z převodníků použít pro oblast statického resp. celkového tlaku. Jako rozhodující byly použity výsledky měření hystereze převodníku při plynulé změně tlaku v obou směrech.

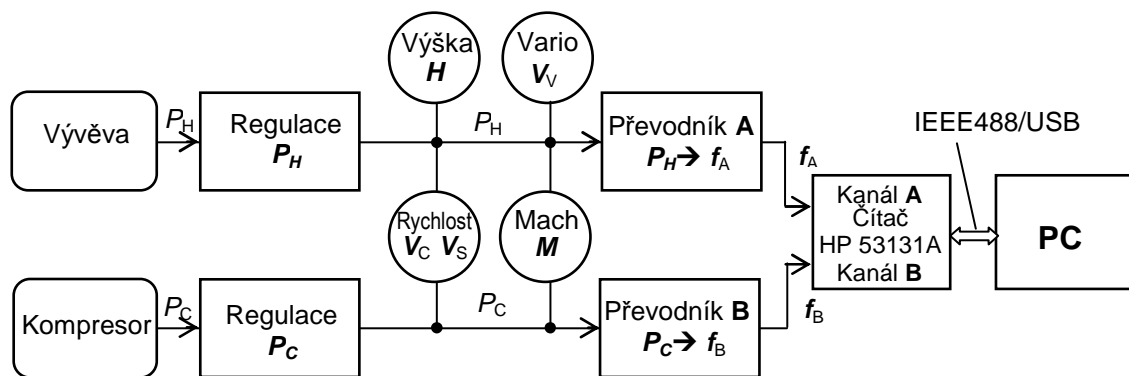


Obr. 2-4: Odchytky převodníků při měření výšky a rychlosti letu

Výsledky pro oblast statického tlaku vyjádřenou diferencí výšky při plynulém snižování a zvyšování tlaku odpovídající výškovému rozdílu 12 000 m a pro oblast celkového tlaku, odpovídající rychlosti 1 000 km/hod jsou uvedeny na obr. 2.4. Je z nich patrné, že pro oblast statického tlaku bude použit rezonanční převodník A a pro oblast celkového tlaku převodník B.

3 Realizace systému pro kalibraci aerometrických přístrojů

Blokové schéma uspořádání měřicího systému je na obr. 2.5. Zdrojem statického tlaku vzduchu p_H je vývěva, zdrojem celkového tlaku p_C je kompresor. Oba tlaky jsou ručně regulovány a vedeny do vstupu kalibrovaného přístroje a obou převodníků. Jejich výstupní frekvence se měří pomocí dvoukanálového čítače HP 53131A. Protože se jedná o frekvence v rozsahu (5,2 až 6,4) kHz, je pro dosažení co nejlepší přesnosti použita metoda měření doby periody s průměrováním. Tím lze zajistit, že se nejistota měření frekvence minimálně uplatní na výsledné nejistotě aerometrických veličin.



Obr. 3-1: Blokové schéma systému pro kalibraci letadlových aerometrických přístrojů

Frekvence obou převodníků jsou pomocí sběrnice IEEE 488 s výstupem USB vedeny do počítače, kde se na základě analytického vyjádření tlaku na frekvenci polynomem 2 stupně vypočtou hodnoty tlaků p_H a p_C . Dosažením hodnot tlaků do vztahů (1-1) až (1-5) se potom získají hodnoty měřených aerometrických veličin.

Zobrazení měřených veličin a ovládání systému

K zobrazení měřených veličin a ovládání systému slouží hlavní panel na obrazovce. Na něm jsou zobrazeny všechny veličiny v analogovém i číslicovém tvaru. Analogové ukazatele používají jednotky odpovídající typickým letadlovým ukazatelům (ft, kt, kt/min). Číslicové údaje pro výšku jsou současně ve feetech a metrech, pro rychlost v knotech, km/hod a m/s a vertikální rychlost ve feet/min a m/s. Dále jsou zde číslicové údaje obou měřených tlaků v hlavních používaných jednotkách. Součástí je také nastavení vztažné úrovně tlaku pro kalibraci výškoměrů. Základní ovládání systému je ve střední části obrazovky. Program umožňuje provoz ve dvou režimech:

Při režimu "**simulace**" není aktivován přenos dat z čítače a hodnoty frekvencí odpovídajících měřeným tlakům se zadávají pomocí ovládacích prvků na hlavním panelu. Při známých parametrech převodníků je tak možno kontrolovat správnou funkci programu pro výpočet měřených veličin. Současně tento režim umožňuje novou kalibraci převodníků, která se provádí ve 4 až 5 bodech rovnoměrně rozložených v jejich měřicím rozsahu. Do oken na hlavním panelu se při kalibraci zadávají hodnoty tlaků a jim odpovídající frekvence, odečtené na údajích čítače.

Při režimu "**měření**" se nejprve inicializují porty pro přenos informací do PC, do odpovídajícího okna se zadá adresa čítače a odešle dotaz k jeho identifikaci, která se při správné komunikaci zobrazí v odpovídajícím okně. Po potvrzení identifikace se naváže komunikace s čítačem, na displeji se indikuje probíhající měření frekvence a zobrazí hodnota aktuálního tlaku. Tu je možno případně porovnat s údajem tlakoměru a kontrolovat správnou funkci celého systému. Po následném stisknutí tlačítka "měření" se provádějí odměry z obou kanálů a zobrazují se hodnoty jednotlivých aerometrických veličin.

Program dále umožňuje ukládání měřených dat do zvoleného souboru. K tomu je možno volit časový interval ukládání dat. Ukládá se aktuální hodnota času, obě frekvence a hodnoty jednotlivých veličin. Časový průběh jednotlivých veličin je rovněž možné zobrazit graficky.

4 Závěr

Popsaný systém umožňuje kalibraci letadlových výškoměrů, rychloměrů, variometrů a machmetrů v následujících rozsazích:

- Výška H: (- 2 000 až 40 000) ft vzhledem k nulové hodnotě výšky podle MSA
- Kalibrovaná rychlost vc: (0 až 780) kt
- Skutečná vzdušná rychlost vs: (0 až 1 200) kt
- Vertikální rychlost vv: (- 4000 až + 4000) ft/min
- Machovo číslo M: 0 až 1,7

Odchylka měření výšky vzhledem k údajům tlakoměru DPI 145 nepřesáhne ± 4 ft v nulové výšce MSA a ± 42 ft ve výšce 40 000 ft. Odchylka měření kalibrované rychlosti v nulové výšce MSA nepřesáhne $\pm 3,8$ kt při rychlosti 55 kt a $\pm 0,16$ kt při rychlosti 546 kt. Tyto parametry s rezervou vyhovují požadavkům JAR pro přesnost měření výšky a rychlosti letu.

Přesnost systému přestává vyhovovat pro měření kalibrované skutečné vzdušné rychlosti ve výšce větší než 6 500 ft a rychlosti menší než 160 kt. Příčinou je jednak malá diference mezi celkovým a statickým tlakem vzduchu, především ale skutečnost, že celkový tlak pc se blíží k hodnotě 1 000 mb nebo je menší a v této oblasti tlaků vykazuje převodník B velké chyby jak, je patrné z obr. 2.4. Pro malé rychlosti je výhodnější použít k vyhodnocení rychlosti diferenční převodník tlaku na elektrický signál.

Literatura:

- [1] Prošek, M: Systém pro kalibraci aerometrických přístrojů. Diplomová práce ČVUT FEL Praha 2007.
- [2] Draxler, K: Přístrojové systémy letadel II. Skripta ČVUT FEL Praha 2002.
- [3] Věříš, J: Využití vyšších módů kmitání při měření tlaku rezonančními snímači. Disertační práce ČVUT FEL 1999.
- [4] Jakl, P: Měření vzdušné rychlosti. Diplomová práce ČVUT FEL Praha 2005.
- [5] Ďaďo, S., Kreidl, M.: Senzory a měřicí obvody. ČVUT Praha 2003.

Tato publikace byla zpracována v rámci výzkumného záměru MSM 6840770015 Výzkum metod a systémů pro měření fyzikálních veličin a zpracování naměřených dat podporovaného Ministerstvem školství, mládeže a tělovýchovy.

Vliv počátečních parametrů na predikci pohybu letounu

kpt. Ing. Michal Dub, Ph.D.

Univerzita obrany, email: michal.dub@unob.cz, tel.: +420-973-445-036

doc. Ing. Rudolf Jalovecký, CSc.

Univerzita obrany, email: rudolf.jalovecky@unob.cz, tel.: +420-973-445-217

Resumé:

Článek informuje o současných principech identifikace parametrů letounu pojatého jako obecný dynamický systém charakterizovaný stavovým popisem. Výsledné identifikované parametry vycházející z algoritmů průběžné identifikace se používají k předpovídání budoucího stavu systému. V příspěvku je řešena otázka vlivu počátečních parametrů na predikci následujících stavů systému. Ukládání identifikačních proměnných po určitém počtu měření může být výhodné k rychlému obnovení identifikace systému v případě náhlé ztráty dat či jiné poruchy procesu identifikace. Dále mohou být tyto uložená dat využita pro identifikaci parametrů podobných systémů v podobných režimech činnosti, v tomto případě typu letadla v režimu letu.

1 Úvod

Identifikací se rozumí nalezení matematického modelu daného procesu pro daný účel. Identifikace vycházející z matematicko-fyzikální analýzy se označuje jako analytická (deduktivní) identifikace, identifikace vycházející z měření na systému se nazývá experimentální (induktivní) identifikace. Experimentální identifikace může probíhat tak, že se nejdříve zaznamenají změřená data celého experimentu a teprve následně se vyhodnotí. Tento způsob je označován jako jednorázová (offline) identifikace. Jestliže vyhodnocování naměřených dat probíhá vždy během periody vzorkování, jedná se o průběžnou (online) identifikaci.

Experimentální průběžná identifikace spočívá v počátečním odhadu parametrů matematického modelu po určitém počtu provedených měření a následném zpřesňování těchto parametrů po každém novém měření. Toto zpřesňování parametrů se realizuje během periody měření nových vzorku vstupních a výstupních signálů. Obecný dynamický proces řádu $n \geq 2$ se známým vstupem a rovnicí výstupu lze aproximovat lineárním stacionárním modelem, který lze s použitím různých transformačních algoritmů vyjádřit i v diferencním zápisu pro zadanou periodu vzorkování T následující stavovou rovnicí:

$$\bar{x}(k+1) = \Phi \bar{x}(k) + \Gamma \bar{u}(k), \quad (1-1)$$

kde:

- Φ - matice stavů typu (n, n) ,
- Γ - matice řízení typu (n, r) ,
- $\bar{x}(k)$ - stavový vektor typu $(n, 1)$,
- $\bar{u}(k)$ - vstupní – řídicí vektor typu $(r, 1)$.

Neznámé koeficienty matic Φ a Γ lze vypočítat po provedení $m=(n+r+1)$ měření aplikací klasické metody nejmenších čtverců [3][4]:

$$[\Phi(m), \Gamma(m)] = S(m) Y^T(m) [Y(m) Y^T(m)]^{-1}, \quad (1-2)$$

Kde:
$$S(m) = [\bar{x}(2), \bar{x}(3), \dots, \bar{x}(m)],$$

$$Y(m) = \begin{bmatrix} \bar{x}(1), \bar{x}(2), \dots, \bar{x}(m-1) \\ \bar{u}(1), \bar{u}(2), \dots, \bar{u}(m-1) \end{bmatrix}.$$

Zpřesňování identifikovaných parametrů po každém novém měření je možné provést i touto metodou, což je ovšem náročné na objem zpracovávaných dat. S výhodou lze použít sekvenční metodu nejmenších čtverců. Matice neznámých parametrů po provedení $m+1$ měření mají tvar:

$$[\Phi(m+1), \Gamma(m+1)] = S(m+1) Y^T(m+1) [Y(m+1) Y^T(m+1)]^{-1}, \quad (1-3)$$

Kde:
$$S(m+1) = [\bar{x}(2), \bar{x}(3), \dots, \bar{x}(m+1)],$$

$$Y(m+1) = \begin{bmatrix} \bar{x}(1), \bar{x}(2), \dots, \bar{x}(m-1), \bar{x}(m) \\ \bar{u}(1), \bar{u}(2), \dots, \bar{u}(m-1), \bar{u}(m) \end{bmatrix}.$$

Součin matic $S(m) Y^T(m)$ je možné rozepsat:

$$S(m) Y^T(m) = [\bar{x}(2) \bar{y}^T(1) + \bar{x}(3) \bar{y}^T(2) + \dots + \bar{x}(m) \bar{y}^T(m-1)] \quad (1-4)$$

Součin matic $S(m+1) Y^T(m+1)$ je možné rovněž rozepsat:

$$S(m+1) Y^T(m+1) = [\bar{x}(2) \bar{y}^T(1) + \bar{x}(3) \bar{y}^T(2) + \dots + \bar{x}(m) \bar{y}^T(m-1) + \bar{x}(m+1) \bar{y}^T(m)] \quad (1-5)$$

Pak lze součin matic $S(m+1) Y^T(m+1)$ vyjádřit pomocí součinu matic $S(m) Y^T(m)$:

$$S(m+1) Y^T(m+1) = S(m) Y^T(m) + \bar{x}(m+1) \bar{y}^T(m) \quad (1-6)$$

Součin matic $Y(m) Y^T(m)$ je možné rozepsat:

$$Y(m) Y^T(m) = [\bar{y}(1) \bar{y}^T(1) + \bar{y}(2) \bar{y}^T(2) + \dots + \bar{y}(m-1) \bar{y}^T(m-1)] \quad (1-7)$$

Obdobně součin matic $Y(m+1) Y^T(m+1)$ je možné rozepsat:

$$Y(m+1)Y^T(m+1) = [\bar{y}(1)\bar{y}^T(1) + \bar{y}(2)\bar{y}^T(2) + \dots + \bar{y}(m-1)\bar{y}^T(m-1) + \bar{y}(m)\bar{y}^T(m)] \quad (1-8)$$

Součin matic $Y(m+1)Y^T(m+1)$ lze potom vyjádřit pomocí součinu matic $Y(m)Y^T(m)$:

$$Y(m+1)Y^T(m+1) = Y(m)Y^T(m) + \bar{y}(m)\bar{y}^T(m). \quad (1-9)$$

Součiny SY^T a YY^T jsou po každém měření doplňovány novými hodnotami dle vztahů (1-6) a (1-9). Z těchto provedených součinů lze pomocí vztahu (1-2) identifikovat parametry neznámých matic Φ a Γ . Uvedený postup je podstatou identifikace pomocí sekvenční metody nejmenších čtverců.

2 Experimentální průběžná identifikace

Uvedená metoda experimentální průběžné identifikace byla použita pro identifikaci parametrů stavového popisu podélného pohybu letounů L-410 [3] a L-39 [2] v prostoru. Pohyb letounu L-410 je popsán stavovým vektorem, který charakterizuje čtyři stavové proměnné – rychlost letu v , úhel náběhu α , podélný sklon ϑ a derivace podélného sklonu $\dot{\vartheta}$, řídicí vektor popisuje pouze jednu vstupní veličinu – výchylka výškového kormidla δ_v :

$$\bar{x}(k) = [v, \alpha, \vartheta, \dot{\vartheta}]^T, \quad \bar{u}(k) = [\delta_v]^T$$

Pohyb letounu L-39 je popsán stavovým vektorem, který charakterizuje čtyři stavové proměnné – výšku letu H , rychlost letu v , úhel náběhu α a podélný sklon ϑ , řídicí vektor popisuje dvě přímé a dvě nepřímé vstupní veličiny – poloha páky ovládání motoru δ_p , výchylka výškového kormidla δ_v , výchylka křidélek δ_k a výchylka směrového kormidla δ_s :

$$\bar{x}(k) = [H, v, \alpha, \vartheta]^T, \quad \bar{u}(k) = [\delta_p, \delta_v, \delta_k, \delta_s]^T$$

Pro průběžnou identifikaci byl s výhodou využit program MATLAB, neboť základní proměnnou definovanou v tomto programu je matice. Pomocí výpočtového programu sestaveného na základě klasické metody nejmenších čtverců byla identifikována počáteční matice parametrů. Dále byla pomocí výpočtového programu, sestaveného na základě sekvenční metody nejmenších čtverců, identifikována matice parametrů vždy po každém provedeném měření. S využitím vztahu (1-1) byly také zpětně pro každou matici parametrů a příslušné řídicí a stavové vektory vypočteny odhady vektorů stavů po jednotlivých měřeních a porovnány s naměřenými daty.

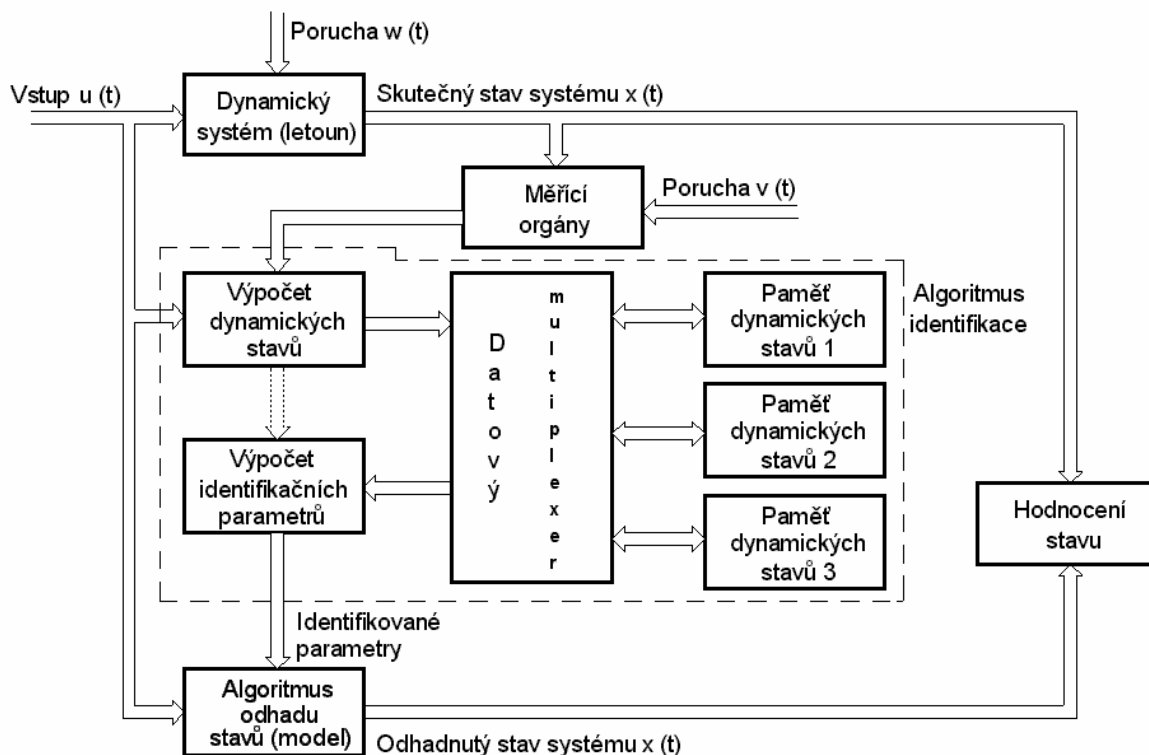
Naměřená data podélného pohybu letounu L-39 [2] nebyla ve srovnání s naměřenými daty podélného pohybu letounu L-410 [3] pro proces identifikace naprosto ideální. Prvním důvodem bylo, že naměřená data byla běžná data stažená z palubního zapisovače bez speciálně navržených vstupních signálů jako byl případ výchylky výškového kormidla u podélného pohybu letounu L-410. Druhým faktorem byla kratší vzorkovací perioda měření dat pohybu letounu L-410 ($T = 0.1$ s), protože vzorkovací perioda měření dat pohybu letounu L-39 byla limitována nejdelší periodou vzorkování ($T = 0.5$ s). Posledním možnou příčinou je absence signálu derivací polohových úhlů pohybu letounu L-39.

3 Identifikační proces s různými počátečními parametry

Po úspěšné kompilaci identifikačního procesu jsme se zaměřili na vliv počáteční matice identifikovaných parametrů (respektive počátečních součinů SY^T a YY^T) na odhad stavového vektoru v následující periodě měření.

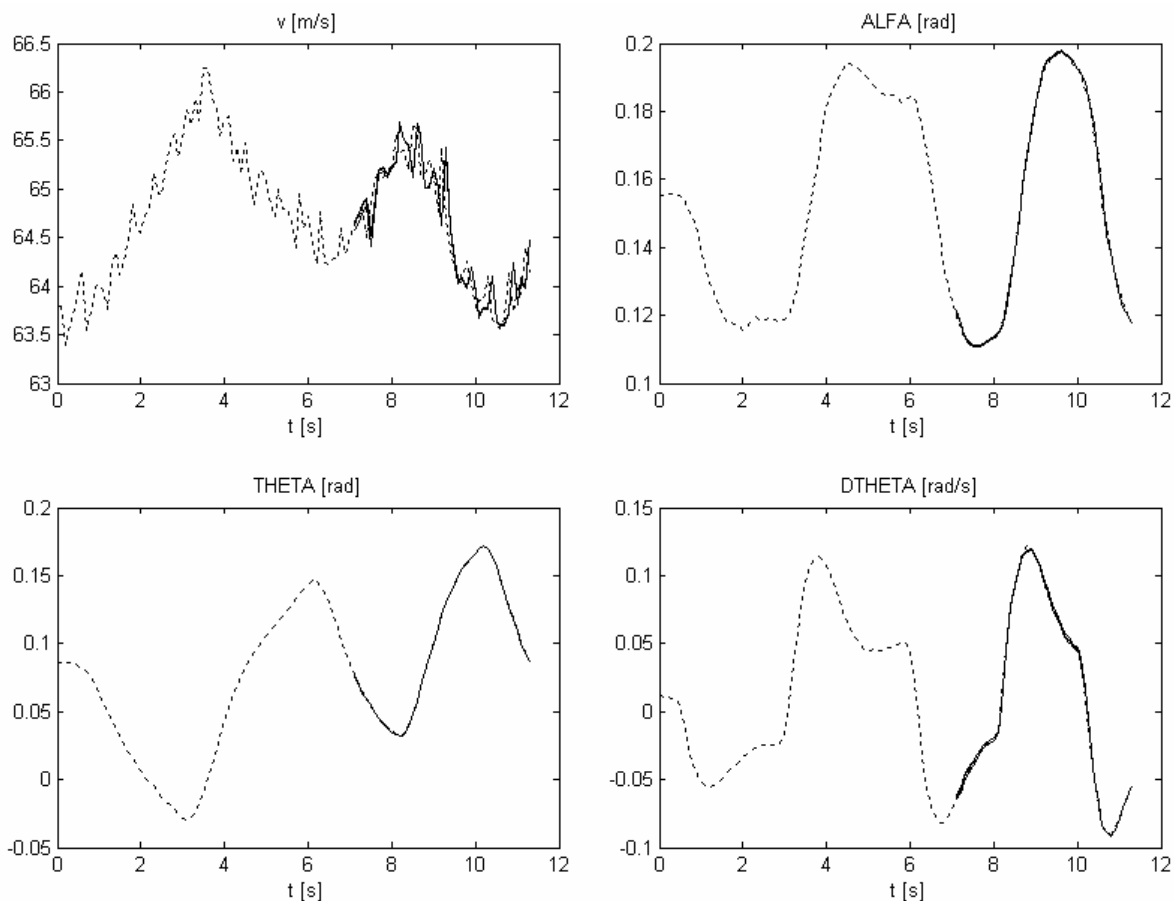
Podle odvozené teorie se součiny SY^T (1-6) a YY^T (1-9), po změření vstupních a výstupních veličin dynamického systému, vytváří v bloku „Výpočet dynamických stavů“ (viz obr. 3-1). Informace se pak standardně přenáší přímo do bloku „Výpočet identifikačních parametrů“, kde se vypočítávají koeficienty matic Φ a Γ podle rovnice (1-2). V tomto uspořádání se výpočet matic realizuje bezprostředně po každém kroku měření vstupních a výstupních veličin. Pokud bude letadlo provádět nějaký manévr, vždy dojde při výpočtu odhadu stavu systému ke zvětšení odchylky, tedy nevhodné změně identifikovaných parametrů a teprve po několika málo měření se odhady hodnoty ustálí a přiblíží ke skutečným parametrům letu.

Pokud si uschováme součiny SY^T a YY^T z typických režimů letu a uložíme je přes datový multiplexer do jedné z „Paměti dynamických stavů“ (na obr. 3-1 očíslovaných 1 až 3), je možné tyto hodnoty zpětně vyzvednout na počátku předpokládaného režimu letu a zavést je do bloku výpočtu identifikovaných parametrů. Tímto krokem se podstatně sníží počáteční nepřesnost výpočtu koeficientů matic Φ a Γ a tím i odhad trajektorie letu. Tato teorie byla postupně odzkoušena jak na simulovaných, tak i reálných letových datech a dosažené výsledky jsou uvedeny dále.

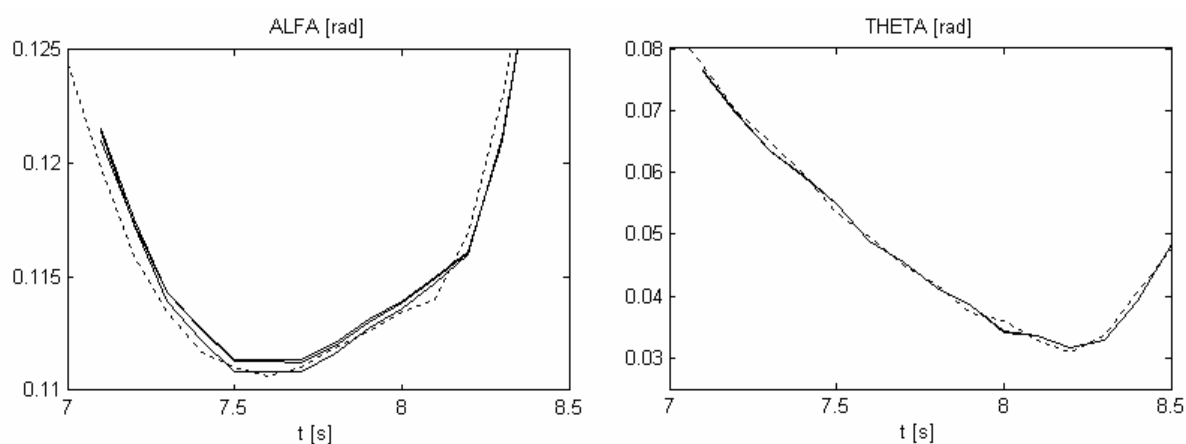


Obr. 3-1: Blokové schéma identifikačního procesu s různými počátečními parametry

Na obr. 3-2 prezentujeme ukázkou odhadu stavového vektoru pohybu letounu L-410 po provedení $n=71$ měření (od časového okamžiku $t=7$ s) s užitím počátečních součinů SY^T a YY^T vypočítaných po $n=41, 51, 61$ měřeních. Odhadnuté hodnoty jsou zobrazeny plnými čarami a reálné čárkovanými. Na obr. 3-3 jsou zobrazeny odhady hodnot úhlu náběhu a podélného sklonu pohybu letounu L-410 v detailu.

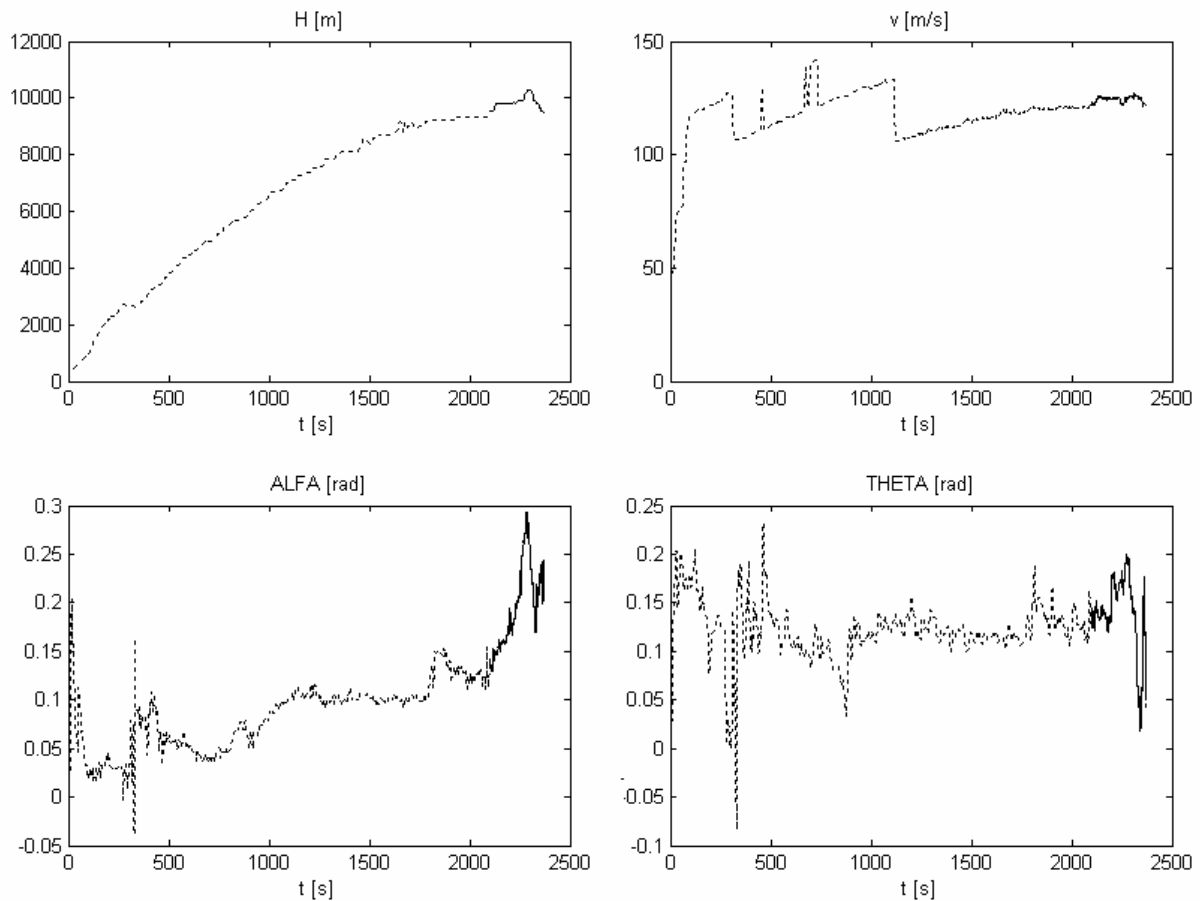


Obr. 3-2: Naměřené a odhadnuté hodnoty stavového vektoru pohybu letounu L-410

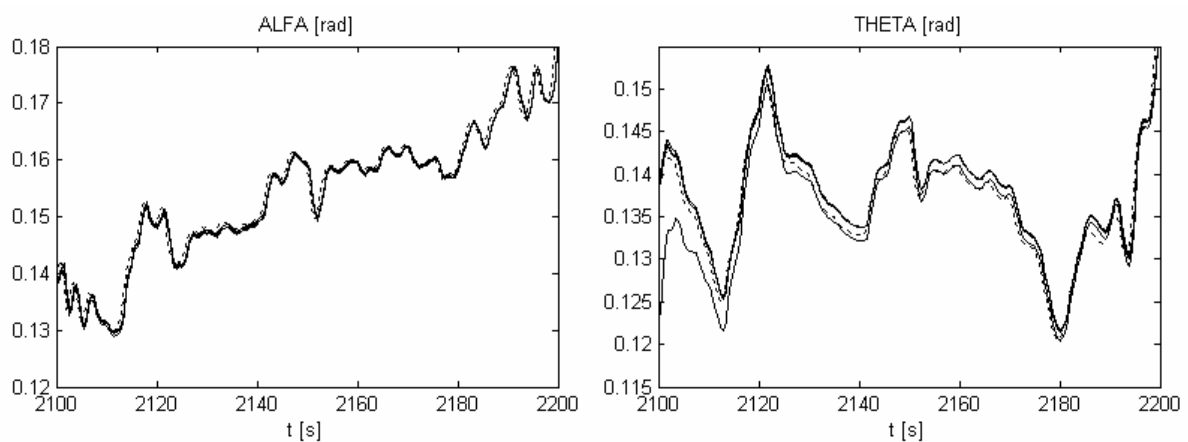


Obr. 3-3: Naměřené a odhadnuté hodnoty stavového vektoru pohybu letounu L-410

Na obr. 3-4 prezentujeme ukázkou odhadu stavového vektoru pohybu letounu L-39 po provedení $n=4201$ měření (od časového okamžiku $t=2100$ s) s užitím počátečních součinitů SY^T a YY^T vypočítaných po $n=1001, 2001, 3001, 4001$ měřeních. Odhadnuté hodnoty jsou zobrazeny plnými čarami a reálné čárkovanými. Na obr. 3-5 jsou zobrazeny odhady hodnot úhlu náběhu a podélného sklonu pohybu letounu L-39 v detailu.



Obr. 3-4: Naměřené a odhadnuté hodnoty stavového vektoru pohybu letounu L-410



Obr. 3-5: Naměřené a odhadnuté hodnoty stavového vektoru pohybu letounu L-410

4 Závěr

Vliv počátečních parametrů na odhady stavového vektoru a rychlost konvergence odhadů jsou zřejmé z obr. 3-2 až 3-5. Uchovávat vypočtené identifikační proměnné (součiny SY^T a YY^T) po určitém počtu měření může být výhodné k rychlému obnovení identifikace systému v případě náhlé ztráty dat či jiné poruchy procesu identifikace. Dalším možným využitím uložených výpočtů je identifikace podobných systémů za podobných podmínek, v tomto případě typu letadla v režimu letu.

Literatura

- [1] Bobál, V.: Identifikace systémů. Brno, Vysoké učení technické, 1990. 186 pp.
- [2] DUB, M.; JALOVECKÝ, R.: Aircraft Motion Prediction Using Experimental Online Identification. In Zborník príspevkov 7. medzinárodnej vedeckej konferencie “Nové trendy rozvoja letectva“. Košice, Letecká fakulta Technickej univerzity v Košiciach, 2006, 6. pp. ISBN: 80-8073-520-4.
- [3] DUB, M.; JALOVECKÝ, R.: Aircraft Trajectory Estimation Using Recursive Identification. In Proceeding of the International Conference on Military Technologies „ICMT 2007“. Brno, University of Defence, 2007, s. 305-309. ISBN: 978-80-7231-238-2.
- [4] DUB, M.; JALOVECKÝ, R.: Experimental Online Identification of Aircraft Longitudinal Motion. Cybernetic Letters [online]. 15.12.2006. <<http://www.cybletter.com>>. ISSN 1802-3525.
- [5] NELSON, R. C.: Flight Stability and Automatic Control. Second edition. New York, McGraw-Hill Companies, Inc., 1998. 456 pp. ISBN: 0-07-046273-9.

Zařízení pro testování vlastností inerciální referenční jednotky

doc. Ing. Rudolf Jalovecký, CSc.

Univerzita obrany, email: rudolf.jalovecky@unob.cz , tel.: 973-445-217

Resumé:

Příspěvek pojednává o návrhu zkušebního - testovacího zařízení inerciální referenční jednotky (TZ-IRJ) z hlediska požadavků určených na toto zkušební zařízení. TZ-IRJ bude sloužit k testování měřících zařízení, které měří polohové úhly, rotaci, případně úhlové zrychlení (obecně 3D snímače). Hlavní důvod k návrhu a v současnosti i výrobě TZ-IRJ směřuje k ověření všech statických a dynamických vlastností Inerciální referenční jednotky (IRJ), vyvíjené v rámci projektu Ministerstva průmyslu a obchodu České republiky [1].

1 Úvod

Každé zkušební zařízení je konstruováno tak, aby v maximální míře splnilo účel testování, tj. ověření požadovaných vlastností měřeného objektu. V leteckých specializacích je měření 3D snímačů vždy zatíženo metodickou chybou, kterou nelze při měření odstranit. Je jí přítomnost tíhového zrychlení, které není možné na zemi jednoduše vyloučit. Z tohoto důvodu se konstrukce testovacího zařízení zaměřuje na maximální eliminaci vlivu tíhového zrychlení resp. v jeho vhodném využití alespoň pro některé druhy měření.

Vyvíjené testovacího zařízení pro ověřování vlastností konstruované inerciální referenční jednotky se snaží v maximální míře splnit náročné požadavky pro ověření, především dynamických vlastností obecného 3D snímače.

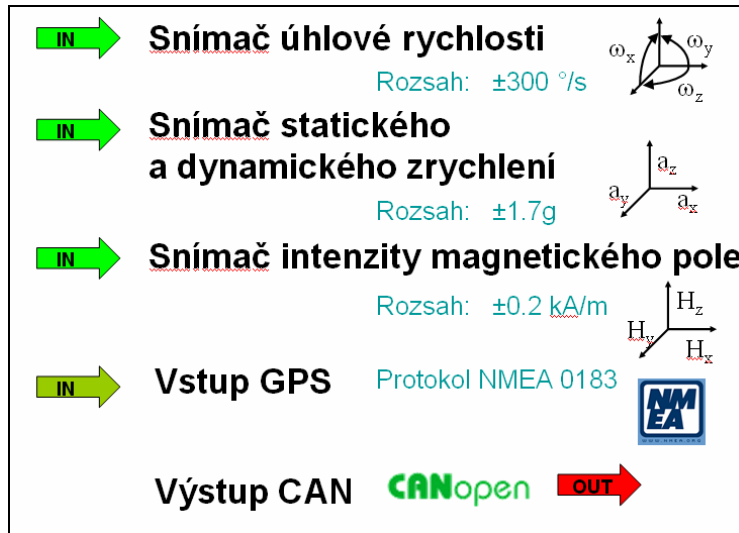
2 Charakteristika IRJ a jeho bloková struktura

Zařízení, které poskytuje informace o poloze, náklonu a rychlosti pohybu letounu je pro výzkumný projekt [1] definováno následně:

IRJ emuluje umělý horizont, relativní příčný sklonoměr, zatáčkoměr, směrový setrvačnick a kompas. Zároveň poskytuje i údaje o zrychleních a úhlových rychlostech letadla v letadlové souřadné soustavě (LSS), které jsou použitelné pro případné automatické řízení letu. IRJ je plně použitelná i v pozemních aplikacích jako měřící jednotka systémů stabilizace. Zároveň je IRJ použitelná jako palubní diagnostický zdroj signálů polohových úhlů pro zjišťování nesprávné funkce gyroskopických vertikál a gyromagnetických kompasů letadel. Základem IRJ jsou tři vibrační rychlostní gyroskopy, tři akcelerometry a tři magnetometry vyrobené technologií MEMS. Signály těchto snímačů jsou využívány pro výpočty magnetického kurzu, úhlu podélného a příčného sklonu, případně i dalších parametrů..

Ideovou strukturu IRJ zobrazuje obr.2-1, přičemž první tři informace získává IRJ z vlastních konstrukčních návrhů s použitím aktivních prvků typu MEMS a signál GPS pak získává z komerčního přijímače GPS.

Jednotlivé prvky, které tvoří aktivní členy IRJ, tedy snímače neelektrických veličin, lze popsat velmi podrobně a také na internetu je k dispozici celá řada informací. Mezi hlavní komponenty IRJ tedy patří akcelerometry, senzory úhlových rychlostí (gyroskopy) a magnetometry. Orientačně jsou popsány ve [2] a velmi podrobně pak ve [3].



Obr. 2-1: Ideová struktura IRJ

3 Určení testovacího zařízení

TZ-IRJ je určeno k měření vybraných statických a dynamických parametrů IRJ či podobného zařízení. V praxi to znamená zajistit definovaný pohyb měřeného zařízení ve všech třech osách rotace, případně zajisti i lineární pohyby tohoto zařízení.

Zatímco rotační pohyby je možné poměrně lehce realizovat, lineární pohyby představují pro konstruktéry TZ-IRJ prakticky neřešitelný problém a vždy se tento jakoby lineární pohyb bude k ideálnímu lineárnímu pohybu a navíc ve všech osách jen přibližovat. Konkrétní popis mechanických konstrukcí je uveden v [4].

3.1 Požadavky na TZ-IRJ z hlediska měřených veličin

Sestavení požadavků na TZ-IRJ z hlediska provozu, měření a pohybu IRJ lze shrnout do následujících bodů:

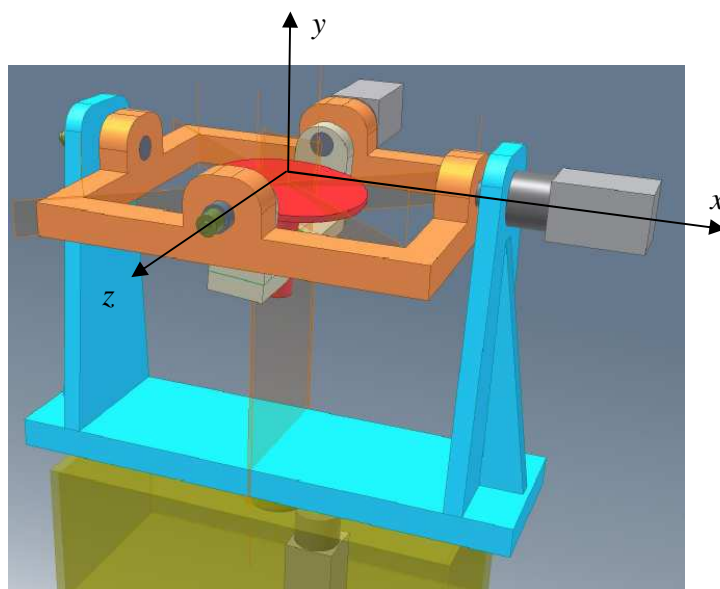
- Zařízení musí umožňovat rotační pohyb zkušební základny kolem tří os (3 stupně volnosti).
- Zkušební zařízení musí umožňovat rotační pohyb testovaného krychlového objektu o maximální délce hrany 0,15 m a maximální hmotnosti 2 kg kolem tří různých os bez omezení (Cardanův zámek neřešit. Stačí pouze dva Cardanovy rámy).
- Zkušební zařízení musí být schopno udělit testovanému objektu úhlovou rychlost maximálně 200 $^\circ/\text{s}$ kolem všech tří os.
- Zkušební zařízení musí být schopno dosahovat maximálního úhlového zrychlení testovaného objektu 20 $^\circ/\text{s}^2$ kolem všech tří os.
- Zkušební zařízení musí být schopno nastavovat polohové úhly s přesností $\pm 0,05^\circ$ či $\pm 3'$ (1σ).
- Základna zkušebního zařízení musí být schopna takového uchycení testovaného objektu, aby se rotační osy protínaly v jeho geometrickém středu.
- Pohyby zkušebního zařízení budou řízeny číslicovým počítačem.
- Signály z testovaného objektu, ať už analogové či digitální budou vyhodnocovány a zpracovávány v číslicovém počítači. K tomu je nutné zajistit přenos signálů z testovaného objektu (jak pro přenos digitálních signálů, např. CANBUS, tak i analogových signálů – cca 6 stíněných vodičů).

- i) Přenos napájecího napětí do testovaného zařízení podle charakteru testovaného zařízení (varianty napájení: 3x36V/400Hz - 2A, 1x115V/400Hz - 1A, 1x48V/ss - 3A).
- j) Na pohybující se základně musí být vytvořen mechanismus pro rychlé a přesné upínání testovaného objektu.

3.2 KONEČNÝ NÁVRH KONSTRUKCE TZ-IRJ

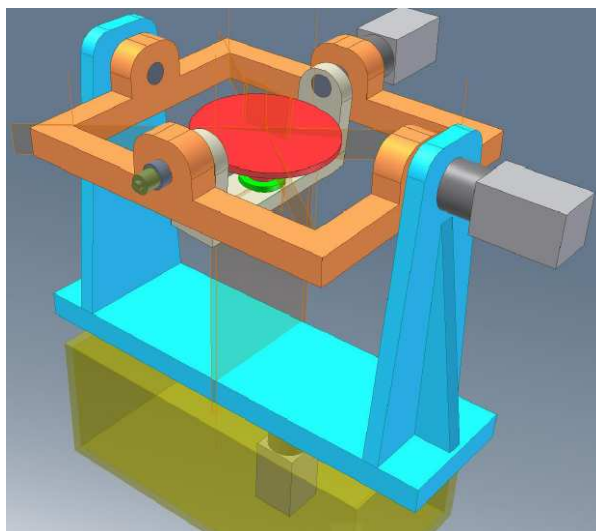
Konstruktéři, kteří se podíleli na návrhu možné konstrukce TZ-IRJ předali k posouzení celkem 5 variant mechanické konstrukce TZ-IRJ. Konečná varianta mechanické konstrukce TZ-IRJ (viz obr. 3-1 a 3-2) umožňuje pohyb ve všech třech osách, přičemž vlastní výrobu je možné realizovat ve dvou etapách.

Zajištění otáčení měřeného zařízení ve všech třech osách rotace může zajistit pouze „klasický“ Cardanův rám, který bude vhodně upraven a doplněn elektrickými pohony pro ovládání každého rámu, přičemž měřený objekt je umístěn do středu os rotace.



Obr. 3-1: Konečná varianta TZ-IRJ – základní pohled

Ideový návrh bude ještě mírně dopracován. Z důvodu statického a dynamického vyvážení (i při malých rychlostech je vhodné vnitřní půlram – šedý doplnit na plný rám a samozřejmě jej zvětšit tak, aby bylo možné umístit i větší zařízení na dostavnou plochu - červená a celou tuto plochu posunout výrazně dolů. Velikost takto vzniklého vnitřního rámu ovšem musí být menší, než je vnější rám – béžový, aby bylo možné konat pohyby vnitřního rámu v plném rozsahu 360°. Vnější rám je pak zakotven na podstavec, který z hlediska výroby by měl zajišťovat potřebnou stabilitu TZ-IRJ. V druhé etapě se pak podstavec umístí na vhodně konstruovaný blok (světle zelená), který zajistí svislou osu otáčení celého podstavce i obou rámu. Zda otáčení kolem svislé osy bude realizováno přes naznačený převod, nebo bude vytvořeno vnitřní ozubené kolo většího průměru, čímž by se mohlo dosáhnout vyšší stability celého TZ-IRJ, je spíše úkol pro konstruktéry.



Obr. 3-2: Konečná varianta TZ-IRJ - druhý pohled

4 Závěr

Článek podává přehled o sestavě a hlavních požadavcích na testovací zařízení z hlediska vyvození pohybů s testovanou jednotkou. Zcela nezanedbatelné bude ověření funkčnosti TZ-IRJ při využití existující, již oceňovaného měřicího zařízení. Bude tedy vhodné získat pro kontrolní měření některá přesná měřidla (magnetického kurzu, náklonu či sklonu a zrychlení), přičemž tato měřidla mohou být rozměrově větší a měřící pouze jednu veličinu. Nepůjde tedy úplně o IRJ, nicméně pro ověření přesnosti nastavování parametrů na TZ-IRJ budou nutná a velmi vhodná

Literatura

- [1] Kolektiv autorů, Výzkum a vývoj high-end technologií pro zvýšení bezpečnosti a komfortu letu lehkých a ultralehkých letadel, OPROX, a.s., Brno
- [2] JALOVECKÝ, R.: Možnosti měření IRJ a návrh testovacího zařízení IRJ, Dílčí výzkumná zpráva projektu MPO ev. č. FT-TA3/104, Výzkum a vývoj technologií pro řízení ultralehkých a lehkých letadel, 60 str., OPROX, a.s. prosinec 2006, Brno
- [3] ČIŽMÁR, J.: Vývoj inerciální referenční jednotky, Dílčí výzkumná zpráva projektu MPO ev. č. FT-TA3/104, Výzkum a vývoj technologií pro řízení ultralehkých a lehkých letadel, 60 str., OPROX, a.s. prosinec 2006, Brno
- [4] MACKO, M.: Ideový projekt testovacího zařízení pro zjištění individuálních korekčních funkcí IRJ, Dílčí výzkumná zpráva k projektu MPO Výzkum a vývoj technologií pro řízení letu ultralehkých a lehkých letadel s kódovým označením FT-TA3/104, OPROX, a.s. prosinec 2006, Brno

Príspevek prezentuje současný stav ve vývoji testovací jednotky pro leteckou inerciální referenční jednotku, která je vyvíjena firmou OPROX, a.s. ve spolupráci s Univerzitou obrany za podpory Ministerstva průmyslu a obchodu České republiky v rámci projektů průmyslového výzkumu (projekt FT-TA3/104).

Informační systém v radiotechnickém zabezpečení letectva AČR.

mjr. Ing. Jaroslav Jeřábek,
Univerzita obrany Brno, email: jaroslav.jerabek@unob.cz, tel.: +420-973-445-226

Resumé:

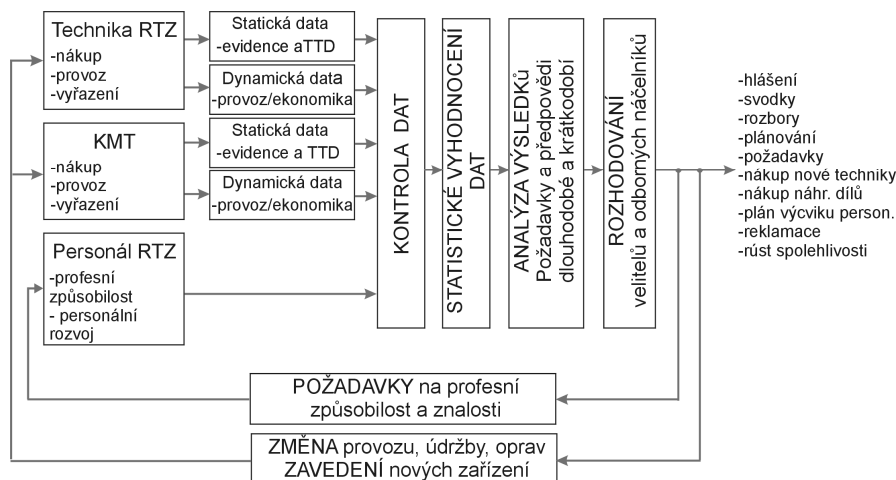
Článek pojednává o návrhu způsobu sledování provozních a ekonomických parametrů radiotechnických systémů letectva AČR pomocí moderního informačního systému.

1 Úvod

Sledování provozních a ekonomických parametrů dnešních zařízení je více než nutností. Uživatele a provozovatele technických systémů k tomu vede několik důvodů:

- potřebují znát skutečné informace o provozních stavech sledovaných zařízení (počty odpracovaných hodin, počty závad, doby obnovy, atd.) a jejich spolehlivosti,
- potřebují znát skutečné náklady na životní cyklus provozovaných zařízení,
- potřebují odhadnout náklady na provoz zařízení do budoucna,
- na základě shromážděných provozních údajů predikují některé stavy zařízení (výskyt poruchy, provedení speciální údržby nebo nálezové opravy,
- a jiných.

Tyto potřeby vyvstaly i při vyhodnocování provozu systémů radiotechnického zabezpečení (RTZ) letectva Armády České republiky (AČR). Jako nejvýhodnější způsob vyhodnocování provozu se jeví použít informačního systému (IS) postaveného na bázi moderních počítačových technologií. Jedině tak velitelé a odborní náčelníci, na všech stupních managementu RTZ, dostanou do ruky silný nástroj pomáhající jim v jejich rozhodovacím procesu. Tento IS musí být navržen podle vhodně stanovených kritérií a jeho základním cílem je optimalizovat proces provozování prostředků a systémů RTZ. Tedy IS musí být schopen sbírat provozní parametry, vyhodnocovat je a výsledky zobrazovat vhodnou formou, tak aby uživatelé-manažeři mohli efektivně řídit provoz techniky RTZ a plánovat její rozvoj a obměnu. Filosofie IS sledující provozní a ekonomické parametry systémů RTZ („pracovně“ nazvaného informační systém RTZ – tedy IS RTZ) je na následujícím obr. 1-1.



Obr. 1-1: Filosofie IS RTZ

Provozními parametry jsou myšleny ukazatele hodnotící spolehlivost systému. Zejména u již provozovaných zařízení pohotovost určenou dvěmi základními složkami - bezporuchovostí a opravitelností.

Ekonomické parametry jsou obecně charakterizovány náklady vynaloženými na spolehlivost. V praxi to znamená vyhodnocovat náklady životního cyklu zařízení RTZ a pomocí nich dále vyhodnocovat ekonomickou efektivnost provozování daného zařízení v našem případě systémů RTZ.

V tomto článku bude používán pojem technika RTZ místo pojmů prostředek nebo systém RTZ.

Požadavky na IS RTZ jsou specifikovány tak, aby tento IS sledoval nejen provozní a ekonomické parametry obecně techniky RTZ, ale i jí přidělené kontrolní měřící techniky (KMT) a provozní způsobilost personálu RTZ, protože obě posledně zmíněné oblasti mají významný vliv na provoz techniky RTZ

2 Požadavky na informační systém sledující provoz systémů RTZ

Požadavky na IS RTZ je nutno členit do několika skupin specifikující jeho vlastnosti.

2.1 Požadavky na hierarchii IS RTZ

V tomto IS je nutné jasně stanovit požadované úrovně hierarchie, činnosti které na nich budou probíhat a pravidla, kterými se budou uživatelé tohoto IS řídit.

- a) Úroveň sběru a kontroly údajů o provozu techniky RTZ

Na této úrovni by měly obsluhy techniky RTZ přesně stanoveným způsobem zadávat do IS RTZ vybraná provozní data a jejich přímí nadřízení (velitelé a odborní náčelníci služby RTZ) tuto činnost kontrolovat a autorizovat.

- b) Úroveň vyhodnocování údajů o provozu techniky RTZ

Na této úrovni by měla být nashromážděná data vyhodnocena. Za použití metod matematické statistiky a pravděpodobnosti by bylo vhodné vypočítávat základní parametry spolehlivosti. Za použití ekonomických metod [například analýzy nákladů životního cyklu – analýza LCC (Life Cycle Cost) a metody jednotkových nákladů] určit náklady životního cyklu a podle nich vyhodnotit ekonomickou efektivnost provozu techniky RTZ.

Touto úrovní se rozumí nejvyšší management služby RTZ na taktickém a operačním stupni velení a řízení (příklad taktického stupně: letecké základny, brigáda velení řízení a průzkumu nebo střediska oprav techniky RTZ, příklad operačního stupně: Velitelství společných sil AČR).

- c) Úroveň prezentace a dalšího zpracování vyhodnocených údajů o provozu techniky RTZ

Na této úrovni řídicí pracovníci by měli získané výsledky implementovat do procesu řízení a poskytovat získané výsledky dalším organizačním složkám AČR, výrobcům techniky RTZ, školicím a výcvikovým zařízením.

Touto úrovní se rozumí nejvyšší management služby RTZ na operačním a strategickém stupni velení a řízení (příklad strategického stupně: Generální štáb AČR a Ministerstvo obrany ČR).

2.2 „Přívětivost“ navrhovaného IS RTZ

IS RTZ by měl být navržen jako „uživatelsky přívětivý“ Tento pojmem nám říká, že navržené uživatelské rozhraní musí umožňovat jednoduché, přehledné a intuitivní ovládání, takové aby

bylo co nejméně náročné na výcvik uživatelů. Jednoduše řečeno „musí se s ním dát dobře pracovat“.

Přívětivost IS RTZ je daná pomocí následujících ukazatelů:

a) filosofie a cíle IS RTZ

Hlavní funkcí navrhovaného IS RTZ by měl být sběr provozních a ekonomických parametrů techniky RTZ, následovaný statistickým vyhodnocením. Tyto výsledky dále transparentní formou prezentovat tak, aby velitelé a odborní náčelníci podle nich mohli efektivně řídit provoz techniky RTZ a plánovat její rozvoj a obměnu.

Doplňkovou funkcí IS by bylo jeho využití pro evidenci používání a údržbu KTM používané u techniky RTZ a případně sledování provozní způsobilosti personálu RTZ.

b) použité technologie,

První kroky návrhu by měly směřovat k tomu, aby byl IS RTZ projektován jako modul již existujícího podobného IS například Informačního systému logistiky nebo informačního systému inženýrské letecké služby letectva APV APIS. Důvodem je jednodušší zavedení do používání a šetření finančních zdrojů za kompletní vývoj a provozování dalšího IS v AČR.

Nebude-li možné IS RTZ navrhnout jako modul již existujícího IS, bude nutné jej navrhnout jako samostatný IS. V tom případě by měl mít co nejširší použití i v jiných složkách AČR. IS RTZ musí být navržen na bázi moderních perspektivních síťových technologií a databázových systémů, otevřený, s možností dalšího rozvoje a modernizace (možnost výměny aplikací spravující databáze, možnost přidání dalších funkcí). V současnosti je nejvíce používáno webových technologií definující formáty založené na funkčním oddělení serveru a klienta.

c) bezpečnost IS RTZ

Bezpečnost je nutné definovat organizačně a technicky. V organizační je potřeba definovat umístění přístupových bodů tedy terminálů. Tyto budou vždy ve vojenských objektech se standardním zabezpečením v uzavřené místnosti, kam mohou vstoupit jen určení pracovníci.

Je nutné stanovit stupeň utajení spravovaných dat. Stupeň utajení musí zajistit požadovanou bezpečnost celého systému a nesmí komplikovat provoz celého IS RTZ. Proto by bylo nejlepší užít stejný stupeň utajení jako u ŠIS (tedy „VYHRAZENĚ“). Technický přístup k bezpečnosti IS RTZ by měl stanovit že přístupové terminály by měly být postaveny na bázi PC s operačními systémy Windows 2000 a vyšší nebo na Unixové platformě se stejnou bezpečností. Dále přenos dat po vojenských LAN a WAN jejichž bezpečnost je již prověřena.

d) přístup do IS RTZ

IS RTZ by měl být navržen jako vojenský uzavřený systém přístupný jen k určenému okruhu uživatelů. Tito uživatelé budou přistupovat k IS RTZ metodou autentizace a autorizace (tedy zjištěním a prokázáním totožnosti – standardně uživatelským jménem a heslem). Uživatelé budou řádně proškoleni pro práci s tímto systémem a budou vlastnit příslušný certifikát opravňující je k práci s IS RTZ. Uživatele bude vhodné rozdělit do několika kategorií s různým přístupem. A to podle jejich zastávaných funkcí a příslušnosti k organizačnímu stupni AČR.

e) komunikace s uživatelem IS RTZ

Tato by měla probíhat formou školení a osobních setkání hlavně ve fázi „zaučování se“ uživatelů při zavádění IS RTZ. Pro běžný provoz bude potřeba připravit kvalitní nápovědu

(help) zakomponovanou do aplikace a linku podpory. Mohou být použity i jiné metody například výukové CD, DVD nebo webové stránky. V rámci školení uživatelů bude rovněž důležité přesvědčit je o potřebě využívání tohoto IS RTZ a o nutnosti sledování provozních a ekonomických dat techniky RTZ.

f) personalizací

První možností při aplikace personalizace na IS RTZ je nastavení uživatelského prostředí podle oprávnění uživatelů. Tímto jsou optimalizovány informační toky, protože každý uživatel může zobrazit nebo zadat jen to na co má oprávnění.

Druhou možností je individuální možnost nastavení vzhledu a chování IS uživatelem. Toto se dá provést ve třech úrovních:

- Uživatelská definice vzhledu IS RTZ minimálně v počátku jeho používání nebude potřebná. Později drobné změny vzhledu komunikačního prostředí nebo zobrazování nápovědních textů by bylo vhodné zavést pro zvyšování komfortu ovládání.
- Nastavení systémových politik IS RTZ úzce souvisí s nastavením vzhledu. V tomto případě nastavení používání tiskáren, výstupních formátů pro tisk a zobrazení, upřednostňování určitých informací, atd. bude vhodné provést.
- Definice zástupných aplikací IS RTZ je činnost vhodná pro pokročilé uživatele v případě IS RTZ jen pro administrátory a správce systému. Teprve až po určitém čase lze vyhodnotit, jestli tuto možnost nastavení zpřístupnit i dalším uživatelům.

g) designové prvky

Budoucnost IS spočívá v dokonalém návrhu jeho designu. Efektivita IS se vztahuje k jeho velikosti, počtu funkcí a jak jej uživatel dokáže využít. Základní efektivitu vyjadřují tři charakteristiky:

- Čitelnost IS (Readability) je charakterizována používáním shodného vzhledu stránek, nevypouštěním bílých (prázdných) míst, vizuálním uspořádáním stránky, zavedením zvýrazňujících prvků a umírněného používání stylistických prvků. Vzhled IS RTZ by se samozřejmě měl řídit právě těmito zásadami.
- Snadnost prohlížení (Browsability) je dána hlavně logickým tříděním dat a informací. Dále seskupováním podobných pojmů skupin a používáním hypertextových odkazů. IS RTZ bude obsahovat obrovské množství informací a snadnost jeho prohlížení musí být jedna z jeho stěžejních vlastností. Browsability je charakterizována dalšími znaky jako je jednoduchá navigace v systému, systém „myslí stejně“ jako uživatel, podobné složky tvoří jednu skupinu, systém lze „vidět na první pohled“, nabízení vysvětlujících textů, používání navigačních tlačítek, atd.
- Snadnost vyhledávání v informačním systému (Searchability) znamená snadný a rychlý přístup k informacím. To je dosaženo zavedením vyhledávacích služeb u IS, které jsou charakterizovány logickým tříděním informací, zjednodušeným vyhledáváním známých položek a nezávislostí práce na IS.

Přitom IS RTZ musí dále splňovat všechny podmínky efektivnosti, bezpečnosti, personalizace, designu a dalších podmínek, které běžný uživatel nevidí.

2.3 Modulární koncepce navrhovaného IS RTZ

Takováto struktura zabezpečí jednoznačné oddělení dat od programu, čímž se zjednoduší zálohování dat, místní a dálková správa programu. Další výhody se objeví při údržbě, opravě, rozšiřování nebo úplné změně koncepce IS. Modulární řešení IS RTZ je naznačeno na obrázku číslo 2-1.

a) Jádru IS RTZ

To musí řídit chod celého systému a komunikaci jednotlivých modulů.

b) Moduly techniky RTZ

Tento modul by měl obsahovat základní evidenční data sledované techniky a hlavně sebraná data o provozu dané techniky. Daty o provozu se myslí například počty odpracovaných hodin, počty závad a základní údaje o nich, doby obnovy provozuschopnosti techniky RTZ.

c) Modul ekonomických dat

Modul ekonomických dat je databáze obsahující ekonomická data týkající se celého životního cyklu techniky RTZ. Jsou to například náklady na provoz, údržbu, opravy, výcvik personálu.

d) Modul KMT

Tento modul bude obsahovat podobná data jako v předcházejícím modulu s tím rozdílem, že budou vztažena na kontrolní a měřicí techniku používanou u systémů RTZ. Sledovat tuto kategorii KMT je důležité protože pomocí ní se nastavují základní provozní parametry systémů a prostředků RTZ.

e) Modul personálu RTZ

Tento modul by měl obsahovat základní identifikační data personálu RTZ. Jeho funkcí je sledovat platnost třídy specialisty RTZ a platnost průkazů způsobilosti s přidělenou typizací specialistů RTZ. Tyto údaje je třeba sledovat protože úzce souvisejí s provozem techniky RTZ.

f) Modul statistických výpočtů

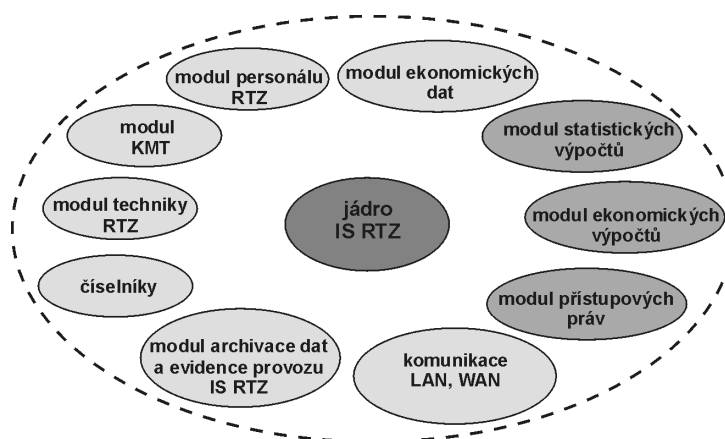
Modul statistických výpočtů by obsahoval obsahuje program s matematickým aparátem provádějící statistické výpočty provozních parametrů techniky RTZ. Zpracovává data z Modulů techniky RTZ, KMT a personálu RTZ. Jeho výstupem by byly výsledky statistických výpočtů, tabulky, grafy, textové sestavy, tiskové sestavy, ...

g) Modul ekonomických výpočtů

Modul ekonomických výpočtů obsahuje program s matematickým aparátem provádějící výpočty analýz LCC a jednotkových průměrných nákladů. Zpracovává data z Modulu ekonomických dat. Jeho výstupem jsou výsledky ekonomických výpočtů, tabulky, grafy, atd.

h) Modul komunikace LAN a WAN

Modul komunikace LAN a WAN by zabezpečoval přenos dat mezi jednotlivými terminály a serverem dané lokality. Další funkcí by byl přenos dat mezi danou lokalitou a centrálním serverem.



Obr. 2-1: Ideový návrh modulárního řešení IS RTZ

i) Modul archivace a evidence provozu IS RTZ

Tento modul by obsahoval program určený k zálohování dat jednotlivých modulů. Také by měl obsahovat aplikaci provádějící evidenci provozu IS RTZ. Potom bude mít administrátor přehled o činnosti uživatelů, provozu a závadách IS. Tato aplikace výrazně ulehčí správu IS RTZ.

j) Modul číselníků

Je to databáze definující formu všech dat používaných a zadávaných do IS. Zabezpečuje to, aby data popisující tentýž stav nebo událost byla stejná. Uživatel potom databázi většinou vyplní způsobem zadávání údajů přes roletové menu.

k) Modul přístupových práv

Modul přístupových práv obsahuje účty všech uživatelů IS RTZ. Definuje práva každému uživateli a způsob přístupu k jednotlivým funkcím a datům

3 Závěr

Sledování provozních parametrů techniky RTZ pomocí informačního systému přináší mnoho výhod. Jen krátce budou uvedeny ty nejvýznamnější:

- sběr provozních údajů a příslušné výpočty probíhají rychle a automatizovaně,
- databáze techniky může být neomezeně velká,
- získané informace poskytují reálný přehled o provozované technice,
- získaná data lze dále zpracovat nebo poskytnout jinému informačnímu systému,
- takovýto způsob vyhodnocování provozních parametrů tvoří základ pro vyšší systémy - například systémy péče o jakost.

Zavedení IS RTZ je v počátku ideových návrhů, zjišťování jeho potřeby a specifikace jeho předpokládaných vlastností. Každopádně jeho zavedení je předpokladem výrazného zefektivnění řízení služby RTZ.

Literatura

- [1] ČSN EN 61014, Program růstu bezporuchovosti. Český normalizační institut, 2004, 44 s.
- [2] ZNAMIROVSKÝ, K.: Provozní spolehlivost strojů. Praha, SNTL, 1989.
- [3] ČSN IEC 706-3, Pokyny k udržovatelnosti zařízení, Část 3: oddíl 6 a 7, Ověřování a sběr, analýza a prezentace údajů.
- [4] NEFOVÁ, H.: Nové postupy uplatňované při návrhu uživatelsky přívětivého informačního systému. Teze disertační práce. Brno, Mendlova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, 2002

Informatizace Metrologické služby AČR.

mjr Ing. David Kallab

Ministerstvo obrany ČR, email: kallab@seznam.cz, tel.: +420-973-206-003

Resumé:

Příspěvek mapuje dosavadní vývoj informatizace Metrologické služby AČR až po současný stav. Jsou zde nastíněny možné další směry vývoje informačního systému podporující požadavky Metrologického zabezpečení a dále jsou zde v krátkosti shrnuty dvě různé cesty řešení informatizace Metrologické služby USAF (AFMETCAL) a Metrologické služby Pozemních sil USA (USATA).

1 Vývoje informatizace metrologické služby

Od 2. poloviny 80. let dochází k zavádění výpočetní techniky formou řídicích jednotek kalibračních systému. V té době se jednalo o samostatné řídicí jednotky, na nichž se provozovala lokální evidenční a kalibrační aplikace. Toto historicky nedocenené období má ve své podstatě nezastupitelnou úlohu, od této doby jsou na profesi armádního metrologa kladeny další nároky na studium a to především v oblasti obsluhy, případně i programování těchto systémů. Nelze obecně deklarovat „co metrolog, to programátor“, ale v metrologické službě dochází k profilování skupiny osob, která se oblastí programování seriózně a intenzivně věnuje.

Začátkem 90. let, kdy vznikla Ústřední základna pro metrologii a technický dozor v Praze (dále jen ÚZMTD) a Metrologická laboratoř letectva v Brně (dále jen MLL), dochází v obou těchto laboratořích k vytvoření programátorských týmů, jejichž hlavní úlohou byla tvorba speciálního kalibračního programového vybavení. Zásadním zlomem v této oblasti byl rok 1995, na jehož počátku dochází k zásadní reorganizaci výkonných metrologických prvků na úrovni základny (pluku). V rámci toho byla vytvořena metrologická střediska (a začleněna do nově ustanovené struktury AČR) jako základní výkonné prvky služby a byly zavedeny tzv. spádové oblasti, tj. oblasti, které byly v daném rozsahu působnosti zabezpečovány jednotlivými středisky. Následující rok dochází k postupnému nákupu kalibračních systémů na bázi multifunkčního kalibrátoru P-120X (výrobce fa Meatest), jehož součástí je i řídicí jednotka ve formě stolního PC. Jako první bylo touto technikou vybaveno 5 metrologických středisek leteckých základen a MLL Brno. V následujících letech dochází k dalším nákupům těchto, modernizovanějších systémů na bázi kalibrátoru P-130X (včetně řídicích jednotek ve formě PC) a jsou vybavována i ostatní metrologická střediska pozemních vojsk.

V roce 1995 dochází k zásadní reorganizaci AČR včetně reorganizace metrologické služby. V rámci této reorganizace je vytvořena síť středisek metrologie a technického dozoru. Od tohoto období se datuje první oficiální snaha vytvořit vlastní informační systém pod pracovním názvem „Měřidlo“. Od roku 1996 je aktivitou pracovníků MLL Brno vyvíjen konkurenční nástroj na vedení metrologické evidence, který svými dalšími moduly podporuje i požadavky výkonných prvků na řízení toku zakázky tímto prvkem. Projekt nesl označení MESS – metrologický evidenční subsystém.

1.1 Program Měřidlo

Program je v letech 1997 až 2004 stanoven v plánovacích dokumentech Generálního štábu jako informační systém určený ke sběru dat a plánování činností v oblasti metrologie a odborného technického dozoru (dále jen OTD). Nástroj je vytvořen v prostředí FoxPro (Microsoft) jako „DOSovská“ aplikace. Systém je vyvíjen od roku 1995, do užívání byl

nasazen počátkem roku 1996. Nástroj je nasazen za účelem vybudování evidence kontrolní měřicí techniky (dále jen KMT) a určených technických zařízení (dále jen UTZ) a pro potřeby vytvoření požadavku na kalibraci nebo revizi. Obsluha programu neposkytuje žádný uživatelský komfort a má komplikovanou obsluhu. V prostředí Microsoft Windows 95 (a výše) je jeho provoz nestabilní. Uživatelé programu, kteří jsou povinni vkládat potřebná data, nemohou uvedené informace využívat (vyjma vytvoření požadavků na kalibraci, opravu a revizi) v činnostech spojených např. s krátkodobým plánováním výkonného prvku služby. Uživatelé programu tak nemají téměř žádný užitek z dat, která vkládají. Systém rozlišuje tři uživatelské úrovně, které umožňují určitý okruh specifikovaných činností:

- **Uživatel** - Umožňuje vytvoření evidence KMT a UTZ a vytvoření požadavku na kalibraci a opravu KMT nebo revizi UTZ.
- **Řídicí stupeň** - Umožňuje přijmout požadavek na kalibraci, opravu nebo revizi a na základě kapacit podřízeného výkonného prvku přidělit volnou kapacitu uživateli.
- **Výkonný prvek služby** - Umožňuje přijmout přidělené požadavky od nadřízeného stupně. V systému je možné vytvářet zpětné hlášení o plnění plánu a předávat jej nadřízenému stupni.

Zásadními problémy při používání programu Měřidla jsou:

- absolutní oddělení od materiálové evidence,
- neaktuálnost dat,
- problematická kompatibilita s kalibračními systémy (spíše nekompatibilita),
- nestabilita programu (FoxPro v DOSu),
- uzavřenost systému.

Z výše uvedených skutečností plyne mimo jiné i to, že data shromažďovaná v programu Měřidlo nelze využívat v řídicích programech kalibračních systémů. Součástí kalibračních systémů jsou totiž programy, které pro svou potřebu musí udržovat parciální databázi kalibrovaných přístrojů. Program Měřidlo principiálně neumožňuje poskytnout (nebo sdílet) patřičná data a tak téměř totožný soubor informací se musí vkládat ručně nejen do Měřidla, ale i do ostatních kalibračních programů.

S programem Měřidlo je spojeno několik dalších významnějších komplikací. Prostřednictvím tohoto systému probíhalo plánování na datech platných v předcházejícím kalendářním roce na následující kalendářní rok. Výstupem byl detailní plán kalibrací a revizí, který je díky neaktuálním vstupním datům již v době vyhotovení ve své podstatě nerealizovatelný. To v důsledku znamená, že převážná většina kalibrací a revizí je prováděna operativně jako neplánovaná při současném nesplnění původního plánu. Celý proces plánování v programu Měřidlo díky špatně navrženému modelu postrádá jakýkoliv smysl. Podrobněji, včetně konkrétního případu, jsem tento problém popsal v [1].

Výše popsaný stav a praxe to jednoznačně potvrdila, že plánování v programu Měřidlo bylo neefektivní a od roku 2005 již nebyly požadavky v tomto programu vyžadovány. Fakticky tak došlo k zastavení jeho používání.

1.2 Informační systém MESS

V letech 1999 až 2004 byl u vybraných středisek a v Metrologické laboratoři Vzdušných sil v Brně (dále jen MLVzS) nasazen do zkušební provozu informační systém MESS 4 (dále jen MESS). Program byl vytvořen v prostředí Delphi (Imprise) s využitím databázových technologií SQL. Jeho základní charakteristiky jsou uvedeny v následující části. Stejně jako systém Měřidlo není napojen na centrální materiálovou evidenci techniky v AČR.

MESS je určen pro podporu činností metrologických středisek (laboratoří), běžných uživatelů měřicí techniky a je rozdělen do těchto hlavních částí:

- **Evidence KMT** - Umožňuje vedení evidence kontrolní a měřicí techniky s mnoha údaji o uživateli (kdo provádí kalibrace techniky, způsobu použití a priority kalibrací, apod.). Vede tzv. historii kalibrací. Modul obsahuje nástroje pro selekci podle všech shromažďovaných parametrů a jejich vzájemných kombinací.
- **Vedení zakázek** - Modul je určen k vedení zakázek u laboratoře (střediska). U každé zakázky se evidují veškeré údaje spojené s distribucí (předání mezi pracovníky a dispečerem apod.), metrologickými úkony a dalšími neproduktivními úkony. Podstatně ulehčuje manipulaci měřidla při předávání KMT na kalibraci do MLVzS.
- **Modul QM** - Modul umožňuje skupině kontroly a jakosti sledovat a podle zadaných kritérií vybírat zakázky pro kontrolu jakosti práce jednotlivých pracovníků.
- **Modul Řízení laboratoře** - Umožňuje managementu laboratoře provádět analýzy a selekce dat dle mnoha kritérií a jejich vzájemných kombinací.

Jednou ze základních vlastností systému je selektivní přístup k využívání jednotlivých komponent systému a přímá podpora čárového kódu (pokud měřidlu byl čárový kód přidělen). Od verze 4.2 je podporována autorizace prostřednictvím certifikačních čipových karet.

Od verze MESS 4.2 je součástí dodávky i komponenta pro MESSWEB určená pro prezentaci vybraných dat prostřednictvím technologii WEB. Hlavní přínos lze spatřovat v tom, že uživatel má k dispozici komplexní údaje o přístroji na který byla vystavena zakázka.

Systém je od svého vzniku koncipován jako síťový s využitím SQL serveru InterBase a to i pro jednouživatelskou verzi. Výhoda tohoto řešení spočívá v jeho dlouhodobě prověřené bezpečnosti dat. SQL server může pracovat na různých platformách operačních systémů (MS Windows, Linux, Unix). Vybraná lokální data jsou uložena ve formátu Paradox, který umožňuje velmi rychlý přístup. Minimální požadovaný operační systém pro jednouživatelskou verzi nebo síťového klienta je MS Windows 95 a vyšší. Hardwarové nároky odpovídají běžným doporučením pro jednotlivé verze operačních systémů.

Koncem roku 2001 byl zastaven zkušební provoz tohoto IS u zainteresovaných metrologických středisek Vzdušných sil AČR, provoz byl ponechán pouze u MLVzS Brno. Důvody tohoto kroku nejsou dodnes zřejmé. Zrušením MLVzS Brno (dříve MLL Brno) a s její následnou redisloukací do nové posádky v Pardubicích byl ukončen i provoz IS MESS.

2 Informatizace AFMETCAL a USATA

Na tomto místě bych rád uvedl, že jsem záměrně vybral následující dva modely informatizace. Důvod, proč byly vybrány právě tyto služby se svými informačními systémy, je jediný. V rámci programu „Mil-To-Mil contact“ a při pozdějších aktivitách bylo právě těmito metrologickými službami poskytnuto maximální množství informací. Navíc se oba modely koncepčně liší, což nám může pomoci při hledání vlastního řešení v podmínkách AČR.

2.1 IS metrologické služby Vzdušných sil USA - PAMS II

Metrologická služba Vzdušných sil USA (program Air force metrology and calibration – dále jen AFMETCAL) zajišťující podporu testovacích, měřicích a diagnostických zařízení u vzdušných sil. AFMETCAL je organizačně včleněn do 562^d Combat Sustainment Group, které je podřízeno jednomu z hlavních velitelství vzdušných sil USA – Velitelství materiálů vzdušných sil (HQ Air Force Materiel Command). AFMETCAL zaměstnává vojáky a civilní

zaměstnance ve svých řídicích i organizačních prvcích rozmístěných v celém světě. Úkolem AFMETCAL je zajištění kalibrací a oprav měřicí techniky a diagnostických zařízení, což je zabezpečováno hierarchií strategicky rozmístěných stacionárních kalibračních laboratoří. Tyto laboratoře jsou vybaveny standardními soubory etalonů a pomocným zařízením. Soubory etalonů se modernizují podle potřeb tak, aby se zamezilo jejich zastarávání a současně se umožnilo začleňování nových technologií. Návaznost všech etalonů a tím i všech měřicích přístrojů je zabezpečena návazností laboratoří až na Národní institut pro etalonáž a technologie (NIST), který je podřízeným organizačním prvkem Ministerstva obchodu USA. Řetězec návaznosti hodnot měřené veličiny je tedy: zbraňový systém – prostředky měřicí, testovací a diagnostické techniky (TMDE) – laboratoř přesné měřicí techniky (dále jen PMEL) – laboratoř primárních etalonů vzdušných sil (dále jen AFPSL) – národní institut pro etalonáž a technologie (NIST).

Úkolem AFMETCAL není prosté provádění měření, ale jsou odpovědní za centralizované řízení a koordinaci činnosti více než 2000 civilních zaměstnanců a vojáků ve více než 90 PMEL laboratořích po celém světě, včetně laboratoří zahraničních zákazníků (států), které jsou v péči USA v rámci programu podpory zahraničních uživatelů vojenské techniky (dále jen FMS). K plnění těchto úkolů byli delegováni jako skupinový materiálový manažer (dále jen MGM) – pro program AFMETCAL. Tzn., že zabezpečují centralizované akviziční služby jak etalonáže, tak s ním spojeného technologického vybavení pro PMEL laboratoře i AFPSL.

Pro automatizaci operací AFMETCAL používá automatizovaný systém označovaný jako PAMS II (PMEL Automated Management System II) a je určen k řízení metrologického zabezpečení ve vzdušných silách USA. PAMS II poskytuje následující služby a vede:

- záznamy o provedené údržbě (Asset Maintenance Records),
- plán činnosti (Workload Scheduling),
- sledování platnosti kalibrace a vyzývá uživatele (Traceability and Recall),
- sledování práce a nákladů (Labor and Cost Tracking),
- údaje o kalibračním prostředí (Environmental Data),
- údaje o programu kvality (Quality Program),
- archivace dat údržby (Maintenance Data Collection),
- technickou dokumentaci (TOs : 00-20-14, 33K-1-100, Weapon System CMT),
- generování zpráv a přehledů (Report Generator).

Software je vytvořen ve vývojovém prostředí MS Visual Basic a provozován nad MS SQL. Vývoj, nasazení a programovou a datovou údržbu realizuje tým 6-ti pracovníků, kteří jsou organizačně zařazení na velitelství AFMETCAL. Systém je provozován na vnitřních počítačových sítích US Air Force. Zajímavostí je, že mobilním jednotkám podporující kontingenty v zahraničních misích je přístup k využívání služeb systému PAMS zprostředkován cestou sítě Internet.

Systém PAMS II se dá považovat za komplexní systém podpory celého programu AFMETCAL. Jeho vývoj se datuje (podle poskytnutých podkladů v rámci programu Mil-To-Mil contact) od začátku 90. let m.s. Podle těchto pramenů byl AFMETCAL vlastníkem měřicí techniky a uživatelé ji dostávali zapůjčenou.

Na základě zkušeností a potřeb bojových jednotek dochází k centralizaci u jednotlivých druhů vojsk, v důsledku toho dochází i k postupnému budování globálního bojového systému USAF se zřejmým cílem poskytnout komplexní podporu bojových operací ze strany logistiky.

Identifikovány tři základní fáze nasazení PAMS:

- Přejít od lokálně provozovaných aplikací k centrálně spravované DB aplikaci, centralizování databází všech prvků (72) při zachování funkcionality.

- Tvorba WEB aplikace umístěné na portále USAF, přidání dalších požadavků ze strany AFPSL, tvorba nástrojů pro hlášení schopností AFMETCAL a AF logistického centra.
- Migrace aplikace do globálního bojového systému podpory USAF (možná obdoba PIS v AČR) a vytvoření rozhraní s ním. Včlenění dalších požadavků PMEL.

V současné době se budování nachází ve 2. fázi a jsou činěny postupné kroky k přechodu na fázi 3. Podle dostupných informací má systém vytvořen rozhraní pro výměnu dat s kalibračními systémy. AFMATCAL zajistí dodavatelům služeb (označovaných jako kontraktoři) přístup do systému PAMS. [2]

2.2 IS TIMMS metrologické služby Pozemních sil USA

USATA (U. S. Army Test, Measurement and Diagnostic Equipment Activity) je organizační struktura ozbrojených sil USA, která zajišťuje podporu testovacích měřících a diagnostických zařízení u pozemních sil. Zaměstnává vojáky i civilní zaměstnance a její prvky jsou rozmístěny v celém světě. Úkolem je zajištění přesnosti a správnosti měření, což je zabezpečováno hierarchií strategicky rozmístěných stacionárních a mobilních kalibračních laboratoří. Tyto laboratoře jsou vybaveny standardními soubory etalonů a pomocným zařízením. Přesnost všech etalonů a tím i všech měřících přístrojů je zabezpečena návazností hierarchie laboratoří až na Národní institut pro etalonáž a technologie (NIST).

Laboratoře APSL jsou v Redstone Arsenal v Alabamě a představují nejvyšší úroveň etalonáže v pozemním vojsku USA. Druhým stupněm v armádě jsou referenční laboratoře, kterých je 13 a třetím stupněm jsou transfer laboratoře, které zabezpečují přímo uživatele zpravidla výjezdovým způsobem.

V každém z regionů je minimálně jedna referenční laboratoř, která (-é) tvoří základ podpory TMDE na teritoriu, tuto laboratoř(-e) pak doplňují transfer laboratoře. Těch je celkem 59 a jsou rozmístěny podle dislokace zabezpečovaných míst (vojenské jednotky nebo uskupení, sklady, opravny atd.). Asi 5 - 10% zabezpečovaných TMDE přichází od uživatelů přímo do APSL. Mezi stupni = úrovněmi laboratoří byl původní poměr 4:1, který se v důsledku stále přesnější výzbroje a s tím souvisejících TMDE zmenšuje.

Příklad významu zabezpečení TMDE nezbytných pro efektivitu (účinnost) zbraňových systémů na vrtulníku:

- testovací zařízení pro Pitotovy trubice
- testovací zařízení pro odsávání
- testování momentových klíčů
- testovací zařízení na rozpoznávací zařízení (IFF)
- testování čidel nočního vidění pilota
- testování zaměřovacích a naváděcích systémů na cíl
- testování systémů elektronického boje
- a další kalibrované položky (vizuální, IČ a laserové zaměřovací systémy; testovací zařízení pro elektronickou výbavu; elektrooptická zařízení, zdroj IČ záření Santa Barbara, měřidla tlaku).

Všechny zbraňové systémy mají části, které vyžadují kalibrace, aby bylo dosaženo připravenosti, přesnosti a bezpečnosti jejich provozování.

USATA se zabývá komplexním zabezpečením testovacích, měřících a diagnostických zavedených a zaváděných zařízení. Její působení je od schválení akvizičních požadavků až po vyřazování z užívání. Je správcem informačního systému (programu) TIMMS (TMDE

Integrated Material Management System), který slouží jako základ pro evidenci, zavádění, sledování provozu a údržby TMDE. Dále se zabývá vědou a výzkumem v metrologii, inženýrskou podporou kalibrací etalonů a obecně testovacích, měřících a diagnostických zařízení.

Informační systém TIMMS (TMDE Integrated Material Management System Ver. 1.06), o kterém již byla zmínka výše, tvoří základ evidence a plánování údržby TMDE. Se svými cca 19 tisíci položkami je týdně aktualizován a naplňován údaji z referenčních a transfer laboratoří.

Informační systém TIMMS se při běžné práci využívá v lokální verzi, jednou týdně se provádí přenos dat do centrální databáze – ta je přístupná (hierarchicky) přes internet (zde rozdíl proti informačnímu systému vzdušných sil AFMETCAL, který je on-line a odpadá tudíž sehrávání dat). V systému je propojení katalogu materiálu se zásobovacím systémem. Data ze vzdálených pracovišť (např. Balkán) jsou přenášena prostřednictvím médií. [3]

3 Současnost informatizace metrologické služby AČR

3.1 Informační systém logistiky (ISL)

ISL je mohutný nástroj podpory logistiky AČR. Před jeho praktickým využitím Metrologickou službou brání následující fakta:

- ISL neumožňuje jednoznačně identifikovat skupinu materiálu s příznakem „je měřidlo“.
- ISL v současné době nepodporuje základní požadavky Metrologické služby ke kterým patří především vedení veškerých zařízení podléhajících kalibraci. Kvalifikovaný odhad provedený koncem roku 2005 předpokládá přibližně 20% měřidel stojících mimo materiálovou evidenci. Tato zařízení podléhající kalibraci jsou vedena jako součást vyšších celků (souprav). K této skutečnosti je dlužno dodat, že to není problém disfunkčnosti systému ISL, ale je to problém zavedení rozpadu souprav do ISL,
- Faktická uzavřenost ISL vůči kalibračním systémům, která je dána mnohokrát diskutovaným požadavkem na bezpečnost a integritu dat,
- ISL nedisponuje adekvátním uživatelským rozhraním na editaci a zadávání dat ke specifické skupině techniky – měřící přístroj,
- ISL nedisponuje potřebnými plánovacími nástroji pro (polo)automatizované zpracování plánů na kalibrace nebo nákupu služby u civilního dodavatele.

Na základě těchto zjištění mohou konstatovat, že ISL není v současné době schopen poskytnout požadovanou žádnou podporu Metrologické službě. Požadavky na patřičnou úpravu ISL byly ze strany OdMTD ŘeLogZdrP předloženy.

3.2 Prozatímní řešení

Dosavadní zkušenosti (provoz programu „Měřidlo“ a IS MESS) a poznatky (získané např. v rámci programu „Mil-To-Mil contact“) jednoznačně potvrdily, že efektivní řízení metrologické služby se neobejde bez automatizovaných nástrojů hromadného zpracování dat. OdMTD ŘeLogZdrP bylo postaveno před úkol vyřešit neúnosnou situaci s provozem programu Měřidlo a pro Metrologickou službu nefunkčním ISL. Bylo nutné najít náhradní řešení, které pokryje (za minimálních nákladů na vývoj, výrobu, distribuci a správu IS) potřeby Metrologické služby do doby nasazení nového funkčního IS, případně implementace požadavků do ISL. Tímto řešením, a je nutné zdůraznit, že nouzovým, je evidence vedená v sešitu MS Excel.

Základní formát dat vedený v sešitu MS Excel je strukturou dat identický s ISL. Dále jsou zde doplněny další položky (sloupce), které umožňují z takto vedené evidence měřicí techniky (a určených technických zařízení) vytvářet požadavky na kalibrace (revize). Toto řešení nepředstavuje vrchol programátorského umu ani nevyužívá možnosti celoarmádní datové sítě (vyjma využití elektronické pošty pro zasílání parciální evidence). Představuje však kompromis mezi informačními potřebami jednotlivých prvků metrologického zabezpečení (uživatel měřicí techniky, řídicí a výkonné prvky metrologické služby), náklady na vývoj, nasazení, provoz a správu systému a jednoduchou obsluhou.

Lokální správa dat samozřejmě vyžaduje od řídicích prvků Metrologické služby zvýšené úsilí při koordinaci uspokojování požadavků uživatelů měřicí techniky a výkonných prvků metrologické služby.

ŘeLogZdrP v současné době jedná s řídicím orgánem ISL o potřebných úpravách stávajícího ISL. Jakým způsobem a kdy, budou tyto požadavky za strany ISL naplněny však v současné době není známo.

4 Možné cesty dalšího vývoje

Metrologická služba AČR zabezpečuje kalibrace (konfirmasiace, opravy) měřicí techniky v počtu téměř 30000 kusů. Koordinace činností všech prvků metrologického zabezpečení vyžaduje velké úsilí při uspokojování těchto požadavků uživatelů měřicí techniky. Na základě výše uvedených faktů jednoznačně plyne potřeba podpořit jednotlivé činnosti metrologické služby relevantním informačním systémem, který bude rámcově splňovat následující požadavky na:

- vedení evidence měřicí techniky,
- registrace a vytváření požadavků na kalibrace kontrolní měřicí techniky,
- proces plánování a vytěžování volných kapacit výkonných prvků metrologické služby,
- generování požadavků na nákup služeb u civilních dodavatelů služeb kalibrací a oprav KMT,
- průběžné vyhodnocování efektivnosti výkonných prvků metrologické služby,
- řízení výkonných metrologických prvků a
- v neposlední řadě bude poskytovat selektivně relevantní informace jednotlivým uživatelům měřicí techniky.

Způsob jakým dojde k naplnění těchto požadavků záleží na rozhodnutí příslušných funkcionářů AČR a také na možnostech zdrojového rámce AČR. Cesty jsou v podstatě dvě:

- Implementace požadovaných služeb do ISL,
- Vývoj vlastního informačního subsystému.

Obě varianty řešení mají své klady a zápory jejichž podrobný rozbor přesahuje mez tohoto příspěvku. Jedna vlastnost budoucího informačního systému Metrologické služby je však zřejmá již dnes – základem metrologické evidence bude materiálová evidence vedená v ISL.

5 Závěr

Směr vývoje informatizace metrologické služby je v současné době pro většinu prvků metrologického zabezpečení velkou neznámou a dá se pouze s jistou mírou pravděpodobnosti předvídat. Jakýkoliv ze zvolených směrů však nesmí zapomínat na nejdůležitější prvek metrologického zabezpečení a tím je samotný uživatel měřicí techniky.

6 Poděkování

Poděkování patří OdMTD ŘeLogZdrP Stará Boleslav za poskytnutí cenných podkladů a výměnu zkušeností při informatizaci Metrologické služby AČR.

7 Použité zkratky

562d CBSG	562d Combat Sustainment Group	562. bojová udržovací skupina
AFMETCAL	Program Air Force Metrology & Calibration	Metrologická služba USAF
IS		Informační Systém
ISL		Informační Systém Logistiky
kalibrace		Porovnávání metrologických vlastností měřidla s etalonem organizace. V této práci se kalibrace rovná confirmaci z hlediska činností nikoliv obsahu.
KMT		Kontrolní měřící technika
konfirmace		Viz. kalibrace
Měřidlo		Název programu pro vedení evidence měřící techniky a tvorbu metrologických požadavků
měřidlo		Zařízení určené k měření = měřící přístroj
ML		Metrologická laboratoř
MLVzS (dříve MLL)		Metrologická laboratoř Vzdušných Sil (Metrologická laboratoř letectva)
NIST	National Institute of Standards and Technology	Národní institut pro standardizaci a technologie (v ČR ekvivalentní úřad - ČMI)
OdMTD		Oddělení metrologie a technického dozoru Ředitelství logistické a zdravotnické podpory ve Staré Boleslavi
OTD		Odborný technický dozor
ŘeLogZdrP		Ředitelství logistické zdravotnické podpory
PAMS II	PMEL Automated Management System II	Automatizovaný systém řízení laboratoří typu PMEL
PMEL	Precision Measurement Equipment Laboratory	ekvivalent metrologického střediska v AČR
TMDE	Test, Measurement and Diagnostic Equipment	Soubor měřící a diagnostické techniky
USAF	US Air Force	Vzdušné síly USA
USATA	U.S. Army Test, Measurement and Diagnostic Equipment Activity	Metrologická služba Pozemních sil USA
UTZ		Určené technické zařízení
VT		Výzbroj a Technika

výkonný prostředek
(výkonný prvek)

Metrologické středisko, laboratoř,
metrologické pracoviště, revizní místo –
pracoviště pověřené prováděním kalibrací a
ověřováním měřidel nebo revizemi UTZ

ÚZMTD

Ústřední Základna Metrologie a Technického
Dozoru

Literatura

- [1] KALLAB, D.: Informační systém pro potřeby metrologické služby AČR. Brno, Vojenská akademie, 2002, 71 s.
- [2] 562d Combat Sustainment Group [online].: dostupný z WWW:<http://www.afmetcal.af.mil/PublicHome/traceability/publictraceability.htm>, 2006, [cit. 2007-01-07].
- [3] VESELÁK, Z.: Informační zpráva ze zahraniční služební cesty v USA. Stará Boleslav, Velitelství logistiky Stará Boleslav, 1999. 6 s.

Analýza použití COTS datových sběrnic pro použití v letectví

Ing. Ondřej Koukol

Honeywell Aerospace s.r.o., email: ondrej.koukol@honeywell.com, tel.: +420-234-625-634

Resumé:

Rámec disertační práce popsané v tomto příspěvku se zabývá problematikou uplatnění komerčních datových sběrnic z oblasti COST (Commercial/Cost Off The Shelf) v oblasti letectví. V rámci práce je zhodnocen současný stav problematiky včetně základního přehledu používaných řešení a vztahované legislativy. Další částí je návrh metodiky certifikace takové datové sběrnice, která by měla sloužit pro tyto procesy. Tento návrh je založen na praktických zkušenostech a spolupráci s Úřadem pro civilní letectví Česká Republika (ÚCL) a Federal Aviation Administration (FAA).

Jako zástupce těchto komerčních řešení byla zvolena datová sběrnice Controller Area Network (CAN), pro kterou je v praktické části dle této metodiky ověřena vhodnost jejího použití v letectví a provedeny laboratorní a jiné průkazy jejích vlastností. Tyto práce byly prováděny na Systému Avionických Modulů (SAM), implementovaného do letounu Ae 270.

1 Současný stav problematiky

1.1 Obecně

Od konce 90. let minulého století je v oblasti letectví patrný velký vzestup projektů, za kterými nestojí velké společnosti či vojenský výzkum, ale menší firmy často s mezinárodní účastí, které se snaží na trhu prosadit s řešeními, které technologicky a kvalitativně odpovídají patentovaným či drahým řešením a přesto jsou finančně méně náročná a dostupnější.

Důvodem tohoto stavu je základní předpoklad pro úspěch na volném trhu a to ekonomická návratnost projektu, která tlačí jeho vývojové i výrobní náklady na minimum. Požadavkem takové firmy je poté využívat řešení, která jsou dostatečně spolehlivá a přesto ekonomicky výhodná.

Bylo jen otázkou času, kdy se v leteckých projektech začnou vyskytovat materiály dříve známé z kosmického výzkumu, 3D modelování aerodynamických vlastností a také datové sběrnice. Ty byly v předchozích letech doménou především velkých dopravních letadel či vojenských strojů. S postupem doby je však bylo nutné implementovat i do malých a levných letounů. Pro ty ovšem nebylo možné využívat zastaralé technologie, které již nevyhovovaly jak svými vlastnostmi, tak například přítomností licenčních poplatků, patentů apod. Proto je možné sledovat velmi rychlý posun k využívání datových sběrnic, které jsou původně určeny pro průmyslové využití, především v automobilech. Jejich určení do této cílové průmyslové oblasti totiž poskytuje dobrou výchozí pozici pro uplatnění v letectví, neboť jsou zde určeny pro stejně kritické aplikace jako v automobilech.

I pro datové sběrnice se tak začala uplatňovat řešení Commercial/Cost Off The Shelf (COTS). Tato řešení představují software a hardware, který je v základu již hotový či navržený, ale uvolněný k volnému použití. U datových sběrnic je tato vlastnost představována např. základním návrhem komunikačního protokolu či fyzické vrstvy a konečné řešení si zájemce upraví podle požadavků svého projektu.

Problémem ve zmiňovaném procesu není tedy technologie, bezpečnost či finanční stránka věci, ale certifikace systému postaveného na COTS sběrnici pro použití na letecké technice. Tento problém je způsobený především absencí pravidel či směrnic pro takový proces. Ačkoliv certifikace např. letounu postupuje podle stanovených závazných pravidel

(např. FAR pro USA či Part pro Evropu), popisovaný systém tvoří tak zásadní část, že je nutné ho posuzovat samostatně a to včetně bezpečnostního hlediska, technického řešení, spolehlivosti atd. Na tuto oblast ale v dnešní době všeobecně závazná pravidla nepamatují a každý případ je řešen podle pravidel stanovených pro každý proces zvlášť. To je pochopitelně drahé a neefektivní, ale především to klade překážky novým projektům. Klasickým případem je proces certifikace letounu Ae-270 a jeho Systému Avionických Modulů SAM postaveném na COTS komunikační sběrnici CAN.

Z výše uvedených důvodů vznikla předložená disertační práce, která si klade za cíl vytvořit metodologii vhodnou pro certifikaci COTS datových sběrnic pro provoz na letecké technice a zároveň na příkladu komunikační sběrnice CAN a systému SAM zhodnotit vhodnost jejího použití v letecké technice.

1.2 Přehled používaných datových sběrnic a protokolů

V níže uvedeném přehledu jsou zastoupeny jak technologie, které se na letounech používají od konce minulého století, tak technologie, které se teprve na trhu prosazují nebo které dokonce na svůj nastup teprve čekají. Zástupci starších řešení jsou datové sběrnice MIL-STD-1553 a ARINC 429, které již ustupují z trhu, nicméně jsou stále zřejmě nejrozšířenějšími sběrnicemi ve stávajících dopravních i bojových letadlech. Datové sběrnice a protokoly CAN, TTP a AFDX je možné prohlásit za zástupce nových technologií, které byly uvedeny do komerčního využití v posledních letech. Na závěr uvedené protokoly byteflight a FlexRay patří do kategorie řešení, které se nyní prosazují v příbuzných oborech k letectví, především automobilní technice a jejich použití v letectví je jen otázkou času a úspěšných referenčních projektů.

Zde je třeba zmínit rozdíl mezi pojmy sběrnice a protokol. Sběrnici je chápáno médium, pro které specifikace definuje fyzickou, linkovou (přenosový protokol) i aplikační vrstvu. Naopak protokol obvykle nemá definovanou fyzickou vrstvu, pro kterou mohou být použity různé standardy a proto je zde vhodnější použít pojem komunikační rozhraní.

Sběrnice	Max. rychlost	přenosová	Přenosové médium	Max. počet prvků	Topologie
byteflight	10 Mbit/s		optika	22	hvězda
MIL-STD-1553	1 Mbit/s		twist	32	sběrnice
ARINC 429	100 kbit/s		twist	20	hvězda/sběrnice
CAN	1 Mbit/s		twist	255	sběrnice
AFDX	100 Mbit/s		twist/optika	4096	hvězda
FlexRay	10 Mbit/s		twist/optika	2047	twist-sběrnice/hvězda optika-sběrnice
TTP/C	2-25 Mbit/s		twist/optika/Ethernet	64	sběrnice/hvězda

Pozn.: zde uváděný pojem „sběrnice“ popisuje topologii, nikoliv komunikační rozhraní

Tab. 1-1: Základní parametry sběrnic

Sběrnice	Datový paket	Chybové mechanismy	Chybová tolerance
byteflight	12 Byte	CRC	opakované vysílání
MIL-STD-1553	16 bit	lichá parita	off mód uzlu při překročení vysílacího času
ARINC 429	19 bit	lichá parita	3×opakované vysílání, poté příjem bezchybné části zprávy
CAN	8 Byte	CRC, bit stuffing	čítače chyb, při překročení aktivní, pasivní či off mód
AFDX	1471 Byte	n/a	kontrola integrity, zálohovací management
FlexRay	254 Byte	CRC	struktura statických slotů kontrolována v uzlech, dynamické bez kontroly
TTP/C	16 Byte	CRC	strom poruch, hypotéza „single fault“, kontrola v uzlech

Tab. 1-2: Přehled chybových mechanismů

Sběrnice	Popis	Aktuální aplikace	Rok uvedení
byteflight	Vyvinuto pro kritické aplikace v automobilech, optické médium	automobily BMW	1999
MIL-STD-1553	Vysoká spolehlivost, drahé řešení, převážně vojenské použití	letectví (vojenské)	1973
ARINC 429	Pouze jednosměrná komunikace, jeden vysílač – více přijímačů	letectví (civilní)	1977
CANAerospace	Deterministická komunikace založená na prioritě zpráv, certifikované v letectví	letectví, automobily	1998
AFDX	Pro rozsáhlé systémy, použití Ethernet standardů	letectví (A380)	1999
FlexRay	Kritické systémy x-by-wire v automobilech, statická a dynamická část zprávy	automobily	1999
TTP/C	Vylepšená verze TTP pro automobilní průmysl, větší spolehlivost	automobily, letectví	1997

Tab. 1-3: Charakteristika sběrnic

Ve srovnání těchto sběrnic je obtížné zvolit obecně nejvhodnější sběrnici, protože výsledný výběr je vždy velmi závislý na příslušném projektu. Lze ovšem vyřadit sběrnice MIL-STD-1553B a ARINC 429 jako představitele starších řešení, které již do budoucna nebudou postačovat svojí přenosovou kapacitou. Jejich použití by mohl zdůvodnit pouze nutný požadavek použití (např. vojenský projekt) či nutnost zpětné kompatibility se stávajícím vybavením. Je zde ale nutno zmínit inovaci protokolu MIL-STD-1553B, která se pravděpodobně pod názvem Hyper-1553 stane brzy nástupcem původního řešení. Přenosová rychlost je pak více než 100 Mb/s v síti se simultánním provozem na rychlosti 1 Mb/s.

Sběrnice AFDX je výborným řešením pro budoucí velké dopravní letouny s množstvím systémů. Možná vyšší cena její implementace je u takto velkých projektů vyvážena její užitnou hodnotou, pro letouny třídy General Aviation apod. se pravděpodobně nevyplatí.

Protokol FlexRay má jednu velkou nevýhodu a to že jeho vývoj ještě není zcela uzavřen a teprve v příštích letech se její kvality mohou projevit v certifikovaných systémech automobilů. Poté již zřejmě nebude nic bránit předpokladu použití na letecké technice.

Pro protokol byteflight mluví jako velká výhoda použití optického vlákna jako přenosového média. Tím jsou velmi eliminovány problémy s rušením apod. Možnou nevýhodou bude složitější instalace vedení, spojují apod. narozdíl od běžných vodičů. Sběrnice s tímto protokolem je však již používána v automobilech BMW a má velký potenciál růstu.

Protokol TTP/C představuje do budoucna téměř jisté rozšíření v letecké technice a to jak díky již běžícím projektům s původním protokolem TTP, tak v jejím spojení s protokolem sběrnice CAN do protokolu TTCAN, který spojuje výhody obou řešení.

Jedním z nejtýpějších představitelů COTS datových sběrnic je Controller Area Network CAN. Tato datová sběrnice je používána s mnoha různými protokoly, přičemž cíleně pro letectví je určen protokol CANAerospace. Toto řešení je také použito v závěru práce k ověření teoretických závěrů.

1.3 Metodika ověření vlastností COTS sběrnice pro účely certifikace

Vzhledem k neexistenci obecně platného principu, podle kterého by bylo možné certifikovat běžnou komerční sběrnici v letectví, vznikl tento návrh který certifikační proces rozděluje do několika částí, ve kterých se definuje jak musí být konkrétní bod průkazu splněn, tedy např. analýza nebo zkouška. Zde je tato metodika uvedena pouze ve zkrácené verzi.

§ 1 Dostupnost přenosového rozhraní

- a) Definice způsobu přístupu ke komunikačnímu rozhraní
- b) Priorita zpráv
- c) Definice zpoždění zprávy
- d) Spolehlivost přenosu zpráv

Způsob průkazu – analýza + měření

V této analýze musí být popsána teorie komunikačního protokolu, principy přístupu ke komunikačnímu rozhraní a organizace přenosu zpráv. Součástí analýzy musí být statistické výpočty možných zpoždění, případně podpořené měřeními, které prokáží že vlivem zpoždění nedochází k omezení funkce zařízení.

§ 2 Chybový management

- a) Chybová odolnost
- b) Chybové mechanismy
- c) Chybová tolerance

Způsob průkazu – analýza + měření

Analýza musí obsahovat popis použitého chybového managementu, jeho možnosti a omezení. Dále musí průkaz obsahovat zprávu z měření, během kterého jsou v systému generovány (simulovány) chyby a je sledováno chování celého systému.

§ 3 Parametry přenosového rozhraní

- a) Přenosová kapacita

- b) Zátěžová analýza
- c) Závislost přenosové rychlosti na délce vedení
- d) Odolnost přenosového média proti vnějším vlivům
- e) Odolnost proti přerušení/zkratování sběrnice
- f) Návrh software a hardware

§ 4 Postup testování

- a) Sestavení simulátoru
- b) Zkoušky
- c) Dokumentace

§ 5 Ostatní vlastnosti

- a) Počáteční podmínky, restart
- b) Komerční dostupnost
- c) Návrhové prostředí

2 Ověření sběrnice CAN dle navržené certifikační metodiky

Jako doplnění teoretických závěrů příslušných kapitol tohoto dokumentu, týkajících se vlastností sběrnice bylo zpracováno i jejich praktické ověření. Tyto testy sběrnice CAN probíhaly na standu Systému Avionických Modulů (SAM) firmy UNIS, zapojeného do stejné podoby jako na letounu Ae270 při využití aktuálních verzí software jednotlivých modulů. Tento stand sloužil mimo jiné k ověření funkcí jednotlivých modulů, ověření uživatelského rozhraní atd. Výsledky získané z měření v těchto podmínkách sloužily jako podklad pro další zpracování.

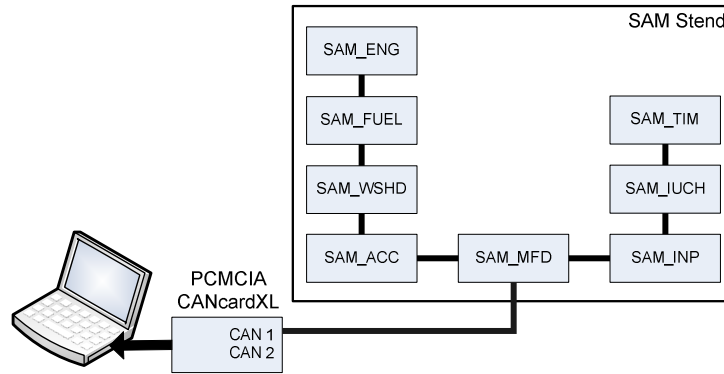


Obr. 2-1: Stend systému SAM

Komunikační rozhraní

Jako komunikační rozhraní byla použita PCMCIA karta CANcardXL (analyzátor s rozhraním CAN) s níže uvedeným programovým vybavením, obsahující dvoukanálové rozhraní sběrnice CAN od firmy Vector.

Na obrázku níže je znázorněno blokové schéma celého pracoviště, sloužícího pro všechny uváděné testy. Pro spojení PCMCIA karty s CAN rozhraním a standu SAM byla pro běžné testy (kromě testu odolnosti proti rušení) použita kroucená stíněná dvojlinka, která je použita i pro vzájemné propojení všech modulů.



Obr. 2-2: Blokové schéma měřicího pracoviště

Programové prostředí

Jako programové prostředí byl využit software dodávaný k výše zmíněné kartě a to program CANalyzer (verze 4.1.50). Dále byla použita nadstavba tohoto prostředí, programovací jazyk CAPL (The CAN Access Programming Language), ve kterém byl vytvořen speciální generátor signálu, který nebyl obsažen v základním programu.

Toto prostředí používá modulové uspořádání, kdy je do modelu systému možné přidávat jak předem definované prvky, tak pomocí CAPL programovat nové.

2.1 Provedené testy

2.1.1 Ověření doby odezvy komunikačního rozhraní

Pro ověření vypočtené doby odezvy sběrnice CAN byl v programu CANalyzer pomocí speciálního programového prostředí CAPL (CAN Access Programming Language) naprogramován časovač, který v intervalu 1 s posílal na sběrnici trojice zpráv s různými identifikátory. Následně proběhl statistický sběr dat, ve kterém bylo prokázáno, s jakou pravděpodobností je mezi zprávy vložena na základě menšího identifikátoru (tedy vyšší priority) jiná zpráva.

Zhodnocení odezvy sběrnice CAN

Z naměřených výsledků jasně vyplývá, že největší vliv na prodloužení odezvy sběrnice má přiřazení zprávy k danému identifikátoru v rámci protokolu CANaerospace. Z naměřených hodnot je tedy možné jednoduše zjistit, jaká pravděpodobnost prodloužení odezvy je přiřazena k příslušnému intervalu identifikátorů.

Při srovnání s matematickým modelem odezvy sběrnice můžeme dojít k závěru, že v situaci reálného vytížení sběrnice, je maximální možné zpoždění zprávy v řádu milisekund. Uvedený matematický model počítá s nejhorším možným případem vysílání všech zpráv ve stejném okamžiku. Je ale patrné, že tato skutečnost může nastat pouze se zanedbatelnou pravděpodobností.

2.1.2 Zátěžová analýza

Při měření reálného vytížení sběrnice CAN bylo vycházeno z předpokladu, že sběrnice je nejvíce zatížena při zobrazení stránek HOME1, HOME2 a HOME3 na multifunkčním displeji SAM_MFD. Tyto stránky obsahují nejvíce informací, obnovovaných v intervalu 1 sekunda. Zatížení sběrnice při zobrazení jiných stránek bylo ověřeno pouze orientačně. Měření probíhalo při zapojení celého systému SAM s připojeným analyzátozem CAN. Pro větší

názornost vytížení při možné chybě na sběrnici byl do systému uměle zaveden chybový rámec, vysílaný s periodou 1 s. Měření probíhalo po dobu 60 s.

Zhodnocení vytížení sběrnice CAN

Z uvedených výsledků je patrné, že reálné průměrné vytížení sběrnice se pohybuje v rozmezí cca 3,3-13 % a to i v případě výskytu chybových rámců na sběrnici. Kapacita sběrnice s danými parametry (přenosová rychlost 27,717 kbps) je tedy pro systém SAM více než dostatečná.

Teoretický model vykazuje poměrně dobrou shodu se skutečným průběhem vytížení sběrnice CAN.

2.1.3 Ověření chování SAM při zahlcení sběrnice CAN

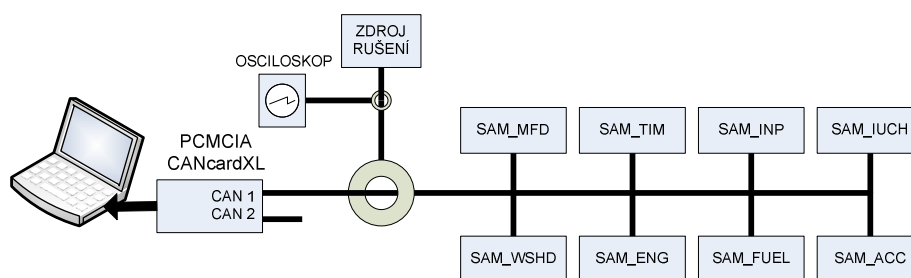
Pro simulaci vysokého zatížení byly do systému vysílány následující zprávy s krátkou dobou opakování, které zvýšily zatížení sběrnice na průměrnou hodnotu 92,26 %. Celkem se tedy jedná o přidání cca 166 zpráv/1 s.

Zhodnocení vysokého vytížení sběrnice

Po zhodnocení naměřených hodnot můžeme dojít k závěru, že ani vysoké vytížení sběrnice, které navíc v běžném provozu nenastává, není překážkou v činnosti systému SAM. Závěrem je však nutné konstatovat, že pro systém s takovým počtem zpráv je nutné použít vyšší komunikační rychlost resp. frekvenci.

2.1.4 Odolnost přenosového média

Pro zkoušku ovlivnění sběrnice byla jako část sběrnice použita nestíněná nekroucená dvojlinka, v jejíž bezprostřední blízkosti byly prováděny pokusy o ovlivnění dat rušivými signály a následně proběhlo vyhodnocení v programu CANalyzer. Blokové schéma zapojení pracoviště je uvedeno na obrázku níže. Pro propojení komunikační karty CANcardXL a stendu systému SAM použita nekroucená nestíněná dvojlinka.



Obr. 2-3: Zapojení pracoviště pro test odolnosti proti rušení

Jako zdroj rušení byl použit přípravek firmy UNIS, odpovídající zkušebnímu zařízení dle normy RTCA DO-160 (kapitola 19 – Ovlivnitelnost indukovanými signály). Tento přípravek generuje s periodou 10 Hz sled špičkových impulsů dlouhý cca 5 μ s. Amplituda impulsů je cca 600 V.

Zhodnocení odolnosti proti rušení

Z údajů získaných měření je patrné, že i při vysokých intenzitách rušení nedochází k výskytu vyššího počtu ErrorFrames. I v případě jejich výskytu nedojde k destrukci zprávy a ta je následně korektně doručena. Dále také nedochází ke zvýšení zatížení sběrnice.

Experimenty byly záměrně prováděny na horším přenosovém médiu (nestíněná dvojlinka), než specifikuje norma CAN, tak aby k poškození přenosu docházelo ve větší míře. V běžném

zařízení či systému je však obvykle použita stíněná kroucená dvojlinka (stejně jako na letounu Ae 270). Z toho plyne, že skutečný vliv rušení na sběrnici je ještě menší než v průběhu měření, což by pro účely experimentu nebylo tak názorné. I při této podmínce však na sběrnici probíhal provoz přesně podle daných postupů, ErrorFrames byly detekovány a správně byly zahájeny opravné procedury, které zabezpečily správný přenos zprávy.

3 Závěr

Práce byla zpracována na základě reálných požadavků současného leteckého průmyslu v České Republice a měla by napomoci rozvoji výrobních programů v leteckém odvětví.

- Prvním dílčím cílem bylo zpracování analýzy v současnosti používaných datových sběrnic, komunikačních rozhraní a protokolů. Tato oblast byla zpracována v teoretické části (tezích) předkládané práce a zahrnovala široký přehled a zhodnocení nejpoužívanějších řešení a možností jejich uplatnění v letectví. Jako typický představitel pro následnou demonstraci byla zvolena datová sběrnice CAN s komunikačním protokolem CANaerospace.
- Dalším dílčím cílem bylo vypracování podrobné metodiky pro postup certifikace komerční datové sběrnice pro použití v letectví. Tato metodika byla zpracována na základě znalostí požadavků certifikačních autorit ČR a USA, různých doporučení, poradních oběžníků atd. a podává ucelený návod pro certifikační proces obecné datové sběrnice. Použitím navrženého postupu při vývoji nového systému s komerční datovou sběrnici je možné se vyvarovat základních nedostatků a zvýšit efektivitu celého procesu.
- Následujícím dílčím cílem byl detailní popis sběrnice CAN, který byl zpracován na základě mnohaletých zkušeností s tímto typem sběrnice, dostupných specifikací, odborných článků a poskytuje detailní průřez celou specifikací včetně popisu komunikačního protokolu CANaerospace, určeného pro přímé použití v letectví.
- Jedním z dílčích cílů práce bylo praktické ověření vlastností sběrnice CAN dle vytvořené metodiky. Tím byly jak detailně ověřeny vlastnosti této sběrnice, ale zároveň i korigován návrh metodiky, tak aby v co největší míře odpovídal zvoleným požadavkům. Požadované zkoušky byly prováděny na Systému Avionických Modulů (SAM) implementovaného do dopravního letounu Ae 270 třídy General Aviation.
- Závěrečné zhodnocení všech výsledků dílčích zkoušek je uváděno především přímo u jednotlivých průkazů či zkoušek. Obecně lze prohlásit, že sběrnice CAN je mimořádně vhodná pro použití v letectví, což v průběhu všech zkoušek prokázala svou spolehlivostí.

Každý proces certifikace jakéhokoliv systému pro použití v letectví je mimořádně časově i finančně náročná činnost, zvláště pokud se jedná o dosud málo ověřené řešení. V současnosti probíhá v tomto odvětví velký technologický rozvoj, který potřebná legislativa dohání s určitým zpožděním. Proto není divu, že i v průběhu práce na této disertaci vzniklo několik dokumentů s podobným zaměřením. Rozdílem je ale zaměření této disertace přímo na sběrnice z oblasti COTS, tedy cenově i technologicky dostupných řešení. Jsem pevně přesvědčen, že výsledky předkládané práce je možné v budoucnu používat při nových projektech s jakoukoliv komerční datovou sběrnici.

Noise and signal processing for EMAT NDT

Ing. Michal Kubínyi

Technická 2,166 27 Prague 6, email: kubinm2@fel.cvut.cz, tel.: +420-224-352-061

doc. Ing. Radislav Šmíd PhD.

Technická 2,166 27 Prague 6, email: smid@fel.cvut.cz, tel.: +420-224-352-131

Resume:

An ultrasound defectoscopy is worldwide used in the testing of materials and structures. Most transducers used for ultrasonic nondestructive testing (UNDT) are based on piezoelectric materials due to their ability to convert electric energy to mechanical energy and vice versa. This work is looking for ways to apply the non-contact ultrasound defectoscopy (EMAT - Electro-Magnetic Acoustic transducers) in the airplane inspection. The specific aeronautical conditions require high speed testing to reduce time when an airplane stays in a hangar for the inspection between its flights. The structural analyses are crucial in evaluation of airplane safety. Regarding to low EMAT conversion efficiency there are needed filtration methods of acquired signal. Choosing the most efficient signal processing method among others is based on EMAT noise expertise.

1 Experimental system

1.1 EMAT

EMAT (Electro-Magnetic Acoustic Transducer) is a non-contact method to generate ultrasound in conductive materials. Ultrasound materiology uses a high frequency acoustic pulses which go from probe through tested object, and reflect of the structural interface. The advantage of ultrasound materiology compared to other NDE (Nondestructive Evaluation) is relatively high sensitivity for in volume defects, it is possible to test different kinds of materials and results are known directly after examination.

High frequency mechanical oscillations (ultrasound) in the inspected material is produced via Lorentz force described in Eq. (1-1).

$$F = q \cdot v \times B_s \quad (1-1)$$

where F is Lorentz force (N), $q \cdot v = J$ eddy current density ($A \cdot m^{-2}$), B_s induction of static magnetic field (T).

Lorentz force is produced by magnetic field from probe display on Figure (1-1). In this system is not important couplant between tested object and probe like in piezoelectric transducers system.

1.2 Ultrasound signal

Drive coil is driven by high frequency pulses. The frequency of pulses is same as the ultrasound frequency. Generated signal is propagated through tested object. The signal is affected by system electronics, material constitution, graininess which in general means reflects from dividing lines between two materials. Therefore the acoustic wave will be scattered, not only by the defects, but also by a myriad of micro-structures that will cause the received signal to exhibit a random behavior. This signal, which is induced by the backscattering from the material micro-structure, is commonly called clutter.

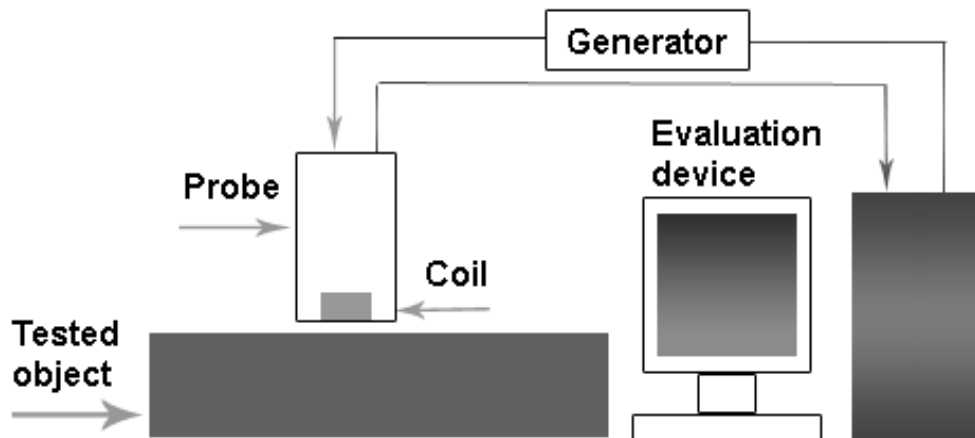


Figure 1-1: EMAT system scheme

2 Signals for processing

2.1 Measured data

This paper is focused on noise analyses of received signals. This should lead to better understanding which signal processing method is better and why. On the Figure (2-1) there is an image of received EMAT signal. This signal consists of back-wall echo, flaw echo which is hidden in the background noise.

This data set was selected because very low signal to noise ratio is typical for EMAT signal. Also no averaging was chosen to analyze basic level of information placed in every signal.

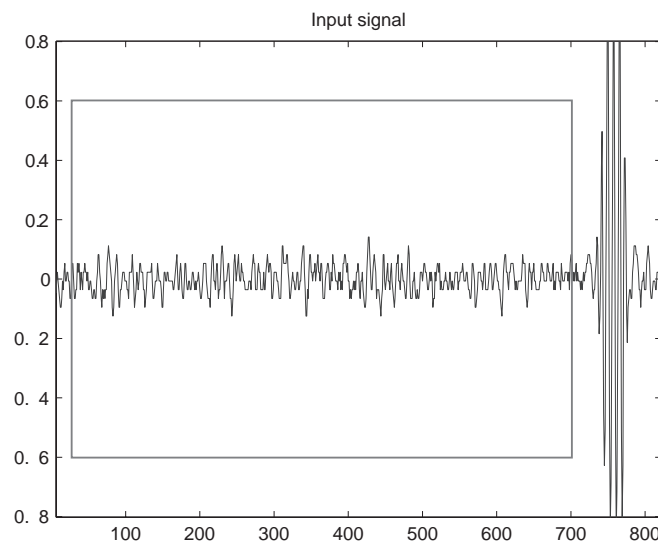


Figure 2-1: EMAT output signal

2.2 Power spectral analysis

Figure (2-2) shows power spectral density from signal displayed on Figure (2-1). Detail on Figure (2-2) describes mostly unwanted signal because back-wall echo is not present and

probably only flaw echo could bring stronger 5,1 MHz frequency component from ultrasound wave.

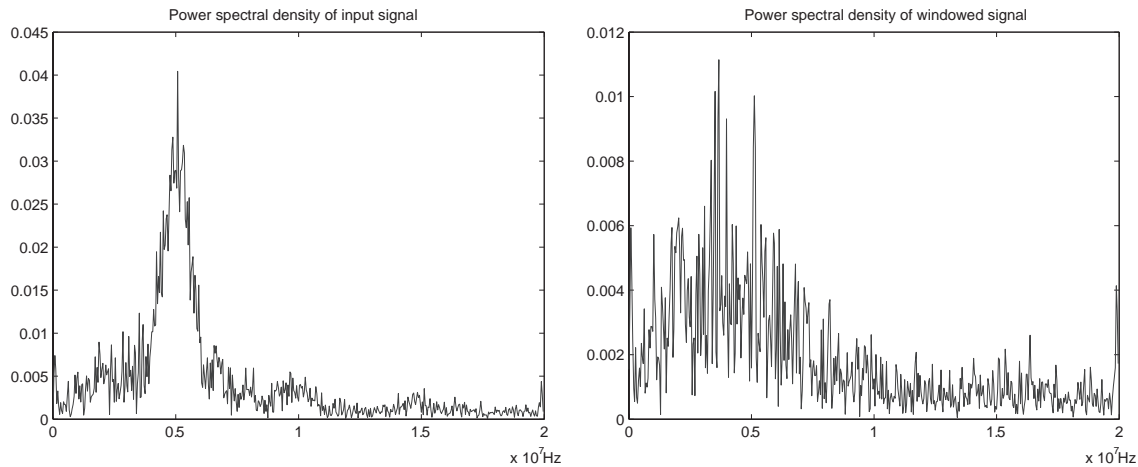


Figure 2-2: EMAT output signal power spectral densities

Depending on its frequency or time characteristics, a noise process can be classified into one of several categories as follows:

- a) Narrowband noise: a noise process with a narrow bandwidth such as a 50/60 Hz ‘hum’ from the electricity supply.
- b) White noise: purely random noise that has a flat power spectrum. White noise theoretically contains all frequencies in equal intensity.
- c) Band-limited white noise: a noise with a flat spectrum and a limited bandwidth that usually covers the limited spectrum of the device or the signal of interest.
- d) Colored noise: non-white noise or any wideband noise whose spectrum has a non-flat shape; examples are pink noise, brown noise and autoregressive noise.
- e) Impulsive noise: consists of short-duration pulses of random amplitude and random duration.
- f) Transient noise pulses: consists of relatively long duration noise pulses.

Windowed signal power spectral density consists of two main components. In the simplest case, the only source of interference is an additive Gaussian receiver noise. In the more general case, there is interference due to external noise sources or reflections from other targets. The second component looks narrowband and it is close to main frequency of the ultrasound signal.

2.3 Noise components separation

Based on previous paragraph I have expected that one component will have characteristic close to white noise. Second, narrowband part of noise will have energy concentrated to narrow band. From Figure (2-2) I guessed higher amplitudes of this narrowband noise and I have chosen median function from probability theory to separate higher amplitude frequency elements. The result of this splitting is on Figure (2-3). Approximation of white noise has flat power spectrum with amplitudes four times lower than narrowband part.

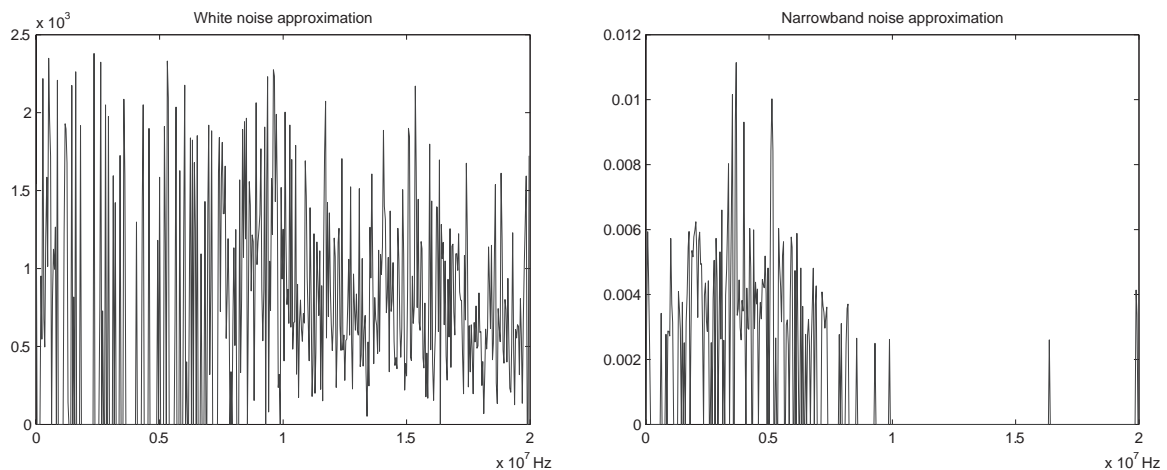


Figure 2-3: EMAT output noise power spectral densities

3 Noise modeling

3.1 Frequency domain

Previous research showed that higher potential for enhanced signal processing is hidden in frequency domain based on signal analyses. First reason is that pure signal from EMAT system is more noisy in time domain than in frequency domain. Second reason is that digital signal processing algorithms can be categorized into one or a combination of four broad categories. These are nonparametric signal processing, model-based signal processing, Bayesian statistical signal processing and neural networks. First group, nonparametric signal processing methods was applied and evaluated in works focused on EMAT system application. Most of them were frequency domain depended. These facts determinate frequency domain based noise modeling as preferred.

The first approximation was based on Gaussian white noise and periodic signal with EMAT system frequency. When Blackman window was applied on the periodic signal the time domain signal corresponded with original data set. Power spectral analyses of real EMAT signals revealed that the spurious narrowband component of noise can't be ignored.

Another simple method for noise modeling, often used in current practice, is to estimate the noise statistics from the signal-inactive periods. In optimal Bayesian signal processing methods, a set of probability models are trained for the signal and the noise processes.

3.2 Results of modeling

The result of noise modeling is on Figure (3-1) as comparison of artificial and real signal. To simulate frequency wider narrowband noise component the Hann window was used in place of Blackman window.

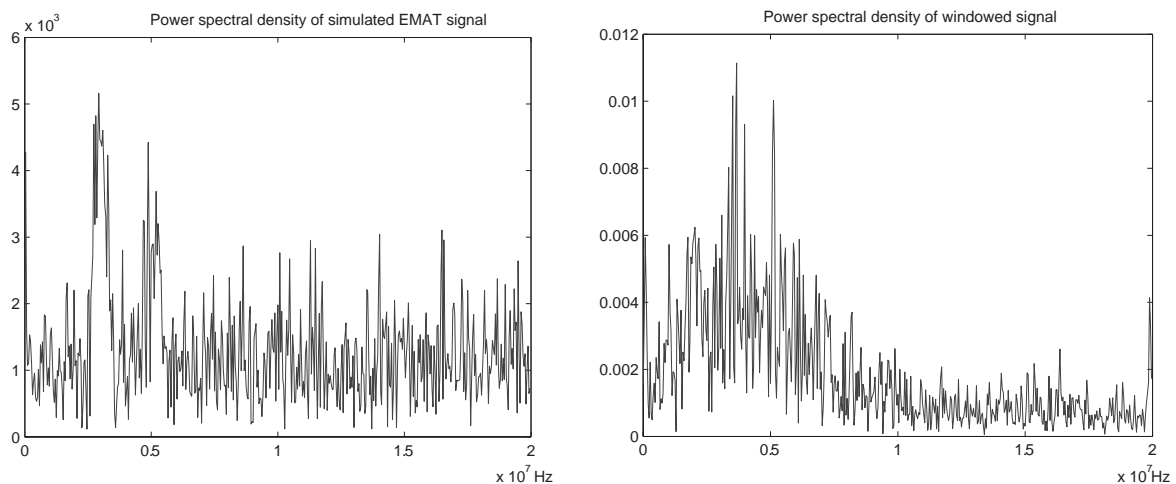


Figure 3-1: EMAT output signal power spectral densities

4 Signal processing

Noise modeling confirmed that received signal could be separated in frequency domain in to the three partial components. The first component is a broadband noise from the electronics and ultrasound backscattering. The second is EMAT ultrasound signal which represents useful information in whole dataset. The third is narrowband noise close to the EMAT signal frequency. The source of this noise isn't known yet but for small defects this signal masks reflected signal from flaw.

4.1 FIR filter pass-band filtering

For finding FIR pass-band filter transfer function was used Parks-McClellan optimal equiripple FIR filter design. This algorithm also uses "minimax" principle. Equiripple filters embody equiripple behavior in their frequency response. To ensure accurate flaw echo position, it is necessary to use zero-phase digital filtering. FIR filter phase distortion depends on order of filter transfer function, thus can be corrected. Filtration compare is on Figure (4-1)

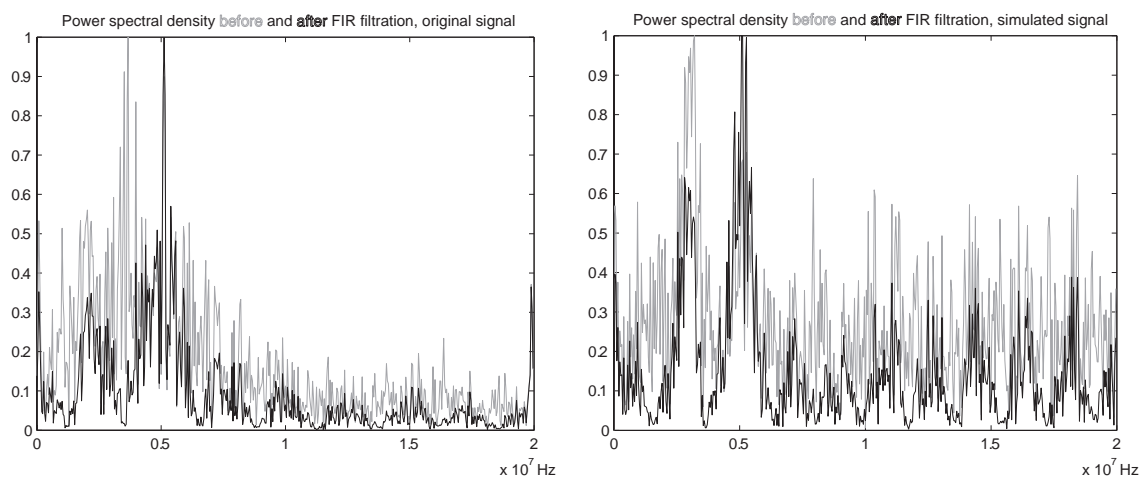


Figure 4-1: EMAT low order FIR filtered signal

Simulated signal was more polluted by noise than original one. The filtration result matched to the low order of the filter. Signal to noise enhancement (SNRE) was 4,4 dB measured in frequency domain. Low SNRE was caused among others by low order of filter. The best results from view of precise detection was for order of the filter $N = 16$. Higher orders of the filter brought better SNRE but also higher phase distortion which led to low accuracy of flaw detection.

4.2 Wavelet transform and statistical thresholding

Stationary wavelet transform was found as adequate performance comparison for pass-band frequency domain filtration. This nonlinear filtering procedure is based on signal decomposition in to N levels, using band pass filtering. The result of the decomposition is set of likeness parameters. These parameters represent similarity between examined signals and properly choose wave function.

To examine amount of information buried in noise, new statistical based algorithm was used as is described in Eq. (4-1), (4-2).

$$C_j(i) = \begin{cases} K_j(i), & |K_j(i)| > P_j \\ 0, & |K_j(i)| \leq P_j \end{cases} \quad (4-1)$$

$$P_j = \sum_{i=m}^M \frac{\delta(\text{sort}(K_j))}{\delta i} \quad (4-2)$$

Where $C_j(i)$ is likeness parameter i of the j decomposition with stationary wavelet transform, K_j is j a decomposition of examined signal with stationary wavelet transform, P_j is the threshold for j decomposition with stationary wavelet transform, j is the decomposition level in stationary wavelet transform, i defines sample order in vector (measured signal) P_j , M , m are low and high limit in the coefficients P_j , so that window cover 90% P_j with center in the middle of the P_j , sort is a function which sorts coefficients by size.

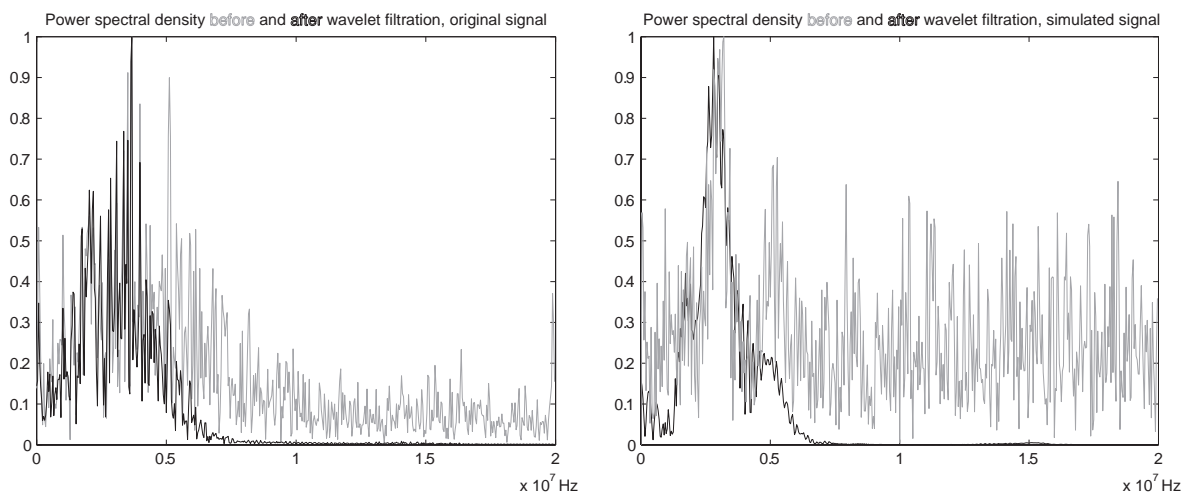


Figure 4-2: EMAT wavelet transformation filtered signal

As it is on Figure (4-2), simulated EMAT noisy signal proved to be good approximation of the real signal. The wavelet transformation with statistical thresholding proved to be worse

signal processing method, for this dataset. Gaussian noise was suppressed very well, but strong narrowband noise close to the main signal wasn't suppressed. The results with db7 and bior 3.5 wavelets were the same. Further development should show better thresholding methods or mother wavelets.

5 Conclusion

A way to simulate random processes in the EMAT nondestructive evaluation system was presented in this paper. Level of noise is for EMAT the main disadvantage in compare to classical generated ultrasound via piezoelectric transducers. The characteristics of noise play main role for choosing proper signal filtration method. EMAT signal is narrowband and typical representative FIR filter was presented. This filtration method benefits and lie within accuracy of information where is situated information in frequency domain. The optimal order of this filter was found and its performance was presented. Wavelet transformation and statistical coefficients thresholding method was used for comparison to FIR filtration. Various input parameters settings only proved proximity of the real and simulated noisy EMAT signal. On examined data set and input parameters wasn't proved, that this nonlinear filtration method is better than FIR filtration.

References

- [1] VASEGHI Saeed. V.: Advanced digital signal processing and noise reduction. Chichester – New York – Weinheim – Brisbane – Singapore – Toronto, John Wiley & Sons Ltd., 2000, 473p.
- [2] MADISSETTI Vijay K., WILLIAMS Douglas B.: Digital signal processing handbook. CRC Press LLC, 1999, 1690p.
- [3] OPPENHEIM Alan V., Schafer Ronald W., Buck John R.: Discrete-Time signal processing, New Jersey, Prentice hall, 1998, 895p.
- [4] VAN TREES Harry L.: Detection, Estimation and Modulation Theory – Radar-Sonar Processing and Gaussian signals in noise. Chichester – New York – Weinheim – Brisbane – Singapore – Toronto, John Wiley & Sons Ltd., 2001, 642p.
- [5] ASRAF Daniel : Optimal detectors for transient signal families and nonlinear sensors. Uppsala university, 2003, 107p.

Náhlavní akustické soupravy a komponenty interkomů z hlediska zabezpečení vysoké srozumitelnosti

Ing. Petr Kuneta

MESIT přístroje spol. s r.o., email: p.kuneta@msp.mesit.cz, tel.: +420-572-522-516

Resumé:

Vnitřní hovorová zařízení jsou důležitou součástí všech bojových vozidel nebo letounů. Uvnitř těchto vozidel bývá zpravidla vysoká úroveň akustického hluku. Pro vysokou srozumitelnost komunikace mezi osádkou je tedy nutné tento akustický hluk vhodným způsobem potlačit. Článek popisuje základní metody pro zvýšení srozumitelnosti komunikace.

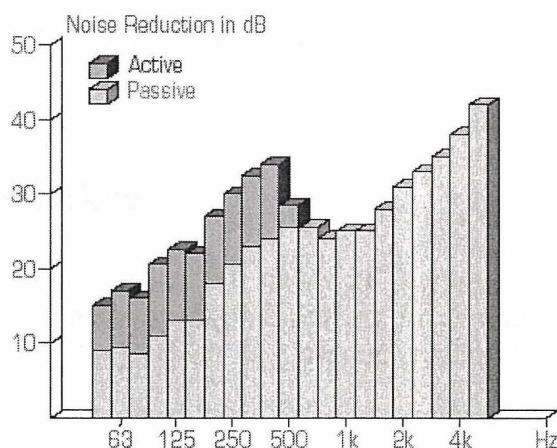
1 Náhlavní souprava

Primárním úkolem náhlavní soupravy je zabezpečit možnost připojení osádky do komunikačního systému vozidla. Dalším podstatným úkolem je ochrana sluchu osádky. Důležitou součástí náhlavní soupravy je mikrofon. Vhodně zvolený typ mikrofonu má podstatný vliv na přenos okolního hluku do systému interkomu. Je snaha, aby výstupní elektrický signál obsahoval minimální množství nežádoucích rušivých signálů.

1.1 Útlum sluchátek soupravy

Celkového útlumu je obecně dosahováno kombinací pasivního (PNR) a aktivního potlačení hluku (ANR). Pasivní potlačení je zajištěno konstrukcí sluchátka (tvar mušle, použitý tlumící materiál), zatímco aktivní potlačení je realizováno výhradně elektronicky. Pasivní potlačení je účinné na vyšších kmitočtech. Na kmitočtech nižších než 1 kHz je toto potlačení nedostatečné.

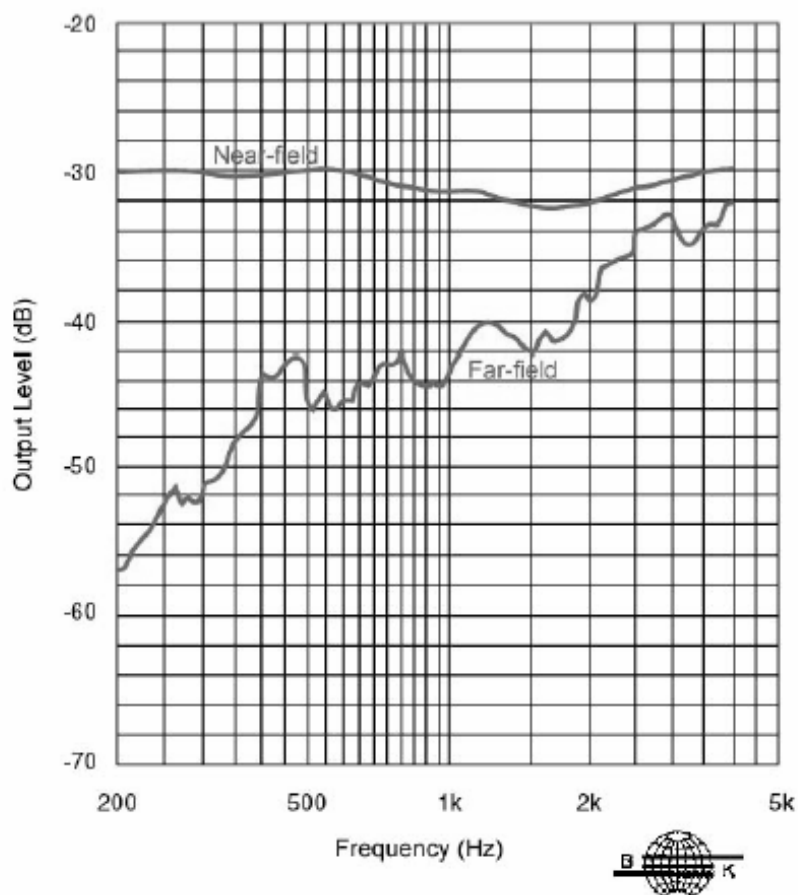
Systém aktivního potlačení hluku se naopak vyznačuje možností potlačit hluk okolí v nižších kmitočtových pásmech, zejména v pásmu od 60 Hz do 500 Hz. Kombinací obou systémů lze dosáhnout přijatelného potlačení okolí v celém kmitočtovém pásmu (tj. 25 – 30 dB celkem).



Obr. 1-1: ANR a PNR

1.2 Vhodný výběr mikrofonu náhlavní soupravy

Základním předpokladem dobré srozumitelnosti je použití gradientního mikrofonu (mikrofonu potlačujícího vzdálené pole, tj. oblast, kde se vyskytuje velký hluk okolí). Tento typ mikrofonu se vyznačuje charakteristikou uvedenou na Obr.1-2. Výše uvedené požadavky velmi dobře splňují elektretové mikrofony, i když použití dynamického mikrofonu je dnes rovněž možné. Gradientní mikrofony jsou označovány zahraničními výrobci jako „close talking“ nebo „noise canceling“. Při jejich použití je nutné, aby bylo umožněno individuální nastavení k ústům mluvčího. Ideální nastavení je takové, aby mikrofon byl umístěn u koutku úst, v žádném případě se mikrofon neumísťuje před ústy mluvčího.



Obr. 1-2: Charakteristika gradientního mikrofonu

Lze tvrdit, že komunikační mikrofon bude určovat kvalitu náhlavní soupravy a uživatel jej bude intenzivně vnímat. V případě použití nevhodného mikrofonu budou výrazně degradovány nejenom technické parametry samotné akustické soupravy, ale i vnitřního hovorového zařízení, k němuž je tato souprava připojena. Hluk okolí, který se touto cestou dostane do vnitřního hovorového zařízení již nelze bez použití digitálních technik potlačit, protože leží v kmitočtovém pásmu hovorového signálu.

2 Další úpravy signálu a odstraňování hluku

Pro další zvýšení kvality hovorového signálu je možné použít různé číslicové metody. Cílem je především řečový signál obnovit tzn. zlepšit odstup signál-šum a nezhorsit srozumitelnost

výsledné řeči. Řešením mohou být metody, které využívají znalost charakteru rušení, případně přímo charakteru řečového signálu.

2.1 Číslicová filtrace

Mezi nejjednodušší metodu, jak zvýraznit řečový signál patří číslicová filtrace. Hovorový signál má užitečné kmitočtové složky v pásmu cca 300 – 3400 Hz. Proto je vhodné zařadit do cesty hovorového signálu číslicovou pásmovou propust (typu IIR). Jelikož kmitočtové složky hluku, který se nachází uvnitř bojových vozidel, leží zejména v pásmu do 500 Hz, je tedy významné odstranění nízkých kmitočtů.

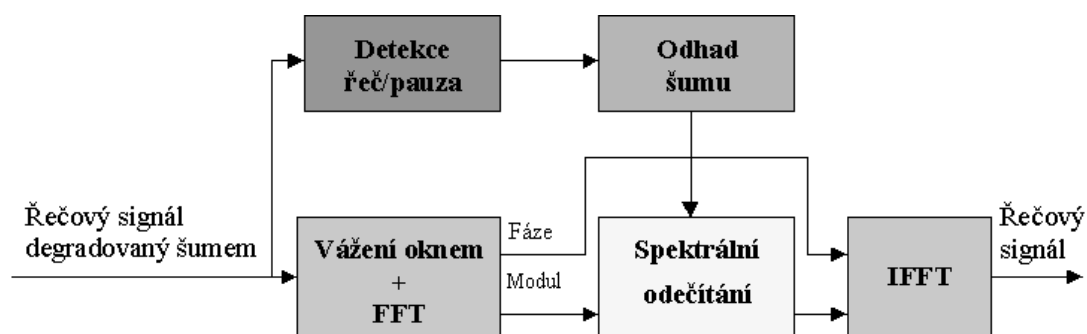
2.2 Detekce řečové aktivity

Mnoho systémů, které odstraňují nežádoucí rušivý signál z řeči, vyžadují přesné stanovení úseku řeči a mezery v daném signálu. K tomuto účelu slouží různé detektory řeč/pauza. Nutnost použít vhodný detektor je vidět například u algoritmu spektrálního odečítání (viz dále), kde se odhad odečítaného hluku stanovuje v řečových pauzách. Pokud jsou tyto pauzy špatně určeny, je celý proces odečítání mnohem méně účinný nebo dokonce znehodnocuje samotný užitečný řečový signál (zbytky hluku, řečové ozvěny).

Mezi nejpoužívanější detektory patří energetický detektor, který počítá krátkodobou energii signálu. Ten ale ztrácí účinnost při silně zarušených signálech. Dále je možné použít pokročilejší kepsrální integrální detektor, který zjišťuje řečovou aktivitu pomocí výpočtu kepsra signálu.

2.3 Spektrální odečítání

Jedná se o základní techniku pro odstranění stacionárního hluku řečového kanálu. Často se používá hlavně pro jednoduchou realizaci. Dále nabízí vysokou pružnost v reálných podmínkách, vybráním vhodných odečítacích parametrů. Celkový princip metody je znázorněn na Obr. 2-3. Velký vliv na kvalitu separace má detektor řeč/pauza, který určuje intervaly, kdy se provádí aktualizace odhadu výkonového spektra hluku.



Obr. 2-1: Blokové schéma základní metody spektrálního odečítání

Řečový signál je zpracováván metodami tzv. krátkodobé analýzy. Tyto metody vycházejí z kvazistacionární podstaty řečového signálu, tj. předpokládá se, že vlastnosti signálu se v čase mění pomalu, protože hlasové ústrojí člověka je schopno změnit své parametry minimálně za 10 ms. Proto je řečový signál rozdělen na segmenty (frame) o délce N vzorků a každý segment se poté zpracovává samostatně. Sousední segmenty se mohou překrývat. Délka segmentu se pohybuje v intervalu 10 až 25 ms, což souvisí se změnami nastavení lidského hlasového ústrojí.

Je zřejmé, že v případě nepřesného odhadu šumového pozadí dochází při jeho odečtení ke vzniku chyb – reziduálních šumů. Pro signály s rychlými změnami šumového pozadí se účinnost metody snižuje.

3 Závěr

Článek popisuje jednotlivé komponenty celého řetězce zpracování akustického signálu. Je zřejmé, že nejdůležitější je výběr vhodného mikrofону. Hluk, zavedený do řetězce zpracování signálu sice ještě lze potlačit, ale ne vždy uspokojivým způsobem.

Literatura

- [1] VASEGHI S. V.: Advanced Digital Signal Processing and Noise Reduction. Brunel University UK, 2000
- [2] SOVKA P., POLLÁK P.: Vybrané metody číslicového zpracování signálů. Praha, ČVUT, 2003
- [3] SMÉKAL Z., VÍCH R.: Zpracování signálů pomocí signálových procesorů. Praha, RADIX, 1998

Simulace výmetu klamných cílů v prostředí MATLAB.

npor. Ing. Martin Polášek

Katedra leteckých elektrotechnických systémů, Kounicova 65, Brno, 61200,
email: martin.pol@atlas.cz, tel.: +420-973-446-052

Resumé:

V příspěvku bude představena aplikace pro analýzu výmetu infračervených klamných cílů (IČKC). Tato aplikace byla napsána v prostředí MATLAB a umožňuje výpočet trajektorií až deseti klamných cílů s libovolnými parametry směru a rychlosti výmetu. Využití aplikace spočívá např. při ověřování odolnosti matematických modelů koordinátorů tepelně naváděných řízených střel.

1 Úvod

Infračervené (IČ) koordinátory představují klíčovou součást významné skupiny leteckých i pozemních řízených střel krátkého dosahu. Využívají různé principy konstrukce a činnosti, které se navzájem liší charakterem detekce infračerveného záření. Proti letadlům se standardně používají koordinátory s mechanickou modulací optického záření. Nejvyspělejší soudobé střely jsou vybavené koordinátory s obrazovou detekcí cíle.

Zavedení řízených střel s IČ koordinátory odstartovalo proces hledání nových metod ochrany bojových prostředků. Jednou z nich bylo rušení pomocí infračervených klamných cílů (IČKC) vystřelovaných z ohroženého objektu. V případě letadel je to způsob, který se používá i v současnosti a vedle manévru patří k nejrozšířenějším.

U klamných cílů první generace se předpokládalo, že k účinnému rušení naváděcího systému a dostatečnému vychýlení řízené střely za směru užitečného cíle je postačující přítomnost IČKC v zorném poli koordinátoru. Tato hypotéza se potvrdila u střel, na kterých byly implementované koordinátory s amplitudovou modulací, a jejichž naváděcí systémy plnily jen základní funkce odolnosti proti přirozenému rušení. Požadovalo se, aby klamné cíle měly vyšší intenzitu vyzařování než letadlo. Žádné další specifické nároky týkající se například směru a rychlosti výmetu nebyly na klamné cíle kladené.

Trvalý vývoj naváděcích systémů přinesl významné zlepšení jejich takticko technických parametrů. Bylo zavedeno chlazení detektorů, zvýšila se úhlová rychlost sledování cíle a zmenšilo se zorné pole koordinátorů. Metody modulace optického záření a zpracování elektrického signálu detektoru zohledňovaly také požadavky na zvýšení odolnosti naváděcích systémů proti umělému rušení. V důsledku technického pokroku na straně řízených střel se změnila požadavky na IČKC. Bylo nutné měnit jak parametry záření klamných cílů, tak i způsoby jejich výmetu, aby byly účinné i proti střelám vyšších generací. Materiály a konstrukce klamných cílů byly navrhované s cílem optimalizovat nejen požadovanou dobu a průběh jejich hoření, ale i spektrální hustotu intenzity vyzařování. Rovněž sekvence a směr výmetu klamných cílů se upravily tak, aby byly optimální z hlediska účinnosti rušení naváděcích systémů řízených střel.

Proto při vývoji nových typů koordinátorů, případně implementování nových druhů ochrany, je nezbytné testovat tyto koordinátory pro různé typy rušení včetně rušení pomocí IČKC. Dříve se testování provádělo převážně na létajících terčích, které vymetaly klamné cíle a používaly se ostré rakety vypouštěné z letounů. Let střely snímala kamera a vyhodnocovaly se manévrovací schopnosti rakety a odolnost koordinátoru proti rušení, za různých situací (myšleno různé polohy letounu a cíle, různé manévry cíle a podobně). Samozřejmě do dnešní doby jsou takovéto testy klíčové. Nicméně s vývojem výpočetní techniky lze provádět

základní simulace velice levně a efektivně a odladit základní nedostatky již na zemi. Součástí těchto simulačních programů je zákonitě i simulátor drah klamných cílů, které slouží k testování koordinátoru respektive jeho odolnosti proti rušení.

Tento článek se zabývá vývojem simulátoru výmetu klamných cílů, který lze použít pro testování naváděcích systémů z hlediska jejich odolnosti proti rušení. Další využití má právě opačný charakter. To znamená, že pomocí tohoto simulátoru lze testovat způsoby výmetu a parametry klamných cílů a na základě těchto testů následně navrhnout optimální použití IČKC proti stávajícím typům naváděcích systémů.

2 Matematický aparát

Při výpočtu drah IČKC se vychází ze základních rovnic popisujících pohyb tělesa v odporovém prostředí [1]:

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} = -F_{tx}, \quad (2-1)$$

$$m \frac{d^2 y}{dt^2} = F_{ty} - mg, \quad (2-2)$$

$$m \frac{d^2 z}{dt^2} = -F_{tz}, \quad (2-3)$$

$$F_t = \frac{1}{2} c \rho S v^2, \quad (2-4)$$

kde:

- m – hmotnost klamného cíle,
- c – koeficient odporu vzduchu,
- ρ – hustota vzduchu,
- S – plocha průřezu klamného cíle,
- v – rychlost klamného cíle.

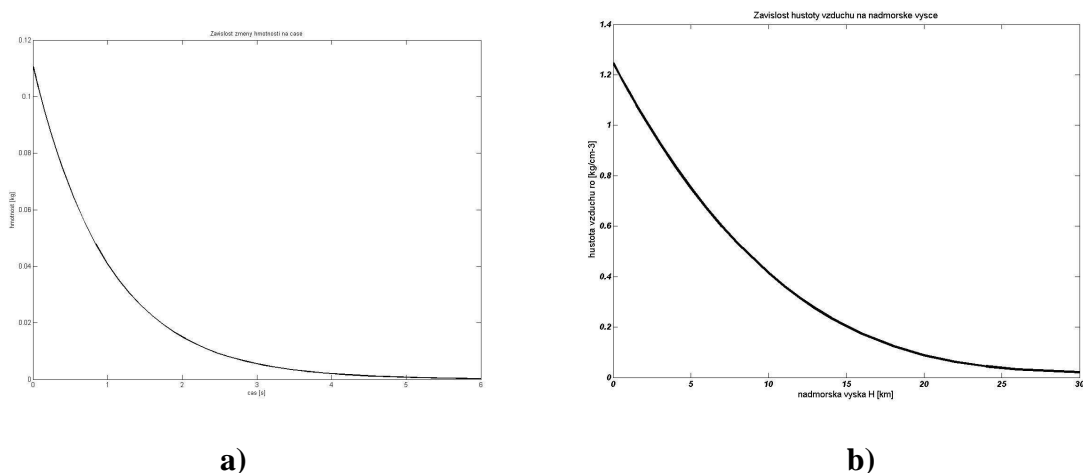
Velikost odporové síly F_t je dána vztahem (2-4). Při úvodním testování programu byly do této rovnice dosazeny dostupné hodnoty počáteční rychlosti a průřezu klamného cíle typu PW-118Mk3, který je použitý na letounu L-159. Pro koeficient odporu vzduchu byla použita hodnota $c = 0,4$, která odpovídá tělesu ve tvaru koule.

Pro zpřesnění výpočtů drah klamných cílů, bylo nutné rovnice (2-1) až (2-4) modifikovat. První modifikace se týkala hustoty vzduchu ρ , která se mění s nadmořskou výškou. Její tabelované hodnoty, dostupné například v [2], byly aproximované polynomem čtvrtého stupně, ze kterého se při simulaci počítá aktuální hustota vzduchu. Druhá modifikace se týkala změny hmotnosti klamného cíle v průběhu hoření. Zde se použil předpoklad, že hmotnost se mění exponenciálně od počáteční až po nulovou hodnotu.

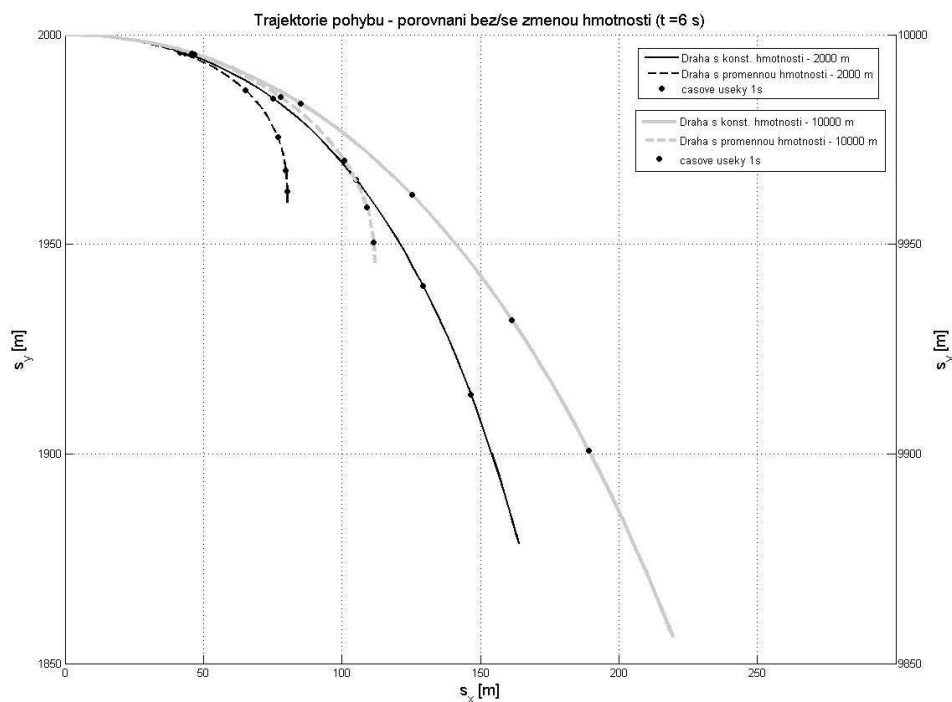
Na obr. 2-1a je znázorněna změna hmotnosti klamného cíle po dobu hoření a na obr. 2-1b je uvedena změna hustoty vzduchu v závislosti na nadmořské výšce. Na obr. 2-2. jsou trajektorie klamného cíle při výmetu z výšky 2 000 metrů (levá osa závislé proměnné) a z výšky 10 000

metrů (pravá osa závisle proměnné). Čárkované průběhy představují trajektorii s proměnnou hmotností a plné průběhy trajektorii s konstantní hmotností.

Pro výpočet drah klamných cílů bylo přijato několik zjednodušení. To hlavní spočívalo v tom, že do výpočtů nebyl zahrnutý vliv letounu, resp. vliv proudění vzduchu kolem letounu. To znamená, že dráhy jsou při simulaci počítány pro nerozrušenou atmosféru.



Obr. 2-1: a) Časová změna hmotnosti klamného cíle, b) Změna hustoty vzduchu s nadmořskou výškou



Obr. 2-2: Trajektorie klamných cílů

Výsledné pohybové rovnice použité při simulaci trajektorie klamných cílů mají tvar:

$$\frac{dm}{dt} \frac{d^2x}{dt^2} = -F_{tx}, \quad (2-5)$$

$$\frac{dm}{dt} \frac{d^2 y}{dt^2} = F_{ty} - \frac{dm}{dt} g, \quad (2-6)$$

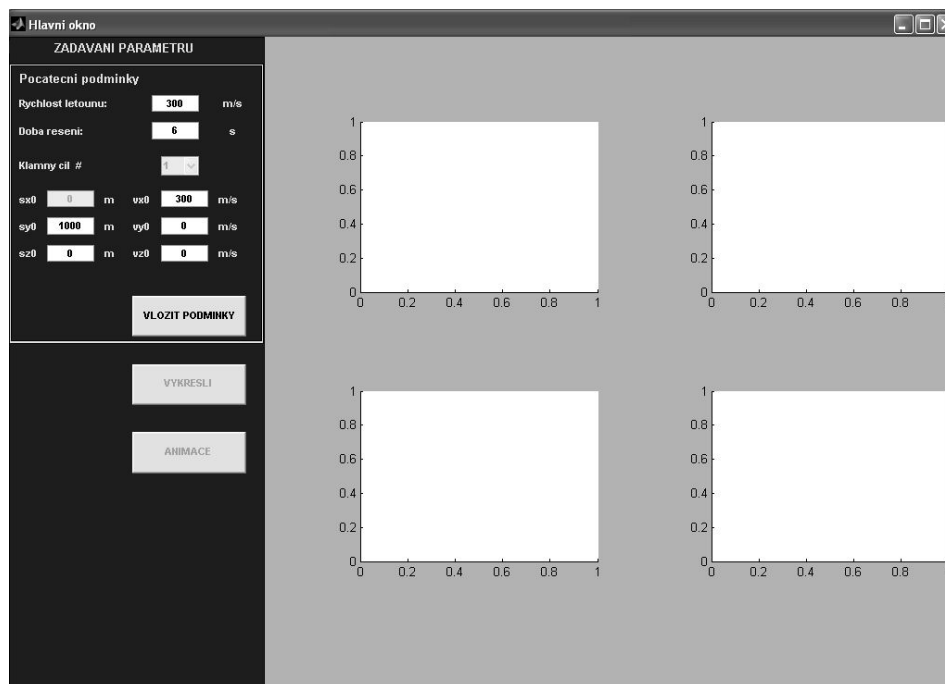
$$\frac{dm}{dt} \frac{d^2 z}{dt^2} = -F_{tz}, \quad (2-7)$$

$$F_t(H) = \frac{1}{2} c \rho(H) S v^2, \quad (2-8)$$

kde H je nadmořská výška.

3 Programové řešení v prostředí Matlab

Uvedené matematické vztahy byly využité pro vytvoření aplikace, která umožňuje vypočítat a graficky znázornit dráhy až deseti klamných cílů, přičemž u každého cíle lze libovolně zadávat některé jeho parametry i parametry výmetu.

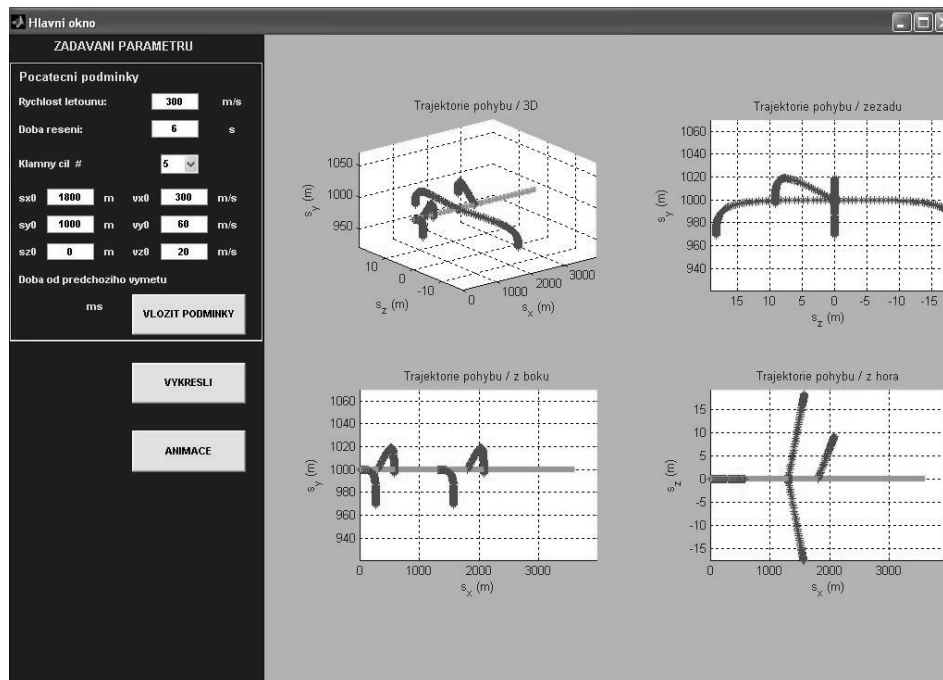


Obr. 3-1: Úvodní obrazovka aplikace

Vypočítané hodnoty se ukládají ve formě dat do proměnných k dalšímu využití. Aplikace dále umožňuje zobrazit animaci výmetu klamných cílů v reálném čase. Diferenciální rovnice jsou řešeny Runge-Kutteho metodou, 4. řád s odhadem chyby 5. řádu. Krok výpočtu je nelineární, a proto je nutné data o polohách klamných cílů linearizovat.

Základní obrazovka po spuštění aplikace je na obr. 3-1. Na levém okraji je sloupec ve kterém se zadávají údaje. Údaj o rychlosti letounu se zadává pouze u prvního klamného cíle. Pro ostatní zůstává stejná. Program znázorňuje i trajektorii letounu, která odpovídá nemanévrujícímu letounu při letu v konstantní výšce. Dále si uživatel vybírá, u kterého klamného cíle se budou parametry měnit. Následuje položka doba hoření klamného cíle atd. Po uložení parametrů pro jednotlivý klamný cíl je nutné kliknout na tlačítko *Vložit podmínky*.

Jakmile jsou zadány potřebné parametry u jednotlivých cílů (může být jenom jeden), pak po kliknutí na tlačítko *Vykresli* se provede výpočet a zobrazí se dráhy jednotlivých klamných cílů a letounu, viz obr. 3-2. Na obrázku jsou čtyři grafy. Jeden představuje obecný 3D pohled a zbylé tři jsou dvourozměrné grafy ve význačných směrech. Dále se aktivuje tlačítko *Animace*, které umožňuje prohlížení drah klamných cílů a letounu v časové souslednosti.



Obr. 3-2: Zobrazení drah klamných cílů

4 Závěr

Uvedená aplikace pro výpočet drah klamných cílů je určena k podpoře počítačového modelu koordinátorů řízených střel, kde představuje generátor informací o poloze klamných cílů a letounu. Pomocí těchto nástrojů je možné posoudit účinnost různých typů ochran koordinátorů při filtrování poruch. Dále bude možné ověřovat účinnost klamných cílů v závislosti na jejich vlastnostech a parametrech výmetu, což umožní optimalizovat systém vlastní ochrany letadel proti vybraným typům koordinátorů.

Literatura

- [1] KARBAN, P.: Výpočty a simulace v programech Matlab a Simulink. Brno : Computer Press, a.s., 2006. 220 s.
- [2] MOLL, V. Letecké zaměřovače III. Brno: VA Brno, 1990
- [3] ZAPLATÍLEK, K., DOŇAR, B.: Pracujeme s programem Matlab. Díl 2. – tvorba uživatelských aplikací. Brno: VA Brno, 2004

Modelling and Evaluation of Inertial Sensors

Ing. Michal Reinštein, Ing. Jan Roháč Ph.D.

CTU, FEE, Department of Measurement, email: michal.reinstein@centrum.cz,
tel.: +420-603-985-968

Abstract:

Due to its universal estimation character the Kalman filter (KF) is a versatile mathematical tool usable almost in any area adherent to navigation in any way. A current trend in an inertial navigation uses KF for GPS/INS integration, i.e. for sensor outputs fusion, to obtain better estimation results and enhance the precision of the INS/GPS navigation. One of main influences on the precision and reliability of the GPS/INS system is the selection of subsystem-level sensors. Nowadays, cost of these sensors is the crucial issue and decisive factor for the desired application. Therefore, this article concerns low cost inertial sensors and suggests the methodology for sensor selection, modelling, evaluation and implementation into the Kalman filter design.

1 Introduction: The Kalman Filter

Kalman filtering is a procedure for combining noisy sensor outputs to estimate the state vector of a system with uncertain dynamics, dynamics that needs to be precisely modelled. Noisy sensors are in this case subsystem-level sensors of the inertial navigation system such as angular rate sensors and accelerometers. GPS receivers and magnetometers can be included as well. The system state vector includes variables describing motion and position of the navigated object as well as inner variables for modelling time-correlated noise sources and random sensor parameters.

KF is also a tool for designing the optimal composition of sensor systems. It should be used to determine the suitability of sensors outputs based on the covariance analysis. Covariance analysis can be performed even without real data, based just on the sensor noise parameters given by the manufacturer.

Seeking optimal solution, KF is “optimal” if and only if physical world and a mathematical model coincide. Hence, major task of Kalman filter designer is to deal with the model disparities. Major factors to be considered are the *computational cost*, which grows as cube with the number of states and linearly with sampling frequency, and the *numerical stability*. The more complex the filter is (more states), the more the risk grows. When dealing with numerical stability it is always a question of either precise modelling or implementation. This article describes one of the possible ways of sensor modelling.

2 Inertial Sensors Modelling

The angular rate sensors tested and modelled in this article may be described by a set of parameters reflecting its behaviour and noise characteristics, such as the sensor output bias (including drift), scale factor, input axis misalignment, input/output nonlinearity, and acceleration sensitivity. These parameters can be included as the state-variables into the model and then estimated by the KF on the base of the measurements. Since KF only works with white noise, spectral analysis of the sensors has to be carried out. Sensor noise model can be created to allow KF remain white noise driven. One of the possible ways of sensor modelling concerns the power spectral density (PSD) analysis.

2.1 Sensor Selection Methodology

Kalman filter theory assumes that the type, number and noise characteristics of sensors are defined apriory and the noisy information from all sensors is combined optimally. Theory does not define how these parameters shall be chosen, however some generalities can be stated:

- The more sensors used and the lower noise-level are, the smaller estimation error is.
- The frequency response of the sensor should be compatible with the corresponding signal represented by a state-variable.
- The information carrying part of the sensor noise spectrum should be separable from the system state-spectrum if possible.
- Sensors chosen to cause observability (system state determinable from measurements).
- The sensor should match the state-variable which it represents.
- Differentiation of sensor output which is corrupted by noise should be avoided.
- Kalman filter covariance analysis should be carried out for each sensor combination to determine the “cost” (economic, power requirements, degradation, reliability, and weight) and optimize filter performance.

2.2 Sensor Noise Models

For a real world systems encountered in practice, it is not justified to assume all noises are white Gaussian; however, white noise is crucial for the Kalman filter best performance.

Using real data power spectral density and appropriate differential equations, the solution is to develop a noise model that will shape the white noise input and will represent the real noise spectrum. Such a noise model is called a *shaping filter*. A proof can be found in [1] to show that a linear time-invariant system (shaping filter) driven by wide sense stationary white noise (stationary with respect to 1st and 2nd moments) provides such a model. Such a model may be augmented into the system state model for Kalman filter.

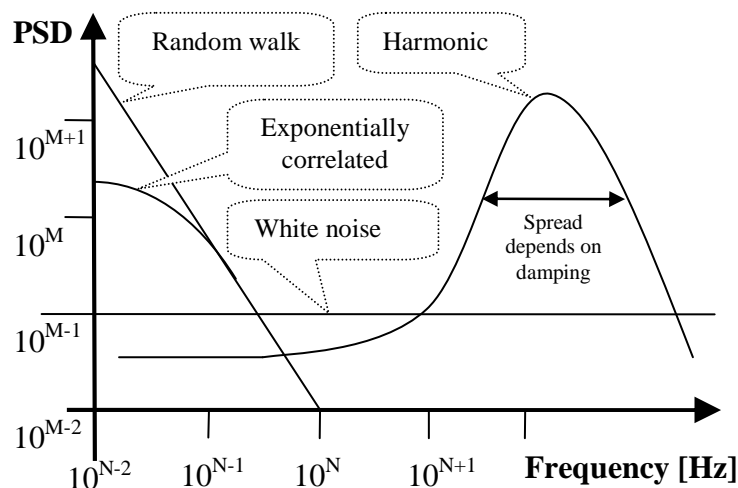


Figure 2-1: Power Spectral Density Characteristics of Various Noise Types

Random process for a continuous time system model or a random sequence for a discrete time system model may be identified according to its PSD (see Fig. 2-1) as a *white noise*, *random walk* (Wiener process), *random constant*, *exponentially correlated* (1st order Gauss-Markov

(GM) process), harmonic noise or any combination of these. Each of these has a specific characteristic concluded as:

- White noise PSD is flat and constant.
- Random walk noise PSD decreases with the value of -20dB/decade; considered stationary on time interval τ .
- The random constant is an unpredictable random quantity with a constant value.
- Exponentially correlated noise PSD flattens near DC. The correlation among data samples decreases with the increase of the time shift between samples (zero at $\tau = \infty$).
- Harmonic noise PSD has bump (spread depends on damping).

In general, inertial sensors are usually approximated by 1st order GM process. GM processes of higher order may be used as well; however, by increasing the order, the number of KF error states for each sensor also as well and this may possibly cause the KF being unstable. Any GM process of any order can be represented using an autoregressive (AR) process of appropriate order [2]. AR process of order p can be described using a pole-zero transfer function $H(z)$ where $X(z)$ is the z -transform of the input $x(k)$, $Y(z)$ is the z -transform of the output $y(k)$ and $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_p$ and β_0 are the AR process parameters, with k being the discrete time:

$$H(z) = \frac{Y(z)}{X(z)} = \frac{\beta_0}{1 + \sum_{n=1}^p \alpha_n z^{-n}} \quad \text{or} \quad y(k) = -\sum_{n=1}^p \alpha_n y(k-n) + \beta_0 x(k) \quad (2-1)$$

It can be seen that two special cases exist. The first one is the zero-order GM process which means that the process value at any time does not depend on any past values, i.e. no correlation, and therefore it can be regarded as a white noise process. The other special case exists when the order of the GM process is very high, i.e. $p \rightarrow \infty$, which yields a constant PSD of σ^2 , and thus the process, tends to be a random constant. The approximation by p^{th} order AR process is necessary when PSD exhibits more complex trend.

To apply the AR models for estimating the inertial random errors, the input to the AR model $x(k)$ will be a sequence of zero-mean uncorrelated measurements (white sequence) w_k while the output $y(k)$ will be the inertial sensor residual bias b_k . Estimation of the α_n parameters that optimally represent the random part of the inertial sensor errors is performed by minimizing the prediction error e_k between the original signal b_k and the estimated signal \hat{b}_k , which is estimated by an AR model as given:

$$\hat{b}_k = -\sum_{n=1}^p \alpha_n b_{k-n} \quad (2-2)$$

The cost function for this minimalization problem is the sum of squared errors e_k of e_k :

$$\varepsilon_k = \sum_k e_k^2 = \sum_k [b_k - \hat{b}_k]^2 = \sum_k \left[-\sum_{n=1}^p \alpha_n b_{k-n} + \beta_0 w_k + \sum_{n=1}^p \alpha_n b_{k-n} \right]^2 = \sum_k \beta_0^2 w_0^2 \quad (2-3)$$

When assuming a unity variance white sequence, the prediction mean-square error (or the variance since the mean of e_k is zero) σ_e^2 is obtained by:

$$\sigma_e^2 = E[e_k^2] = E[\beta_0^2 w_k^2] = \beta_0^2 E[w_k^2] = \beta_0^2 \sigma_w^2 = \beta_0^2 \quad (2-4)$$

Therefore, $\hat{\sigma}_e^2$ represents the estimated variance of the white noise input to the AR model, or more generally, the AR model prediction mean-square error.

3 Shaping Filters

Let $x(t)$ be a zero-mean scalar stationary random process with autocorrelation $\psi_x(\tau)$ and time difference τ . The autocorrelation function and PSD of $x(t)$ are defined using Fourier transform:

$$\psi_x(\tau) = E[x(t)x(t+\tau)] \quad (3-1)$$

$$\Psi_x(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} \psi_x(\tau) e^{-j\omega\tau} d\tau \quad (3-2)$$

3.1 Shaping Filter Types

Noise Type	Autocorrelation Function ψ_x Power Spectral Density Ψ_x	State-Space Formulation And Model	
White noise	$\psi_x(\tau) = \sigma^2 \delta^2(\tau)$ $\Psi_x(\omega) = \sigma^2$	Always treated as measurement noise	
Random walk	$\psi_x(\tau) = (\text{undefined})$ $\Psi_x(\omega) \approx \sigma^2 / \omega^2$	$\dot{x} = w(t)$ $\sigma_x^2(0) = 0$	$x_k = x_{k-1} + w_{k-1}$ $\sigma_x^2(0) = 0$
Random constant	$\psi_x(\tau) = \sigma^2$ $\Psi_x(\omega) = 2\pi\sigma^2(\omega)$	$\dot{x} = 0$ $\sigma_x^2(0) = \sigma^2$	$x_k = x_{k-1}$ $\sigma_x^2(0) = \sigma^2$
Harmonic	$\psi_x(\tau) = \sigma^2 \cos(\omega_0\tau)$ $\Psi_x(\omega) = \pi\sigma^2 \delta(\omega - \omega_0)$ $+ \pi\sigma^2 \delta(\omega + \omega_0)$	$\dot{x} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -\omega_0^2 & 0 \end{bmatrix} x$ $P(0) = \begin{bmatrix} \sigma^2 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$	
Exponentially correlated (1 st order GM process)	$\psi_x(\tau) = \sigma^2 e^{-\alpha \tau }$ $\Psi_x(\omega) = \frac{2\sigma^2\alpha}{\omega^2 + \alpha^2}$	$\dot{x} = -\alpha x + \sigma\sqrt{2\alpha}w(t)$ $\sigma_x^2(0) = \sigma^2$	$x_k = e^{-\alpha} x_{k-1}$ $+ \sigma\sqrt{1 - e^{-2\alpha}} w_{k-1}$ $\sigma_x^2(0) = \sigma^2$
p th order GM process	$\psi_x(\tau) = \sigma^2 e^{-\alpha_p \tau } \sum_{n=0}^{p-1} \frac{(p-1)!(2\alpha_p \tau)^{p-n-1} (p+n+1)!}{(2p-2)!n!(p-n-1)!}$ as defined in [2]		

Table 3-1: Shaping Filter Equations for Random Processes (with σ being standard deviation, δ Kronecker delta, $1/\alpha$ correlation time, P covariance matrix, k discrete time).

3.2 Shaping Filter Augmentation

With given state-space formulation of the shaping filter (index SF), the augmentation of the filter into the system equations is as follows. Let the system model be defined:

$$\dot{x}(t) = F(t)x(t) + G(t)w(t) \quad (3-3)$$

$$z(t) = H(t)x(t) + v_1(t) \quad (3-4)$$

where $x(t)$ is a state vector, $z(t)$ is a measurement vector, $F(t)$ is a state transition matrix, $H(t)$ is measurement sensitivity matrix, $G(t)$ is a process noise coupling matrix, and $v_1(t)$ is a time-correlated measurement noise.

Let $v_2(t)$ be zero-mean white Gaussian noise and let the measurement noise $v_1(t)$ be modelled by:

$$\dot{x}_{SF}(t) = F_{SF}(t)x_{SF}(t) + G_{SF}(t)v_2(t), v_1 = H_{SF}(t)x_{SF}(t) \quad (3-5)$$

The total augmented system in the form of a linear system model driven by white Gaussian noise and output equation with no input noise can be derived:

$$\begin{bmatrix} \dot{x}(t) \\ \dot{x}_{SF}(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} F(t) & 0 \\ 0 & F_{SF}(t) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x(t) \\ x_{SF}(t) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} G(t) & 0 \\ 0 & G_{SF}(t) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} w(t) \\ v_2(t) \end{bmatrix} \quad (3-6)$$

$$z(t) = \begin{bmatrix} H(t) & H_{SF}(t) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x(t) \\ x_{SF}(t) \end{bmatrix} \quad (3-7)$$

To obtain equations in the form for discrete KF a proper method such as for example *Van Loan method* [1], has to be applied on the above equations.

4 Evaluation of Inertial Sensor Models

In order to verify the above, there were four angular rate sensors analysed to obtain a shaping filter for each; **ADXRS150** (Analog Devices), **ENV05D** (Murata), both with analog output signal sampled by 63 Hz; **ADIS16080** and **ADIS16250** (Analog Devices) with digital output signal of 37.5 Hz output rate.

Each sensor's outputs were measured (static measurements with zero-mean correction) for approximately thirty minutes to one hour repeatedly to eliminate measurement errors as much as possible. PSD was obtained by post processing in Matlab 7.0 using Welch's estimation method (16384 sample Hamming window, 50% sample overlap). Resulting PSDs show the presence of a random walk corresponding to the sensor drift as well as exponential correlation. To obtain precise sensor model the approximation by AR model as defined by equation (2-2) was in place.

4.1 Shaping Filter Design

There are three methods available for the α_n parameter values estimation: *the Yule-Walker method*, *the covariance method* and *the Burg's method* [2]. All of these are implemented in Matlab 7.0, which was used for the actual sensor modelling.

The Burg AR estimation method was chosen for the model approximation. The reason was it always provides a stable AR model and is usable even for short data sets on contrary to Covariance method or Yule-Walker method.

$$\begin{pmatrix} x_{SF,k-p+1} \\ \vdots \\ x_{SF,k-3} \\ x_{SF,k-2} \\ x_{SF,k-1} \\ x_{SF,k} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & 1 & \cdots & 0 & 0 & 0 \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ 0 & 0 & \cdots & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \cdots & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & \cdots & 0 & 0 & 1 \\ -\alpha_p & -\alpha_{p-1} & \cdots & -\alpha_3 & -\alpha_2 & -\alpha_1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_{SF,k-p} \\ x_{SF,k-p+1} \\ \vdots \\ x_{SF,k-3} \\ x_{SF,k-2} \\ x_{SF,k-1} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \\ 0 \\ \beta_0 \end{pmatrix} w_k \quad (4-1)$$

The Burg estimator tries to fit an AR model to the input data by minimizing (LMMSE) the forward and backward prediction errors while constraining the AR parameters to satisfy the Levinson-Durbin (LD) recursion (procedure in linear algebra to calculate recursively the solution to an equation involving a Toeplitz matrix). The forward and backward prediction error is expressed recursively. These recursion formulae form the basis of what is called Lattice (or Ladder) realization of a prediction error filtering. Such Burg's Lattice filter is implemented in Matlab, where combined with the LD algorithm is used for AR model coefficients estimation. The Burg AR Estimator provided all α_p and β_0 parameters for p^{th} order AR process enabling to construct the discrete shaping filter.

Sensor Bias Model Type	White Noise Variance Estimates		
	ADIS16080 ($^{\circ}/s$) ²	ADXRS150 (mV) ²	ENV05D (mV) ²
White noise	0.026352	4.9247	0.36632
1 st Order AR Process	0.026327	2.4625	0.042717
2 nd Order AR Process	0.026323	2.4275	0.037047
3 rd Order AR Process	0.026322	2.4258	0.033322
4 th Order AR Process	0.026319	2.4258	0.031078
500 th Order AR Process	0.026046	2.4018	0.02304

Table 4-1: The AR Model Prediction Mean-Square Errors

Six models were designed for each sensor. For the reference, approximation by a white noise was modelled as well as an ideal filter approximation (500th order AR model) which is in practice impossible to implement as mentioned in chapter 2.2. Resulting variance estimates of the white noise input to the AR model, or more generally, the AR model prediction mean-square errors are concluded in Table 3-1; feasible models are highlighted.

4.2 Improving AR Model by Data De-noising

To even improve the accuracy of the inertial sensors models, the approach of data de-noising the data using the Discrete Wavelet Transformation (DWT) [3] was tested and evaluated.

Wavelet techniques are based on analyzing a signal through signal windowing but with variable window sizes. This gives an advantage to wavelets over other signal processing techniques because it is capable of performing local analyses, i.e. analyzing a localized portion of a large signal. This is possible since wavelets allow the use of narrow windows (short-time intervals) in case that high frequency information is needed and wide windows (long-time intervals) if low frequency information is required. Hence, the wavelet transformation can be applied on the discrete signal sequence to decompose the signal on lower and higher frequency components.

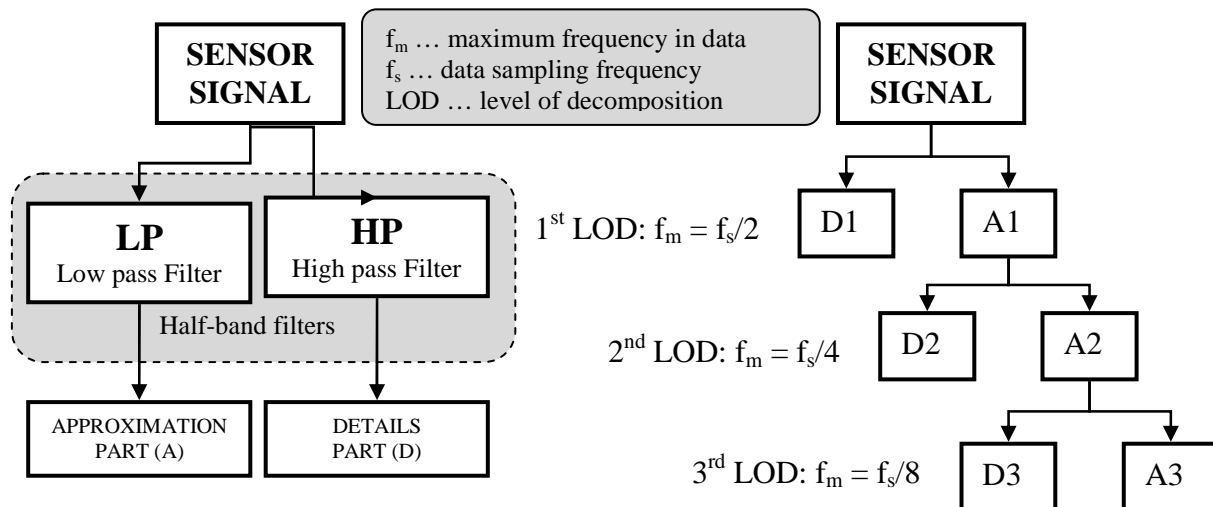


Figure 4-1: Signal Decomposition Principle and the Wavelet Decomposition Tree

For many signals, the low frequency component of the signal is the one of interest since it gives the signal its identity. On the other hand, the high frequency component usually constitutes the signal noise. In wavelet terminology, the low frequency component of a signal is called the “approximation part” while the high frequency component is called the “details part”. In the implementation of the DWT, wavelet coefficients of a signal are computed by passing such a signal through two complementary half-band filters: a Low-Pass (LP) filter and a High-Pass (HP) filter.

In order to obtain finer resolution frequency components of a specific signal, the signal is broken down into many lower-resolution components by repeating the DWT decomposition procedure with successive decompositions of the obtained approximation parts. This procedure is called wavelet multi-resolution analysis and may be represented by the Level of Decomposition (LOD) Tree (see Fig. 4-1). Using this wavelet multi-resolution analysis, the signal can be represented by a finite sum of components with different resolutions, and hence, each component can be processed adaptively depending on the application at hand.

The decomposed signal is then reconstructed by applying the inverse DWT (IDWT) on its computed wavelet coefficients, which computed for different scales and different time locations of the signal, are considered to be a measure of correlation between the used wavelet function and the signal itself. It is done by passing the coefficients of the selected approximation level through the IDWT LP filter and resetting the coefficients of all subsequent details to zero before passing them through the IDWT HP filters.

Beside the actual wavelet type choice, another question arises when determining the LOD for the data de-noising procedure. Two cases have to be distinguished according the mode of operation of the inertial sensor: *static* and *dynamic data*.

For static inertial data, the sensors outputs contain the following signals: *the Earth gravity components, the Earth rotation rate components* and the *sensors long-term errors* (such as biases). These signals have very low frequency, and hence, they can be separated easily from the high frequency noise components. To select an appropriate LOD in this case, several decomposition levels are applied and the standard deviation is computed for each approximation component obtained. The LOD will be the one after which the standard deviation reaches its minimum value.

In case of dynamic inertial data de-noising, the output of the sensors contains both effects of *the actual vehicle motion dynamics* and *the sensor noise* as well as some other undesirable effects such as vibration. Before applying the wavelet multi-resolution analysis on dynamic data, it should be ensured that the decomposition or de-noising process does not remove any actual motion information. Therefore, a spectral analysis should be performed first. Then, the appropriate LOD is selected in such a way that the decomposition process will remove only the components that have frequencies higher than the detected motion frequency range.

Using Matlab 7.0, the de-noising procedure proceeds in three steps:

- g) **Decomposition:** Choose a wavelet, its level N and then compute the wavelet decomposition of the signal at chosen level N.
- h) **Detail coefficients thresholding¹:** For each level from 1 to N, select a threshold and apply soft thresholding to the detail coefficients.
- i) **Reconstruction:** Compute wavelet reconstruction based on the original approximation coefficients of level N and the modified detail coefficients of levels from 1 to N.

4.3 Shaping Filter Evaluation

The measured static inertial sensor data were analysed using various wavelet types and various LOD. The combined AR modelling for varying order of AR processes and data de-noising was compared to the stand alone AR modelling. However, to fully verify the designed shaping filters and evaluate the influence on precision, implementation into the Kalman filter of an INS system would be appropriate. PSD analysis of the designed shaping filters was the only measure, because such INS system was yet unavailable.

5 Conclusion

Figure 4-2 shows the PSDs of the output signal of the designed white noise driven shaping filters. PSDs of the measured static data are presented in the first column, PSDs of the modelled shaping filters in the second and finally, PSDs of the modelled shaping filters using de-noised data in the third (for LOD = 3). All these PSDs correspond to the measured ones more precisely with increasing order of the AR process.

¹ For more details about threshold selection rules see Matlab 7.0 Help.

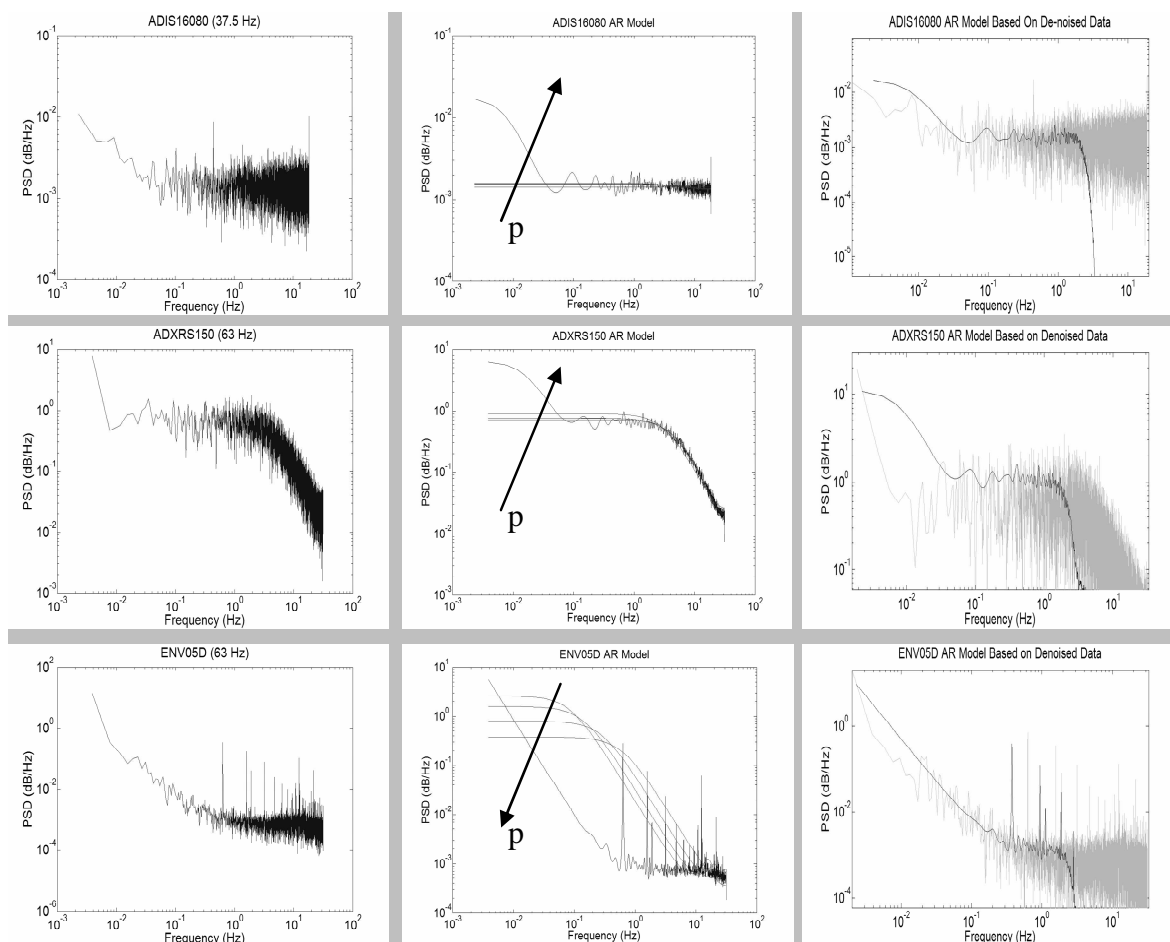


Figure 5-1: Examples: Measured Static Sensor Data PSDs; AR Models PSDs for Increasing Order of p ; AR Models Based on De-noised Data (LOD = 3)

In this paper, the methodology for inertial *sensor selection, modelling, evaluation and implementation into the Kalman filter* was proposed. General criteria for suitable sensors selection were stated. A noise modelling, using the *power spectral density analysis* was introduced. Models of inertial sensors in the form of *shaping filters* were designed using the *autoregressive method* (Gauss-Markov process approximation) based on parameter estimation via the *Burg's AR estimator*. AR inertial sensor models were improved by *data de-noising using the Discrete Wavelet Transform*; evaluated for various wavelet types and levels of decomposition. All the described methodology was confirmed using static data measurements on the both analog and digital *angular rate sensors*. Implementation for accelerometers bears no difference.

References:

- [1] GREWAL, M.S.: Andrews, A.P.: Kalman filtering – Theory and Practice Using Matlab. USA, John Wiley & Sons, 2001, 401 pages
- [2] MADISSETTI V.K., WILLIAMS D.B.: Digital signal processing handbook. CRC Press LLC, 1999, 1690 pages
- [3] KREIDL, M.: a kolektiv: Diagnostické systémy. Praha, Vydavatelství ČVUT, 2001, 352 pages

System s kmitočtově posunutou nosnou v leteckých radiových sítích.

Ing. Stanislav Rydlo, CSc.

Univerzita obrany, email: stanislav.rydlo@unob.cz, tel.: +420-973-445-279

Resumé:

Článek se zabývá implementací systému pracujících s kmitočtově posunutou nosnou pro zabezpečení spojení v reálném prostředí v souladu s platnými leteckými předpisy a doporučeními. Systém pracuje na jednom radiovém kanálu s použitím několika pozemních vysílačů. Jsou zde popsány jeho možnosti a nutnost respektování technických omezení tohoto systému v reálném prostředí.

1 Úvod

Stále vzrůstající počet letadel a tím i rostoucí potřeba komunikace stále většího počtu účastníků v daném letovém prostoru v libovolné výšce a čase vyvolává tlak na hledání možností jak tuto komunikaci spolehlivě zajistit na omezeném množství přidělených kmitočtů.

Řízení letového provozu vyžaduje spolehlivou rádiovou komunikaci orgánů řízení letového provozu (ŘLP) s vojenskými letadly na přiděleném kmitočtu v pásmu VHF a UHF v celém prostoru FIR (Flight Information Region – letová informační oblast) v daných výškách. Pro zabezpečení tohoto požadavku je nutné provozovat více radiostanic ve více lokalitách na společném kmitočtu. Za účelem provozování více vysílačů na společném kmitočtovém kanálu je možné využít režim radiostanic offset. Jedná se o posunutí nosného kmitočtu jednotlivých vysílačů na společném přiděleném kanále definovaného předpisem o civilní letecké telekomunikační službě L-10/III.

2 System s kmitočtově posunutou nosnou

Systémy s kmitočtově posunutou nosnou v prostředí kanálových odstupů 25 kHz, 50 kHz a 100 kHz. Stabilita jednotlivých nosných vln systému s kmitočtově posunutou nosnou musí být taková, aby zabránila heterodynním kmitočtům prvního řádu meších než 4 kHz a dále, maximální kmitočtová odchylka vnějších kmitočtů nosné vlny od přiděleného kmitočtu nosné vlny nesmí přesáhnout 8 kHz. Systémy s kmitočtově posunutou nosnou se nesmí používat na kanálech s odstupy 8,33 kHz. System příjmu musí zajistit efektivní potlačení 60 dB nebo více na následujícím přidělitelném kanálu.

Letecké předpis ANNEX 10 Volume III a V uvádí podmínky provozu systémů s kmitočtově posunutou nosnou v pásmu VHF. jako příklad jsou zde uvedeny možnosti:

- a) System s dvěma nosnými. Nosné by měly být umístěny na ± 5 kHz. To vyžaduje kmitočtovou stabilitu ± 2 kHz ($15,3 \cdot 10^{-6}$ na 130 MHz).
- b) System se třemi nosnými. Nosné by měly být umístěny na nule a $\pm 7,3$ kHz. To vyžaduje kmitočtovou stabilitu $\pm 0,65$ kHz ($5 \cdot 10^{-6}$ na 130 MHz).
- c) System se čtyřmi nosnými. Nosné by měly být umístěny na $\pm 2,5$ kHz a $\pm 7,5$ kHz. To vyžaduje kmitočtovou stabilitu $\pm 0,5$ kHz ($3,8 \cdot 10^{-6}$ na 130 MHz).
- d) System s pěti nosnými. Nosné by měly být umístěny na nule, ± 4 kHz a ± 8 kHz. Kmitočtová stabilita řádově ± 40 Hz ($0,3 \cdot 10^{-6}$ na 130 MHz).

Výše uvedené kmitočtové odstupy nosné jsou vztahovány k přidělenému kmitočtu kanálu.

V letadlových přijímačích, které pro tlumení používají měření odstupů nosné od úrovně šumu při příjmu, zvukové heterodiny způsobené přijetím dvou nebo více kmitočtově posunutých

nosných může být interpretováno jako šum a to může způsobit tlumení zvukového výstupu i tehdy, je-li přítomný postačující žádoucí signál. Aby palubní přijímací systémy mohly splňovat požadavky na citlivost, bude muset konstrukce přijímačů zajistit, že jejich citlivost se při příjmu vysílání s kmitočtově posunutou nosnou udržuje na vysoké úrovni. Použití potlačení úrovně nosné je neuspokojivým řešením těchto požadavků, ale tam, kde je použito, nastavení úrovně potlačení co možná nejnižší může problém poněkud vylepšit.

V případě přijímačů používaných v oblastech, kde jsou v provozu systémy s kmitočtově posunutou nosnou, měly by být charakteristiky přijímače takové, aby:

- odezva zvukového kmitočtu zamezovala škodlivým úrovním zvukových heterodynů, vznikajících z příjmu dvou nebo více kmitočtů s posunutou nosnou;
- umlčovací okruhy přijímače, jestliže jsou k dispozici, uspokojivě pracovaly za přítomnosti zvukových heterodynů, vznikajících z příjmu dvou nebo více kmitočtů s posunutou nosnou.

3 Využití vysílání s offsetem

Předpokládá využití pozemních leteckých rádiových stanic na kótách, odkud je zaručen spolehlivý příjem signálu ve všech zájmových oblastech, tj. FIR ČR FL 10 až FL 95. Poskytování letových provozních služeb je pak na jediném rádiovém kanále, a kromě prostorové diverzity jednotlivých pozemních vysílačů je využito i částečné kmitočtové separace v rámci jednoho kanálu, tj. je využit systém s kmitočtově posunutou nosnou – režim offset.

Hlavní výhodou takového systému je, že během letu nedochází k nutnosti přeladovat palubní rádiovou stanici, tj. spojení je realizováno na jediném rádiovém kanálu. Úskalím tohoto řešení je náročnost na parametry technického vybavení jak pozemního, tak i palubního. Při nedodržení velmi přísných parametrů, zvláště pak u systémů se třemi a více nosnými, pak nedochází k dostatečné dekorelaci zdrojů, a tedy k následnému zhoršení srozumitelnosti, nebo i k úplnému výpadku rádiového spojení. Dalším problémem, spíše legislativním, je skutečnost, že režim offset není v II. leteckém pásmu definován v leteckých předpisech, a to ani v civilních, ani vojenských.

4 Podmínky pro provoz pozemních radiostanic v režimu offset

Při stanovení požadavků na kmitočtovou stabilitu a šířku pásma je nutno vycházet ze dvou předpokladů:

- a) Popsaného příkladu z bodu 1.2 Dodatku A k části II Přílohy 10/III – L 10/III, kde jsou uvedeny příklady systémů s kmitočtově posunutou nosnou, které splňují požadavky Části II, 2.2.1.1.1 L 10/III;
- b) Stanovení efektivní šířky pásma pro vysílání jednoho kmitočtu v režimu offset, která obsahuje zvukovou šířku pásma 2500 Hz, potřebnou šířku pásma pro nestabilitu kmitočtu vysílače a 140 Hz z důvodu Dopplerova kmitočtu.

Šířka pásma jednoho vysílaného kmitočtu v režimu offset bude dána vztahem:

$$\Delta f_{On} = 2 * (\Delta f_z + \Delta f_{Sn} + \Delta f_D) \quad (4-1)$$

kde: Δf_o - šířka pásma jednoho vysílaného kmitočtu v režimu offset

Δf_z - zvuková šířka pásma

Δf_s - šířka pásma daná nestabilitou vysílače

Δf_D - Dopplerův posuv

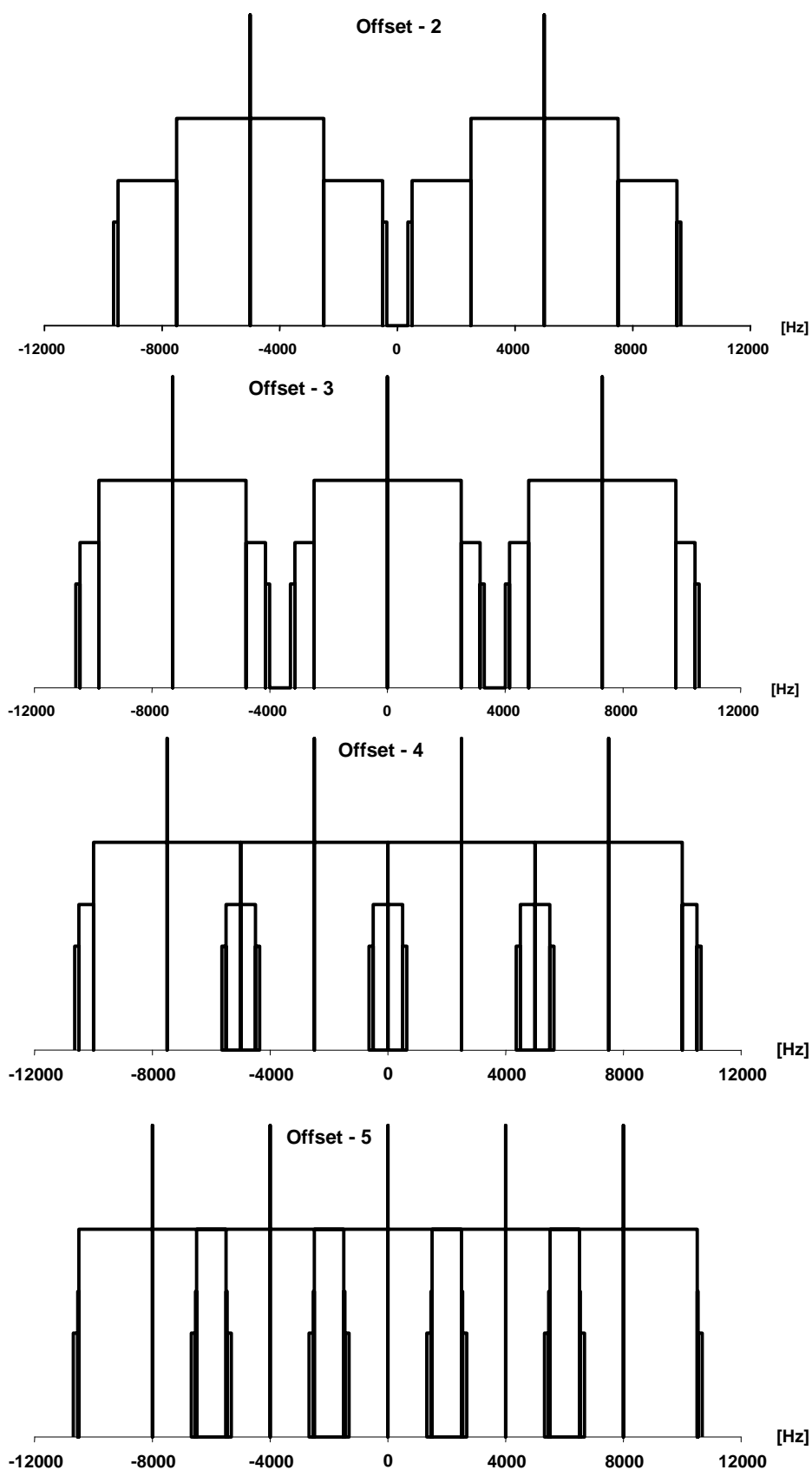
n - počet nosných v režimu offset

Následující tabulka Tab 4-1 ukazuje vypočítané hodnoty potřebného vysílacího pásma za daných předpokladů. Hodnota N nabývá hodnot 2 až n . Hodnota Δf_{Nn} udává kmitočtový odstup nosné v režimu **Offset** – n od přiděleného kmitočtu kanálu.

		Δf_{Nn} [Hz]	$\Delta f_{Nn} \pm \Delta f_Z$ [Hz]	$\Delta f_{Nn} \pm \Delta f_Z \pm \Delta f_S$ [Hz]	$\Delta f_{Nn} \pm \Delta f_Z \pm \Delta f_S \pm \Delta f_D$ [Hz]
Offset-2	1.kmitočť	-5 000	-7 500	-9 500	-9 640
			-2 500	-500	-360
	2.kmitočť	5 000	2 500	500	360
			7 500	9 500	9 640
Offset-3	1.kmitočť	-7 300	-9 800	-10 450	-10 590
			-4 800	-4 150	-4 010
	2.kmitočť	0	-2 500	-3 150	-3 290
			2 500	3 150	3 290
	3.kmitočť	7 300	4 800	4 150	4 010
			9 800	10 450	10 590
Offset-4	1.kmitočť	-7 500	-10 000	-10 500	-10 640
			-5 000	-4 500	-4 360
	2.kmitočť	-2 500	-5 000	-5 500	-5 640
			0	500	640
	3.kmitočť	2 500	0	-500	-640
			5 000	5 500	5 640
	4.kmitočť	7 500	5 000	4 500	4 360
			10 000	10 500	10 640
Offset-5	1.kmitočť	-8 000	-10 500	-10 540	-10 680
			-5 500	-5 460	-5 320
	2.kmitočť	-4 000	-6 500	-6 540	-6 680
			-1 500	-1 460	-1 320
	3.kmitočť	0	-2 500	-2 540	-2 680
			2 500	2 540	2 680
	4.kmitočť	4 000	1 500	1 460	1 320
			6 500	6 540	6 680
	5.kmitočť	8 000	5 500	5 460	5 320
			10 500	10 540	10 680

Tab. 4-1: Vypočtené hodnoty dle vztahu (1 - 1)

Obrázek Obr. 4-1 - ukazuje grafické znázornění vypočítaných hodnot v tabulce Tab 4-1.



Obr. 4-1: Rozložení spektra vysílací pozemní části s danými tolerancemi pro nestabilitu kmitočtu a Dopplerův posuv

Z vypočítaných hodnot lze zjistit i celkovou šířku vysílaného kmitočtového pásma pro jednotlivé režimy offset, která je dána nejnižší hodnotou 1. posunutého kmitočtu a nejvyšší hodnotou posledního posunutého kmitočtu. Pro uvedené příklady dle bodu 1.2 Dodatku A k části II Přílohy 10/III – L 10/III jsou celkové šířky pásma uvedeny v tabulce Tab. 4-2:

Režim offsetu	Šířka pásma [Hz]
Offset-2	19 280
Offset-3	21 180
Offset-4	21 280
Offset-5	21 360

Tab. 4-2: Šířka pásma pozemních vysílačů s offsetem 2 – 5 nosnými.

Další důležitý požadavek na realizaci režimu offset je relativní stabilita nosného kmitočtu vysílače. Z hodnot, které udávají požadovanou absolutní stabilitu pro offset se dvěma až pěti nosnými jsou v tabulce Tab. 4-3 uvedeny minimální požadované relativní stability pro přidělený kmitočet jak pro první, tak pro druhé letecké pásmo. Pro názornost jsou kmitočty vybrány uprostřed a na krajních mezích 1. a 2. LP.

		1.letecké pásmo		2.letecké pásmo	
	Absolutní kmitočtová stabilita [kHz]	Kmitočet nosné [MHz]	Relativní kmitočtová stabilita	Kmitočet nosné [MHz]	Relativní kmitočtová stabilita
Offset-2	2,00	118	17,0.10 ⁻⁶	220	9,1.10 ⁻⁶
		130	15,4.10 ⁻⁶	260	7,7.10 ⁻⁶
		137	14,6.10 ⁻⁶	400	5,0.10 ⁻⁶
Offset-3	0,65	118	5,5.10 ⁻⁶	220	2,9.10 ⁻⁶
		130	5,0.10 ⁻⁶	260	2,5.10 ⁻⁶
		137	4,7.10 ⁻⁶	400	1,6.10 ⁻⁶
Offset-4	0,50	118	4,2.10 ⁻⁶	220	2,3.10 ⁻⁶
		130	3,8.10 ⁻⁶	260	1,9.10 ⁻⁶
		137	3,6.10 ⁻⁶	400	1,3.10 ⁻⁶
Offset-5	0,04	118	3,4.10 ⁻⁷	220	1,8.10 ⁻⁷
		130	3,1.10 ⁻⁷	260	1,5.10 ⁻⁷
		137	2,9.10 ⁻⁷	400	1,0.10 ⁻⁷

Tab. 4-3: Požadavky na absolutní a relativní stabilitu nosných kmitočtů

5 Závěr

Offset pro dvě nebo tři nosné lze realizovat z hlediska, že se spektra AM sousedních nosných nedotýkají, při dodržení maximálních hodnot šířky pásma zvukového kmitočtu 2,5 kHz a kmitočtovou stabilitu ± 2 kHz pro systém s dvěma nosnými a $\pm 0,65$ kHz pro systém se třemi nosnými. V tomto případě v uvedených příkladech je vzdálenost mezi spektry jednotlivých nosných 720 Hz. V těchto dvou případech lze při zvýšené stabilitě nosného kmitočtu tolerovat větší šířku zvukového pásma. Na druhé straně nelze zužovat šířku audiopásma, které je přesně definované. Z tohoto vyplývá, že je bezpodmínečně nutné dodržet kmitočtovou stabilitu.

U offsetu se čtyřmi nosnými dochází k dotyku vysílaného AM signálu postranních pásem audiosignálu a pokud vezmeme v úvahu kmitočtovou nestabilitu a Dopplerův kmitočet, tak se postranní pásma sousedních AM nosných kmitočtů překrývají, tak jak je zřejmé z obr. 4 - 1.

U offsetu s pěti nosnými se u sousedních AM nosných kmitočtů překrývají již audiopásma bez ohledu na stabilitu a Dopplerův kmitočet.

Z rozboru vyplývá ze offsetové systémy se čtyřmi a pěti posunutými nosnými, vždy zhorší srozumitelnost v nf oblasti a lze je tedy využít pouze pro doplňkové služby (např. Volmet).

Literatura

- [1] DRHA, L. - BLOUDÍČEK, R. – JOHANIDES, P. – KOLÁŘ, J. – RYDLO, S. : ŘLP - výzkum rušivých jevů, technická zpráva. Praha, VTÚLaPVO, 2006, 118 s.
- [2] ETSI EN 300 676: Electromagnetics compatibility and Radio spectrum matters; Ground- based VHF hand-held, mobile and fixed radio transmitters, receivers and transmitters, receivers and transmitters for aeronautical mobile service using amplitude modulation; Technical characteristics and methods measurement.
- [3] ICAO: ANNEX 10, Aeronautical Telecommunications. Volume III – Communications systems.

Unscented Kalman filter and navigation system

Ing. Miloš SOTÁK, PhD.

doc. Ing. Milan SOPATA, PhD.

Ing. Václav KRÁLÍK, PhD.

Academy of Armed Forces, Liptovský Mikuláš

Honeywell, Brno

Academy of Armed Forces, Liptovský Mikuláš

email: milos.sotak@gmail.com, tel.: +421-960-512-160

email: milan.sopata@gmail.com, tel.: +421-960-512-160

email: vaclav.kralik@gmail.com, tel.: +421-960-423-207

Resume:

The paper will point out the inherent shortcomings in using the extended Kalman filter and presents, as an alternative, a family of improved derivativeless nonlinear Kalman filters called Unscented Kalman filters. UKF use a carefully selected set of sample points to more accurately map the probability distribution than the linearization used in standard extended Kalman filter, leading to faster convergence from inaccurate initial conditions in position/attitude estimation problems. UKF has become increasingly accepted as an alternative of EKF for nonlinear estimation, due to derivative-free filtering mechanization and higher-order approximation.

1 Introduction

The main objective of the INS/GPS integration is to merge information from INS and GPS sensors and provide estimates of the states of the vehicle with greater accuracy than relying on the information from the individual sensors. For many years loose and tightly coupled schemes have been used to provide robust solution. These solutions were used in many applications as in automotive, aerospace robotics and other systems where are needs for precise navigation.

2 Kalman filtering

The most widely used approximate nonlinear filters are the Linearized Kalman filter (LKF) and Extended Kalman filter (EKF) that are the representative analytical approximate nonlinear filters. The Kalman filter is used as a tool for stochastic estimation from noisy measurements. The Kalman filter is essentially a set of mathematical equations that implement a predictor-corrector type estimator that is optimal in the sense that it minimizes the estimated error covariance, when some presumed conditions are met.

The EKF is similar to the LKF, but with a few differences. Main difference is that the linearization is performed around a trajectory estimated by the filter, not a pre-computed nominal one as in the LKF. Although the EKF maintains the elegant and computationally efficient recursive update form of the KF, it suffers a number of serious limitations. One of these limitations is covariance propagation and update that are analytically linearized up to the first-order in the Taylor series expansion, and this suggests that the region of stability may be small since nonlinearities in the system dynamics are not fully accounted. However, these approximations can introduce large errors in the true mean and covariance.

Based on these reasons were different approaches to nonlinear filtering. In this paper the Unscented Kalman filter (UKF) is described. This filter belongs to simulation-based category of filters

The Unscented Kalman filter – also known as an Sigma-point Kalman filter (SPKF) was introduced by Julier and Uhlmann in [11]. In this work they described nonlinear transformation, called the unscented transformation (UT), in which the state probability distribution is represented by set of sampled sigma points, which are used to parameterize the true mean and covariance of state distribution.

An unscented transformation is based on two fundamental principles [5]. First, it is easy to perform a nonlinear transformation on a single point. Second, it is not too hard to find a set of individual points in state space whose sample probability density function approximates the true probability density function of the state vector.

The UKF belongs to a type of sampling-based filters and represents recursive MMSE estimator, that is a derivative-free (no need for Jacobian and Hessian calculation) alternative to the LKF and EKF. The UKF is built on the principle that it is easier to approximate a Gaussian distribution than it is to approximate an arbitrary nonlinear function (this is difference between UKF and LKF or EKF). In the UKF, a minimal set of sample points are deterministically chosen (this is difference between UKF and PF where the entire probability density function is calculated) and propagated through the original nonlinear system to capture the posterior mean and covariance of a random variable accurately to the 2nd order Taylor series expansion for any nonlinearity. The Unscented Kalman filter can be described by following algorithm.

1. Initialization:

Set parameters α , β , κ , where α is constant determines the spread of the sigma points around mean of state $\bar{\mathbf{x}}$ (usually small positive value $10^{-4} \leq \alpha \leq 1$), β is incorporate prior knowledge of the distribution of \mathbf{x} (for Gaussian distribution, $\beta=2$ is optimal), κ is secondary scaling parameter (if \mathbf{x} is a Gaussian distribution, then $\kappa=3-n_x$ is used for multi-dimensional systems).

Initialize:

$$\bar{\mathbf{x}}_0 = E\langle \mathbf{x}_0 \rangle \quad \mathbf{P}_0 = E\langle \langle \mathbf{x}_0 - \bar{\mathbf{x}}_0 \rangle \langle \mathbf{x}_0 - \bar{\mathbf{x}}_0 \rangle^T \rangle$$

Redefine state vector to new augmented state vector $\mathbf{x}^a = [\mathbf{x}^T \quad \mathbf{w}^T \quad \mathbf{v}^T]^T$.

$$\bar{\mathbf{x}}_0^a = E\langle \mathbf{x}_0^a \rangle = [\bar{\mathbf{x}}_0^T \quad 0 \quad 0] \quad \mathbf{P}_0^a = E\langle \langle \mathbf{x}_0^a - \bar{\mathbf{x}}_0^a \rangle \langle \mathbf{x}_0^a - \bar{\mathbf{x}}_0^a \rangle^T \rangle = \begin{bmatrix} \mathbf{P}_0 & 0 & 0 \\ 0 & \mathbf{Q} & 0 \\ 0 & 0 & \mathbf{R} \end{bmatrix} \quad (2-1)$$

where \mathbf{Q} is covariance of process noise, \mathbf{R} is covariance of measurement noise.

Calculate composite scaling parameter $\lambda = \alpha^2 (n_a + \kappa) - n_a$ and weights associated with the i th point

$$\begin{aligned} W^{(0)(mean)} &= \lambda / (n_a + \lambda) & W^{(0)(cov)} &= \lambda / (n_a + \lambda) + (1 - \alpha^2 + \beta) \\ W^{(i)(mean)} &= W^{(i)(cov)} = 0.5 / (n_a + \lambda) & & i = 1, \dots, 2n_a \end{aligned} \quad (2-2)$$

where n_a is dimension of augmented state vector $n_a = n_x + n_w + n_v$, n_x is dimension of state vector, n_w is dimension of process noise, n_v is dimension of measurement noise.

2. Calculate the sigma points

$$\mathbf{X}_{k-1}^a = \left[\left(\mathbf{X}_{k-1}^x \right)^T \left(\mathbf{X}_{k-1}^w \right)^T \left(\mathbf{X}_{k-1}^v \right)^T \right]^T = \left[\bar{\mathbf{x}}_{k-1}^a \quad \bar{\mathbf{x}}_{k-1}^a + \left(\sqrt{(n_a + \kappa) \cdot \mathbf{P}_{k-1}^a} \right) \quad \bar{\mathbf{x}}_{k-1}^a - \left(\sqrt{(n_a + \kappa) \cdot \mathbf{P}_{k-1}^a} \right) \right]$$

3. Time update

$$\begin{aligned} \mathbf{X}_{k,k-1}^x &= \mathbf{f} \left(\mathbf{X}_{k-1}^x, \mathbf{X}_{k-1}^w \right) \\ \bar{\mathbf{x}}_{k,k-1} &= \sum_{i=0}^{2n_a} W^{(m),(i)} \cdot \mathbf{X}_{k,k-1}^{x,(i)} \\ \mathbf{P}_{k,k-1} &= \sum_{i=0}^{2n_a} W^{(c),(i)} \cdot \left[\mathbf{X}_{k,k-1}^{x,(i)} - \bar{\mathbf{x}}_{k,k-1} \right] \cdot \left[\mathbf{X}_{k,k-1}^{x,(i)} - \bar{\mathbf{x}}_{k,k-1} \right]^T \\ \mathbf{Y}_{k,k-1} &= \mathbf{h} \left(\mathbf{X}_{k,k-1}^x, \mathbf{X}_{k-1}^v \right) \\ \bar{\mathbf{y}}_{k,k-1} &= \sum_{i=0}^{2n_a} W^{(m),(i)} \cdot \mathbf{Y}_{k,k-1}^{(i)} \end{aligned}$$

4. Measurement update

$$\begin{aligned} \mathbf{P}_{\bar{\mathbf{y}}_k \bar{\mathbf{y}}_k} &= \sum_{i=0}^{2n_a} W^{(c),(i)} \cdot \left[\mathbf{Y}_{k,k-1}^{(i)} - \bar{\mathbf{y}}_{k,k-1} \right] \cdot \left[\mathbf{Y}_{k,k-1}^{(i)} - \bar{\mathbf{y}}_{k,k-1} \right]^T \\ \mathbf{P}_{\mathbf{x}_k \mathbf{y}_k} &= \sum_{i=0}^{2n_a} W^{(c),(i)} \cdot \left[\mathbf{X}_{k,k-1}^{(i)} - \bar{\mathbf{x}}_{k,k-1} \right] \cdot \left[\mathbf{Y}_{k,k-1}^{(i)} - \bar{\mathbf{y}}_{k,k-1} \right]^T \\ \mathbf{K}_k &= \mathbf{P}_{\mathbf{x}_k \mathbf{y}_k} \cdot \mathbf{P}_{\bar{\mathbf{y}}_k \bar{\mathbf{y}}_k}^{-1} \\ \bar{\mathbf{x}}_k &= \bar{\mathbf{x}}_{k,k-1} + \mathbf{K}_k \left(\mathbf{y}_k - \bar{\mathbf{y}}_{k,k-1} \right) \\ \mathbf{P}_k &= \mathbf{P}_{k,k-1} - \mathbf{K}_k \cdot \mathbf{P}_{\bar{\mathbf{y}}_k \bar{\mathbf{y}}_k} \cdot \mathbf{K}_k^T \end{aligned}$$

5. Let $k = k + 1$ and iterate to item 2).

3 Simulation

The tests of our approach to filter navigation information were performed in simulation environment. For this, the trajectory of moving vehicle was generated and model of sensors errors (IMU, GPS) was developed. Errors of the IMU were modeled as in navigation grade systems where accelerometers errors were bias $0.1 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-2}$ and noise $0.1 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-2} \cdot \text{Hz}^{-1/2}$, and gyros errors were modeled with bias $0.01 \text{ deg} \cdot \text{h}^{-1}$ and noise $0.005 \text{ deg} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{Hz}^{-1/2}$. For GPS model was considered receiver working on C/A code with position error $\sigma_\rho = 15 \text{ meters}$, $\sigma_{\Delta\rho} = 0.01 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, for all used satellites. The integration scheme used in model was tightly coupled with pseudorange and delta pseudorange measurements.

As results, the statistic data RMS of error (difference etalon trajectory and trajectory indicated by system Fig. 1) were calculated. The simulation of the particular filtering methods took 600 seconds. The stand-alone INS maximum error in z^n axis was *-65 meters*, which grows in the time. The calculated maximum GPS position error was approximately *24 meters*.

FILTER	3D position error [m]	3D velocity error [m.s ⁻¹]
EKF	0.91	0.35
UKF	0.68	0.29

Tab. 3-1: Test Results

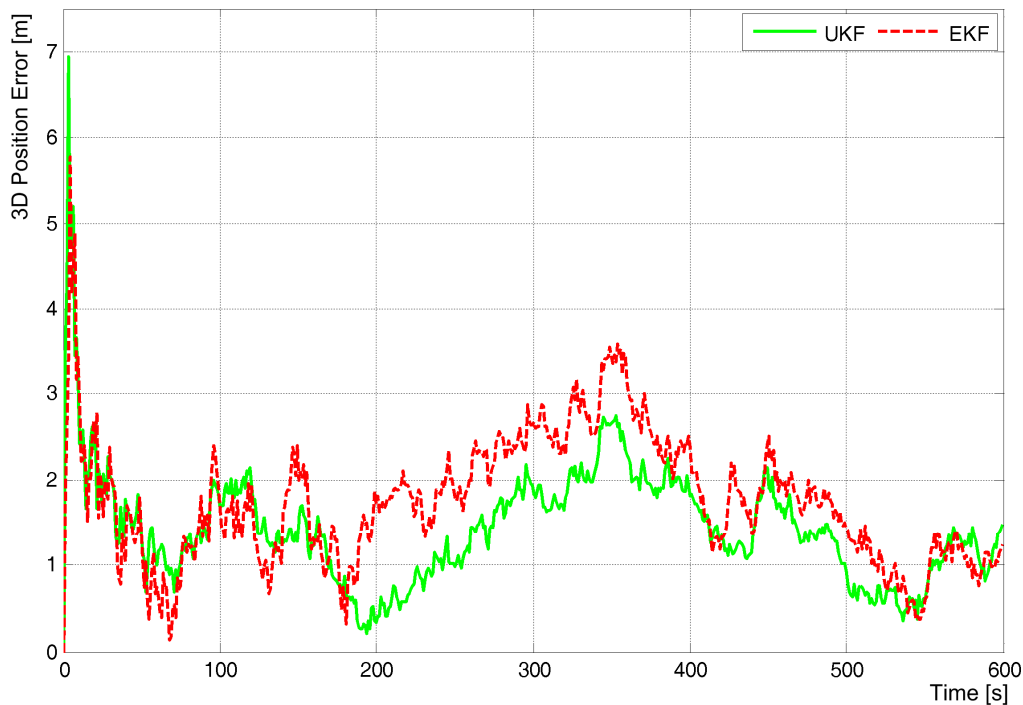


Fig. 3-1: 3D Position errors of the filters

4 Conclusion

The presented paper describes different approach to navigation information processing using Unscented Kalman filter instead traditional approach using Linearized Kalman filter or Extended Kalman filter. Since the Unscented Kalman filter comprises system nonlinearities, from the results is clear that is more accurate in state estimation than using standard Kalman filter. Comparing computational complexity, there is no big difference between UKF and EKF and should be reduced using Reduced Unscented Kalman filter that uses simplex sigma points yet [5, 9, 10].

This work has been supported by the project No. 096_06-RO02_RU21-240 "Integrované navigačné systémy".

References

- [1] Adamčík, F.: Artificial intelligence technology on board of aircraft. Journal Advances in military technology 1/2006. University of defence, Brno. November 2006, ISSN 1802-2308. p.137-142.
- [2] Bolic, M.: Theory and Implementation of Particle Filters, Ottawa, 2004
- [3] Cheon, Y.: Unscented Filtering in a Unit Quaternion Space for Spacecraft Attitude Estimation, ICCAS2005, KINTEX, Gyeonggi-Do, Korea, 2005.
- [4] Crassidis, J. L.: Sigma-Point Kalman Filtering for Integrated GPS and Inertial Navigation, AIAA Guidance, Navigation, and Control Conference, San Francisco, CA, Aug. 2005, AIAA Paper #2005-6052.
- [5] Crassidis, J. L.; Junkins, J. L.: Optimal Estimation of Dynamic Systems, Chapman & Hall/CRC, New York, 2004.
- [6] Doucet, A.; de Freitas, N.; Gordon, N. J.: Sequential Monte Carlo Methods in Practice, Springer, New York, 2001
- [7] Grewal, M. S. et al.: Global Positioning systems, Inertial Navigation and Integration, 2007
- [8] Gustafsson, F. et al.: Particle Filters for Positioning, Navigation, and Tracking, IEEE Transactions on Signal Processing, 2002
- [9] Haykin, S. editor: Kalman Filtering and Neural Networks, chapter 7 - The Unscented Kalman Filter, E. A. Wan and R. van der Merwe, pages 221–280. Adaptive and Learning Systems for Signal Processing, Communications, and Control. Wiley, 2001.
- [10] Julier, S. J.: Reduce Sigma Point Filters for the Propagation of Means and Covariances Through Nonlinear Transformations. Available: <http://www.robots.ox.ac.uk/~siju>.
- [11] Julier, S. J.; Uhlmann, J. K.: (1994, Aug.) A general method for approximating nonlinear transformations of probability distributions. [Online]. Available: <http://www.robots.ox.ac.uk/~siju>
- [12] Rohac, J.: Accelerometers and an Aircraft Attitude Evaluation. In IEEE Sensors 2005 - The 4-th IEEE Conference on Sensors. Irvine, CA, USA: IEEE Sensors, 2005, p. 784-788. ISBN 0-7803-9057-1.
- [13] Slavík, S. a kol.: Aerodynamika, konstrukce a systémy letounů, CERM s.r.o., Brno ISBN 80-7204-367-6
- [14] Sotak, M.; Sopata, M.; Breda, R.; Rohac, J.; Vaci, L.: Integration Navigation Systems, monograph, Kosice, 2006, ISBN 80-969619-9-3
- [15] Sotak, M.; Sopata, M.; Kmec, F.: Navigation systems using Monte Carlo method. In: Guidance, navigation and control systems: Proceedings of the 6th international European Space Agency Conference, Loutraki, Greece. Noordwijk : ESA Publications Division, 2006.
- [16] van der Merwe, R.; Wan, E. A.: Sigma-Point Kalman Filters for Integrated Navigation, Proceedings of the 60th Annual Meeting of the Institute of Navigation, Dayton, OH, 2004

Radar proximity fuse

doc. Ing. Štefan ŠPIRKO, PhD.

Ing. Václav KRÁLÍK, PhD.

Ing. Miloš SOTÁK, PhD.

Academy of Armed Forces, Liptovský Mikuláš

email: vaclav.kralik@gmail.com, tel.: +421-960-423-207

email: milos.sotak@gmail.com, tel.: +421-960-512-160

Resume:

A Radar proximity fuse is important part of missiles. Its correct function is determined by many mutual interconnected variable parameters. Proximity fuse makes impulses for high explosive warhead initiation, when distance between missile and target reaches the required accuracy. Possibility of adaptive jamming is described in the paper. Moreover, jamming of specific radar proximity fuse and derivation of minimum distance for warhead enforced activation is the presented.

1 Introduction

Radio proximity fuse sends a signal for initiation of high explosive warhead, when mutual distance between missile and target reaches a required distance. There exists a minimal distance, at which missile warhead detonation can be still meaningful. There are three basic functions of radio proximity fuse: It evaluates mutual distance between rocket and target continuously during the time of its functionality. It receives echo pulses reflected from the target. It generates commands for initialization of rocket warhead.

Result of proximity fuse operation is consolidation of missile antenna pattern, range of rocket warhead impact and place of target presence to activate rocket warhead efficiently.

Radio fuse as radio range-finder uses time, amplitude or frequency methods for evaluation of rocket to target distance.

Selection of echo pulses is done in amplitude, time and frequency domain. Evaluation of Doppler frequencies which are related to speed of rocket to target approaching, is most often used in frequency domain.

There are various types of radio proximity fuses [3 and 4]:

- Impulse, continuous wave (CW) and frequency modulated wave (FMCW) proximity fuse,
- active, semi-active and passive proximity fuse,
- proximity fuse with fixed or controlled antenna pattern,
- proximity fuse with evaluation of echo signals or with command system.

Principle of command's shaping

A situation scheme for derivation of relation between moment of warhead initialization, other parameters of missile and target movement and characteristics of a missile warhead is displayed in the Figure 1.

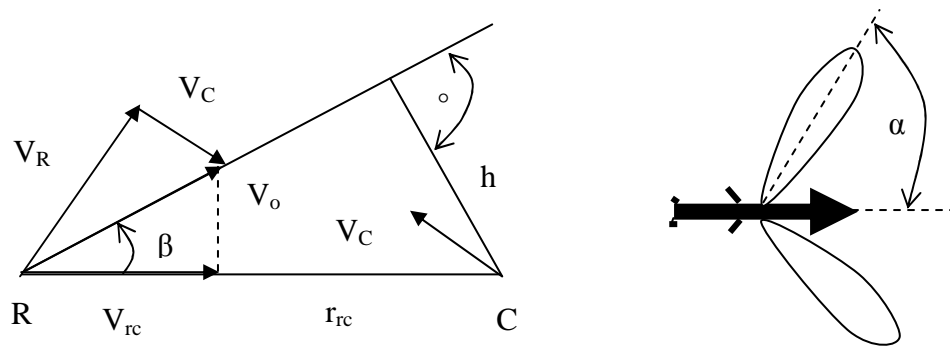


Figure 1-1: Situation vector scheme of missile and target movement

Where:

- R – missile position
- C – target position
- r_{rc} - missile – target distance
- V_R – vector of missile speed
- V_C – vector of target speed
- V_{rc} – vector of mutual missile- target approach speed
- $V_0 = V_R - V_C$
- h – divergence of missile to target guidance
- β – angle between missile and target flow line and vector V_0
- α – angle of radiation pattern maximum slope

Angle α can be permanently set in the missile, or it can be calculated during calculation of required distance r_p . The angle α is constant inside of missiles which are designated for target where only small changes of the approach speed are expected. If the angle α is adjustable, then it decreases as approach speed increases.

Shape of radiation pattern and main lobe width of missile antenna system is also important. A shape and an orientation of the warhead splinter's impact area must be also considered.

There is important relation between β , r_{rc} and h which is connected with moment of warhead activation command shaping. For this reason radio proximity fuse checks Doppler frequencies.

Following situation scheme the term for Doppler frequency can be derived

$$F_d = \frac{2V_0}{\lambda} \sqrt{1 - \frac{h^2}{r_{rc}^2}} \quad (1-1)$$

Where:

- F_d - Doppler frequency
- λ – wave length of radio proximity fuse

Requested is determinate according formula

$$r_p = \frac{h}{\sqrt{1 - \left(\frac{F_{dz} \lambda}{2V_0}\right)^2}} \quad (1-2)$$

Where:

- r_p – requested distance for warhead activation
- F_{dz} – value of F_d preset in the radio proximity fuse

If V_0 is constant then r_p is proportional to divergence of h . In this case it is simple to synchronize the initialization and warhead impact areas. On the other hand, if $V_0 \neq \text{constant}$, to keep $h = \text{constant}$, it is needed to react by decreasing of r_p as V_0 increases. A basic block diagram of radio proximity fuse is shown on Figure 2.

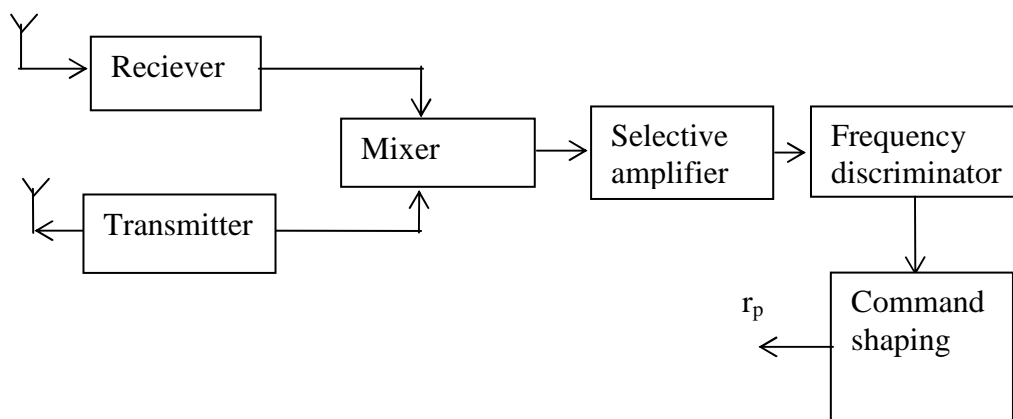


Figure 1-2: A basic block diagram of radio proximity fuse

Possibilities of missile radio fuse jamming

If we want jam a missile radio fuse, so from target perspective there are following options of jamming: an active jamming by an sufficient power noise generator (brutal force jamming) or an active jamming which will cause an early activation of missile warhead (intelligent jamming). The early activation requests to receive the missile radio fuse signal first, to evaluate the particular delay and Doppler frequency,

In this context there are two possible approaches to missile radio fuse jamming:

- jamming signal with constant envelope and Doppler frequency,
- jamming signal with variable envelope and Doppler frequency.

Simplified block diagram of missile radio fuse jammer is shown on Figure 3.

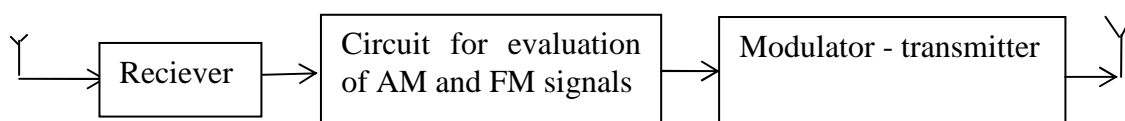


Figure 1-3: Simplified block diagram of missile radio fuse jammer

The jamming by signal with constant envelope and Doppler frequency is simple form of jamming with relatively small efficiency. The jamming by signal with variable envelope and Doppler frequency is more complicated, but it provides much higher efficiency. Moreover we will assume only jamming by signal with variable envelope and Doppler frequency.

From analyses of the received signal from radio fuse we can summarize:

- received signal amplitude will gradually increase with quadratic law (in accordance with beacon equation) as missile approaches to targets and it will decrease as missile recedes from targets;
- Doppler frequency will gradually linearly decrease (in accordance with equation for radial speed) as missile approaches to targets. It will be zero in the moment when missile hit the target.

Early activation of missile warhead

The time interval for early activation of missile warhead can be derived from the missile destroying radius and the mutual missile- target approach speed after some specific simplification. It can be calculated according formula

$$\Delta t_p \geq \frac{r_R}{V_R} \quad (1-3)$$

Where:

- Δt_p - interval for early activation of missile warhead
- r_R - missile destroying radius.

After that imitated missile speed have to satisfy the condition

$$V_{ri} \geq \frac{r_{RC}}{t_{rz} - \Delta t_p} \quad (1-4)$$

Where:

- V_{ri} - imitated missile speed,
- t_{rz} - activity interval of radio fuse,

and imitated Doppler frequency have to satisfy the condition

$$F_{di}(t) = \frac{2V_{ri} \cos \beta(t)}{\lambda} \quad (1-5)$$

Where F_{di} - imitated Doppler frequency.

2 Conclusion

Experimental results on one type of missile approved the above assumption about possibilities of missile radio fuse jamming. Missiles of different construction could have high level of countermeasures to avoid early or incidental missile activation.

References

- [1] BRÉDA R.: Sledovacie systémy súčasných leteckých riadených rakiet, Medzinárodný odborný vedecký seminár ESOS 2005, L. Mikuláš 2005
- [2] DEMIDOV, V. P.- KUTYEV, N. Š.: Upravlenije zenitnymi raketami. Moskva, Vojennoe izdatel'stvo 1989.
- [3] SKOLNIK, M.: Spravočnik po radiolokaciji-1. Moskva, Sov. radio 1976.
- [4] ZIMIN, G.V. – BURMISTROV, S.K. – BUKIN, B.M.: Spravočnik oficera protivovozdušnoj oborony. Moskva, Vojenizdat 1987.

Přenos video dat z bezpilotních prostředků

Ing. Milan VAŠEK, Ph.D.

Katedra leteckých elektrotechnických systémů, Univerzita obrany, Brno, email:
milan.vasek@unob.cz, tel.: +420-973 445 233

Resumé:

Článek popisuje aspekty, které by měly být brány v úvahu při návrhu a implementaci komunikačního datového spojení mezi kamerou umístěnou na bezpilotním prostředku a pozemním vyhodnocovacím centrem.

1 Úvod

Při návrhu spojení pro vysoce kvalitní video přenos z kamery umístěné v malém bezpilotním prostředku (BP) je nutno přihlížet k faktu, že malé BP mají obvykle extrémní nároky na nízký objem neseného „nákladu“, jeho hmotnost a spotřebu energie. Používané přenosové prostředí je nejčastěji charakterizováno jako dvoucestné, tzn., že přijímací anténa přijímá vlnu přímou a odraženou. Přenášený signál je také ovlivňován interferencemi z jiných komunikačních zařízení na bojišti. Šířka přenášeného pásma, která je pro přenos k dispozici je v praxi značně omezená. Zásadní jsou způsoby digitálního přenosu videa, které vyžadují kompresi videa na palubě BP. Vybraný kompresní algoritmus musí mít následující vlastnosti:

- účinnost, požadovaný datový tok videa v dobré kvalitě by měl být co nejnižší,
- malé zpoždění (latenci), operátor vyhodnocující video musí velmi často rychle reagovat na to, co vidí,
- odolnost vůči chybám způsobeným přenosovou cestou,
- jednoduchost procesu kódování, který by měl mít nízkou výpočetní složitost, protože možná velikost a napájení jsou u BP značně omezeny.

Pozemní vyhodnocovací systémy by měly být snadno přenosné a jednoduše rozložitelné se schopností šířit videoinformaci pomocí pozemní sítě k okamžitému vyhodnocení a záznamu.

2 Zpracování a přenos signálu z BP

Video je digitalizováno nahrazením každého snímku souborem blízko umístěných bodů (pixelů), jejichž intenzita a barva se kombinují tak, aby aproximovaly původní obraz. Pixely jsou typicky reprezentovány jako 8 bitové hodnoty. Byly stanoveny standardy, které určují jas a chrominanci (barevnost) pixelů. Jasová část typického snímku NTSC videa ve formátu CCIR-656 je 720 pixelů široká a 480 pixelů vysoká, zatímco chrominance se dělí na červenou (Cr) část 360x480 pixelů a modrou (Cb) část stejné velikosti. Proto jeden snímek nekomprimovaného videa obsahuje $(720 \times 480 + 360 \times 480 + 360 \times 480) \times 8 = 5\,529\,600$ bitů, bez jakýchkoliv synchronizačních informací. Při 30 snímcích za sekundu je požadovaný datový tok téměř 166 Mb/s. Bez komprese tohoto signálu by byl analogový přenos jednoznačně výhodnější.

Většina dobrých kompresních algoritmů může poskytnout video s plnou frekvencí snímkování se slabě rozpoznatelnou ztrátou kvality. Výsledný komprimovaný datový tok se pohybuje v řádu 3 - 5 Mb/s. Při této frekvenci, je potřebná šířka pásma digitálního video systému srovnatelná s analogovým.

Pokud je v praxi k dispozici mnohem menší šířka pásma než šířka, kterou pro přenos potřebujeme existují dvě řešení: snížit rychlost snímkování nebo kvalitu snímků. Který přístup je vhodnější záleží na konkrétní aplikaci BP.

Výhodou digitalizace a komprimace videa je to, že může být vysíláno s větší spolehlivostí a za použití menší šířky pásma, než při použití analogového přenosu. Pokud je použito dobré kódování pro kontrolu chyb (tzv. kanálové kódování), může být digitální video přenášeno zároveň bez znatelného zkreslení na tak úzkých kanálech, které by znehodnotily signály analogové.

Mezi klíčové procesy (prvky) digitálního video systémů BP patří:

- digitalizace videa,
- komprese videa,
- kódování,
- modulace a přenos.

3 Možnosti zpracování video dat v přenosovém řetězci

3.1 Modulace

Existují dva hlavní směry modulování preferované výrobcí vybavení a uživateli datového spojení pro použití u BP. Jde o metodu COFDM (Coded Orthogonal Frequency Division Multiplexing), využívající k modulaci více nosných kmitočtů, a o modulace s jednou nosnou a konstantní obálkou jako je FSK (Frequency Shift Keying) nebo GMSK (Gaussian Minimum Shift Keying).

Modulace COFDM

I když lze modulaci COFDM velmi dobře využít na některé problémy přenosu dat, není příliš vhodná pro prostředí malých BP. Výhodné je použít metodu COFDM u kanálů, kde dochází k velkým variacím útlumů a změnám fáze. Toto se děje u mobilního pozemního kanálu, kde není splněna podmínka pro přímou rádiovou viditelnost.

Důvodem proč je COFDM pro tyto kanály vhodná je to, že rozděluje dostupné frekvenční pásmo do většího počtu N menších pásem (kanálů) a demultiplexuje data tak, že jsou vysílány na N úzkopásmových modulačních procesech, jeden pro každý kanál. Pokud dojde v kanálu k úniku (fading) některých frekvencí napříč přenosovým pásmem, jsou ovlivněny jen některé z N menších pásem a ostatní poskytují dobrý výkon. Před demultiplexováním je možné použít kódování FEC (Forward Error Correction), které dokáže opravit vzniklé chyby, je-li únikem postiženo méně než 10 % přenosového pásma.

Tato modulace není pro BP příliš vhodná. Přenosový kanál BP je charakterizován jako dvoucestný kanál, u kterého pozemní stanice přijímá vlnu přímou a odraženou. Například pro signál s šířkou pásma 5 MHz, šířící se v oblasti UKV a vyšší, je únik vzniklý na tomto kanálu téměř nezatelný a tedy, u systému COFDM jsou všechna modulační pásma ovlivňována v libovolném čase stejným způsobem.

COFDM má jeden velký nedostatek v porovnání s modulací s konstantní obálkou. Tvar vlny má vysoký poměr špičkového výkonu ke střednímu, a proto vyžaduje ve vysílači použít lineární zesilovač (třídy A). Účinnost dobrého zesilovače může být na úrovni 15 % (dodání 1,5 W do antény představuje spotřebu 10 W). Naproti tomu zesilovač třídy C, který je použit při modulaci s konstantní obálkou, může dosáhnout účinnosti 40-50 % (dodání 1,5 W do antény představuje spotřebu 3 až 3,75 W).

Při práci s pevně danou energetickou bilancí přenosového kanálu, musí systém COFDM dodat o 4-5 dB vyšší výkon oproti celkové energetické bilanci spoje, aby dorovnal tuto nevýhodu. U dvoucestného kanálu nemůže být výkonově srovnatelná modulace lepší, než modulace s konstantní obálkou a proto je její použití u malých BP mnohem vhodnější. Jako

vhodné modulace lze použít FSK (Frequency Shift Keying), MSK (Minimum Shift Keying) a zejména GMSK (Gaussian Minimum Shift Keying).

Modulace GMSK

Modulace GMSK je široce využívána v technologii mobilních telefonů. Princip kódování u této modulace spočívá v pevně řízených změnách fáze. U GMSK s modulačním indexem (h) 0,5, který odpovídá minimálnímu frekvenčnímu odstupu, série jedniček zvýší fázi lineárně o 90 stupňů na každý bit, a série nul změní fázi lineárně o -90 stupňů na každý bit.

Toto platí i pro modulaci MSK, ale rozdíl nastává v případě kdy se data změní z jedničky na nulu nebo naopak. U MSK fáze změní jednoduše průběh a obrátí se lineárně do jiného směru, než který sledovala při předchozím bitu. V případě GMSK, změna směru nastává průběžně a ve skutečnosti probíhá po trajektorii určené aplikováním Gaussovské dolní propusti GLPF (Gaussian Low Pass Filter), která je zaoblí, což má potom za následek výrazné potlačení nežádoucích postranních složek spektra modulovaného signálu GMSK.

GMSK a MSK mají velkou výkonnostní výhodu oproti FSK, protože mohou být demodulovány koherentně - tzn., že data mohou být mapována do absolutních fází než do fázových posunů. Toto představuje zlepšení účinnosti téměř o 3 dB v porovnání s nekoherentní FSK.

3.2 Kódové zabezpečení přenosu

Systém digitálního přenosu obrazu může využít velmi účinné metody protichybového zabezpečení přenosového kanálu, zajišťující, že dekodér je schopen opravit určité množství chybných dat poškozených při přenosu. Patří mezi ně vnější Reed-Solomonovo kódování, vnější bajtové prokládání (interleaving), vnitřní symbolové a bitové prokládání a vnitřní konvoluční kódování FEC s volitelným kódovým poměrem k/n (1/2, 2/3, 3/4, 5/6 nebo 7/8).
Dopředná korekce chyb (FEC)

Princip FEC spočívá ve vytvoření diskretního datového kanálu mezi vstupem kanálového kodéru a výstupem dekodéru. Na vstup kodéru přicházejí od předchozího zdrojového kodéru binární data. Tato data se člení do vstupních bloků. V kanálovém kodéru se k těmto blokům přidávají ochranné kontrolní bity, odvozené pomocí vhodných algoritmů ze vstupních datových bitů. Tyto bity se označují jako bity paritní. Na výstupu kodéru se potom objevuje zakódovaný signál, ve formě chráněných kódových bloků. Tento signál se po modulaci na nosnou vlnu přenáší rádiovým kanálem. Zde na něj působí řada rušivých faktorů, takže v přijímači má zakódovaný nedomodulovaný signál sice nezměněnou bitovou rychlost, avšak je zatížen určitou chybovostí BER (Bit Error Rate). Chyby v přenesených bitech však kanálový dekodér částečně koriguje nebo zcela eliminuje. FEC sice zvýší požadavky na datový tok, který musí být přenesen, ale na druhou stranu už relativně malé roztažení šířky pásma může představovat velké zlepšení výkonu.

Prokládání může být velmi užitečné pro kanály, které jsou ovlivňovány shluky chyb. Shluky chyb mohou zahltnout systém kanálového kódování (FEC) vytvořením více chyb než může kódování opravit v jednom kódovaném bloku. Při prokládání dochází k obměňování (permutaci) pořadí, ve kterém jsou bity přenášeny a inverzní proces prokládání v přijímači obnovuje správné pořadí. Pokud se chyby vyskytují v kanálu ve shlucích, v přijímači jsou zpětným prokládáním chyby rozptýleny, a pokud je proces permutace dobře zvolen, jsou rozptýleny tak, že je dopředná chybová korekce FEC schopna opravit všechny chyby.

Nevýhodou prokládání je, že při něm vzniká zpoždění.

4 Přehled standardů pro kompresi videa a jejich použití v BP

Standardy pro kompresi digitálního videa zaznamenaly rozvoj v posledních patnácti letech a nyní můžeme pozorovat, že se jejich vývoj zpomaluje. Pro standard je typické, že přesně vyjadřuje především způsob dekomprese, zatímco komprese je ponechána z velké části na tvůrci. Standardy definují činnost dekompresního zařízení tak, aby dokázalo upravit komprimovaný datový tok vytvořený jakýmkoliv komprimovacím procesem. To znamená, že ne všechny implementace daného standardu budou vykazovat stejné výsledky. Všeobecná tvrzení, že daný standard podává přesně stanovený výkon, jsou chybná. Při takových tvrzeních je nutno brát na zřetel konkrétní provedení standardu (zejména při kompresi) a také to, že je výkon často závislý na obsahu. Proto každé hodnocení výkonu musí také obsahovat popis obsahu. I přes výše uvedená úskalí lze vytvořit obecné porovnání mezi jednotlivými provedeními různých standardů.

MPEG-2

MPEG-2 je úspěšným komerčním video standardem pro kompresi. MPEG-2 není pouze jeden standard. V rámci MPEG-2 je mnoho “profilů” a “úrovní”, a konkrétní provedení MPEG-2 by mělo obsahovat kombinaci profilu/úrovně pro jednoznačný popis obsahu. Úroveň definuje maximální rozlišení a frekvenci snímkování videa, zatímco profil popisuje formát videa. Dosud nejvýznamnější implementace MPEG-2 byla MP@ML (hlavní profil na hlavní úrovni), což je formát 4:2:0 s rozlišením 720x576. Toho běžně využívá většina DVD přehrávačů a digitální TV vysílání. S nástupem HDTV (High Definition Television) na trh za posledních několik let, dosáhla velkého prodejního úspěchu i provedení MP@HL (1920x1152) a MP@H14 (1440x1152) dekodérů.

Výhody a nevýhody standardu MPEG-2 pro použití v BP jsou následující:

- MPEG-2 je velmi efektivní v dosahování dobré komprese s výbornou kvalitou videa při rychlostech okolo 2 Mb/s.
- pokud jsou vyžadovány rychlosti snímkování větší než 30 fps, MPEG-2 dosáhne ještě většího kompresního poměru, protože účinnost odhadování pohybu se zvyšuje se zvětšující se frekvencí snímkování. Naopak, při nižší rychlosti snímkování, se účinnost komprese snižuje.
- MPEG-2 má podporu, která umožňuje aby byl komprimovaný datový tok udržován konstantní a mohl být nastaven uživatelem. Nicméně pro rychlosti okolo 2 Mb/s a níž je nutné snižovat kvalitu obrazu. Nižších datových toků může být dosaženo snížením rychlosti snímkování, pokud pro to má dané provedení MPEG-2 předpoklady. Problémem je, že snížená snímkovácí frekvence vede k snížení efektivity odhadu pohybu, což zhoršuje efektivitu komprese. Snížení datového toku na polovinu často vyžaduje snížení snímkovácí frekvence více než na polovinu. Někdy je také nutné pracovat jen v módu I-frames (což nepodporují všechny implementace MPEG-2).
- provedení MPEG-2, které využívá B-frames, má výrazné zpoždění, protože proces kódování musí využívat budoucí snímky stejně jako minulé, a proto si musí ukládat tyto snímky pro kompresi i dekompresi. Zpoždění může být problematické, pokud je aplikací vyžadován videosignál v reálném čase.
- chybné bity, vznikající při přenosu se u MPEG-2 často objevují ve více snímcích. Chyba v kotevním snímku má vliv na následující snímky až do konce GOP (Group of Picture). Toto vyžaduje velmi kvalitní přenosový kanál v porovnání s algoritmy, které nepoužívají pohybový odhad.

MPEG-4

Na rozdíl od standardu MPEG-2, který je zaměřen na digitální televizi, obsahuje standard MPEG-4 širokou řadu nástrojů, která slouží k uspokojení požadavků různorodých aplikací. I přes velký rozsah možností má použití MPEG-4 jen omezený úspěch. Důvodem je mnoho faktorů, od složitých a nákladných licenčních podmínek až po neúspěšné vylepšování v návrzích MPEG-2 kodérů, což vyústilo v situaci, kdy vyspělá implementace MPEG-4 je jen o 15 % účinnější než vyspělé MPEG-2 řešení. To je ovšem nedostatečný rozdíl pro to, aby nahradil rozšířenou základnu zařízení se standardem MPEG-2. Ačkoli mohou existovat velmi zajímavé nástroje v MPEG-4 standardu, které by mohly být vhodné pro použití u BP, tyto nejsou v komerčních provedeních standardu MPEG-4 většinou použity. Výjimkou může být MPEG-4, Part 10, která se obecně nazývá H.264.

H.264

Standard H.264 využívá koncept popsaný u MPEG-2 a přináší mnoho zdánlivě zanedbatelných vylepšení, které celkově vedou k mnohem lepšímu kompresnímu výkonu. Mezi vylepšení patří přesnější definice dekodéru, takže chybový snímek je natolik přesný, že je možné ho použít už pro bloky od 4x4 pixelů.

V současné době neexistuje real-time čip nebo zařízení, které by z hlediska rozměrů a spotřeby bylo vhodné pro malé BP, dostupné produkty jsou většinou 19 palcové skříně nebo desky se sadami DSP (Digital Signal Processor) čipů, které jsou zcela nevhodné pro instalaci v BP.

MJPEG a MJPEG2000

Kompresní kodek MJPEG (Motion Joint Photographic Experts Group) je založen na kompresi jednotlivých snímků použitím komprese JPEG. Tento kodek má většinou volitelný kompresní poměr v rozmezí 6:1 do 16:1. Při kompresním poměru 1:8 je kvalita obrazu stále ještě velmi dobrá a datový tok se pohybuje kolem 4 MB/s a dosahuje tak dobrého poměru kvalita/velikost. Velikou předností tohoto kodeku je, že každý snímek je komprimován samostatně a je tedy vždy klíčový. Proto je tento kodek velmi vhodný pro důkladnou analýzu přeneseného obrazu.

Kompresní kodeky pro video MJPEG a MJPEG2000 (pracují na stejném principu - každý snímek videa je považován za samostatný obraz a je kódován pomocí standardu JPEG nebo JPEG2000. Každý zkomprimovaný snímek má stejný obsah jako soubor JPEG nebo JPEG2000 a může být ve skutečnosti prohlížen jakýmkoliv standardním prohlížečem. Zkomprimované snímky jsou vysílány jeden po druhém a vytvářejí proud videa. Standard JPEG2000 obsahuje specifikace formátu zmíněného proudu videa standardu MJPEG2000. Neexistuje žádný další standard pro MJPEG, všechny MJPEG implementace jsou proprietární.

Tato metoda by mohla být vhodnou metodou pro aplikaci v přenosovém systému BP.

5 Závěr

Před návrhem způsobu přenosu dat mezi kamerou BP a pozemním vyhodnocovacím zařízením je důležité provést analýzu metod zpracování signálu. Mezi nejdůležitější procesy patří komprese, kódování a modulace. Z výsledků konkrétních analýz jsou v článku stručně uvedeny závěry a hodnocení, ze kterých vyplývá, že v přenosovém řetězci video dat z bezpilotního prostředku je v současné době z hlediska komprese výhodné použít MPEG-2, popř. MJPEG2000, zabezpečení signálu proti chybám zajistit kódováním FEC a z modulací nejlepší vlastnosti vykazuje GMSK.

Literatura

- [1] Vlček, K. Kompresie a kódová zabezpečení v multimediálních komunikacích. Praha: BEN, 2000. ISBN 80-86056-68-6
- [2] Kolektiv autorů. Development and Operation of UAVs for Military and Civil Applications. Neuilly-sur-Seine Cedex. RTO NATO, 2000. ISBN 92-837-1033-9.
- [3] Enerdyne Technologies, Inc. White Paper. Video Compression, Sensor Multiplexing and Data Link Design for Small UAVs [on line]. Dostupné z URL: <http://www.enerdyne.com/pdfs/>.

Úloha metrologické služby AČR.

pplk Ing. Zbyněk Veselák

ŘeLogZdrP, Stará Boleslav, e-mail: veselakz@seznam.cz, tel.: +420-973-230-704

mjr Ing. David Kallab

Ministerstvo obrany, Praha, e-mail: kallab@seznam.cz, tel.: +420-973-206-003

Resumé:

Článek v krátkosti shrnuje zásadní události v historii metrologické služby AČR, které měly přímý i nepřímý dopad na současný stav. V článku jsou shrnuty rámcové možnosti zabezpečovaných veličin vlastními výkonnými prostředky metrologické služby a je nastíněn současný problém spojený s informatizací metrologické služby.

1 Historický vývoj metrologické služby v AČR

Od 80tých let minulého století dochází u metrologie státu Varšavské smlouvy (tedy i tehdejší ČSSR) k velkému oživení, které bylo vedeno potřebou zajistit vysokou bojovou pohotovost, bezpečnost a efektivnost provozu především raketové a letecké techniky. V kontextu těchto potřeb byl navržen nový systém metrologického zabezpečení, který byl nezbytným předpokladem pro trvalé udržování technického stavu výzbroje a techniky na požadované úrovni. Tehdejší, nevyhovující, systém metrologického zabezpečení pokrýval požadavky vojsk z přibližně 1/3 všech požadavků.

Tehdy nově navržená koncepce plánovala vytvoření řídicích prvků a vybudování výkonných prvků metrologického zabezpečení (Celoarmádní měrová střediska – CAMS) u jednotlivých druhů vojsk. Gestorem metrologického zabezpečení byl náčelník vyzbrojování a technického zabezpečení ČSLA. Současně dochází ke zpracovávání přehledu techniky, která podléhá metrologické kontrole. Jsou také definovány zásady ke akreditaci výkonných prvků v resortu FMNO.

V období historických změn v roce 1989 byla tato koncepce rozvoje metrologického zabezpečení přijata (normativní akty jsou stále platné) a v souladu s ní byly budovány výkonné prvky metrologického zabezpečení. Rozdělením ČSFR v roce 1993 zůstává významná část kapacit výkonných prvků na Slovensku a Česko (AČR) je nuceno vybudovat znovu nové výkonné prvky metrologického zabezpečení.

V období devadesátých let minulého století AČR vybuvovala několik významných výkonných metrologických prvků ke kterým bezesporu patřily Metrologická laboratoř letectva v Brně - Slatině, Ústřední základna pro metrologii a technický dozor v Praze a Laboratoř ionizujícího záření v Olomouci – Bystrovanech. AČR taktéž zavedla do výzbroje dvě pojízdné laboratoře označované jako PLIT A3-2 určené pro přímou podporu leteckých a raketových jednotek. Ve druhé polovině 90-tých let byla zavedena do výzbroje pojízdná metrologická dílna PD-M, která byla provozována u brigády rychlého nasazení. Od roku 1995 je součástí organizační struktury každé letecké základny i metrologické středisko.

Od roku 1997 byly na Oddělení metrologie a technického dozoru (OdMTD) Velitelství logistiky (dnes Ředitelství logistické a zdravotnické podpory - ŘeLogZdrP) delegovány některé celoarmádní působnosti. Jedná se především o působnosti v oblastech plánování, řízení a vyhodnocování úkolů, provádění akreditací, vedení celoarmádních přehledů měřící techniky podléhající kalibraci, zabezpečování školení a přezkušování pracovníků metrologie AČR apod.

V souladu s nově přijatou koncepcí výstavby AČR dochází v roce 2004 ke zrušení Metrologické laboratoře letectva v Brně a Ústřední základny pro metrologii a technické dozor

v Praze. Úkoly a působnost přebírají metrologická laboratoř brigády logistické podpory v Pardubicích (v podřízenosti velitelství Společných sil AČR) a metrologické středisko Základny oprav v Lázni Bohdaneč (v podřízenosti velitelství Sil podpory a výcviku). V tomto období také zanikla i některá metrologická pracoviště tehdy rušených útvarů. Rok 2004 je tedy prozatím posledním zlomovým rokem. Na ilustračních záběrech (obr.1-1 a obr.1-2) jsou dnes již historické snímky z MLL Brno zobrazující pracoviště s Césiovým standardem času a etalonáží tlaku.



Obr. 1-1: MLL Brno – Pracoviště s Césiovým standardem času [1]



Obr. 1-2: MLL Brno – Pracoviště s etalonáží tlaku [1]

2 Současnost metrologické služby v AČR

2.1 Úloha metrologické služby

Systém metrologického zabezpečení do jisté míry představuje samostatný subsystém logistické podpory AČR. Hlavním cílem tohoto podsystému je zabezpečení kvality zavedené výzbroje při dosahování maximální hodnoty parametru spolehlivosti a bezpečnosti provozu a minimalizaci všech s tím spojených nákladů celé provozní fáze životního cyklu. Mezi hlavní úkoly, které metrologická služba v současné době plní jsou:

- komplexní zajištění řízení metrologického zabezpečení AČR,
- komplexní zajištění kalibrací a oprav měřící techniky,
- komplexní zajištění podpory zásobování měřící technikou,
- komplexní správa požadavků na kalibrace a opravy měřící techniky,
- provádění školení a výcviku pracovníků,
- provádění akreditací (reakreditací) resortních metrologických pracovišť,
- zabezpečování metrologických expertíz,
- garantování zákonných norem a normativních aktů v resortu MO.

Pro plnění úkolů jsou v rámci organizační struktury resortu obrany vytvořeny řídicí orgány a jim podřízené výkonné prostředky metrologického zabezpečení. Vrcholným orgánem zajišťující odborné a výkonné řízení metrologické služby v AČR je oddělení metrologie a technického dozoru (OdMTD) ŘeLogZdrP ve Staré Boleslavi.

Metrologická služba AČR má ve vlastní metrologické evidenci několik desítek tisíc kusů měřící techniky, z toho je více než 21000 kusů měřící techniky u jednotek v podřízenosti Společný sil a Sil podpory [3].

Metrologická služba AČR v současné době disponuje:

- dvěma metrologickými laboratořemi, které garantují (až na několik výjimek) návaznost etalonů jednotlivých veličin na národní, případně zahraniční etalonáž,
- jedenácti metrologickými středisky, které jsou organizačně zařazeny do struktur brigád a základen (leteckých nebo pozemních),
- jedním metrologickým střediskem, které je součástí hydrometeorologické služby.

Výkonné metrologické prostředky AČR zabezpečují pro potřeby vojsk celou řadu veličin. Specifikovat schopnosti jednotlivých pracovišť je nad možnosti tohoto článku, lze je však získat cestou příslušného řídicího orgánu do jehož působnosti náleží konkrétní útvar AČR nebo přímo u Oddělení metrologie a odborného technického dozoru ŘeLogZdrP ve Staré Boleslavi. Proto se omezím na prostý výčet zabezpečovaných veličin.

V oboru elektrických veličin:

- kmitočet,
- stejnosměrné napětí,
- střídavé napětí n_f a v_f ,
- stejnosměrný proud,
- střídavý proud,
- indukčnost,
- elektrický odpor,
- modulace AM, FM,
- útlum,
- fázový posun,

- vf výkon,
- nelineární zkreslení,
- kapacita.

V oboru mechanických a neelektrických veličin:

- teplota,
- tlak, podtlak,
- relativní vlhkost vzduchu,
- atmosférický tlak,
- síla, moment síly,
- otáčky,
- délka,
- čas,
- průtok vzduchu a kapalin,
- hmotnost.

V oboru veličin ionizujícího záření:

- dávka,
- dávkový příkon,
- plošná aktivita,
- tok částic.

Skladba veličin poskytuje AČR značnou míru soběstačnosti a operativnosti v metrologickém zabezpečení v míru i při bojovém použití vyčleňovaných jednotek. Kapacita výkonných metrologických prvků plně nepokrývá požadavky vojsk a proto je částečně služba nakupována u civilních dodavatelů. Mezi významné civilní partnery patří Český metrologický institut, HES s.r.o., Forte a.s.

Uživatel měřicí techniky v pravidelných ročních intervalech uplatňují své požadavky cestou příslušného řídicího orgánu u svého útvaru (zařízení). Mimořádné požadavky se předkládají stejnou cestou neprodleně po jejich vzniku.

Samotný nákup služby kalibrací a oprav měřicí techniky u civilního dodavatele může být v zásadě realizován dvěma způsoby:

- centrální smlouvou,
- decentrální smlouvou.

Obě varianty nákupu mají své výhody, ale také nevýhody. Při nákupu služeb cestou centrální smlouvy je partnerem za AČR obvykle jedna ze dvou laboratoří a uživatel je tak oprostěn od starostí s výběrem vhodného dodavatele. Problém bývá s relativně krátkou dobou plnění smlouvy, obvykle 3-5 měsíců. Nákup služby cestou decentrálních smluv obvykle bývá pružnější, klade však nároky na precizní specifikaci zadávacích podmínek pro výběr dodavatele. Úskalím decentrálních smluv může být nevyužití volných kapacit výkonných prvků metrologické služby v konkrétních veličinách.

2.2 Stav informatizace metrologické služby

Dosavadní zkušenost v této oblasti jednoznačně ukázala jednu zásadní skutečnost – metrologická služba musí pro uživatele zabezpečit komplexní službu v požadovaném rozsahu, kvalitě a přiměřeném čase v souladu s potřebami uživatele. Toho lze dosáhnout pouze za

aktivní účasti uživatelů měřicí techniky a za podpory automatizovaných nástrojů podporujících plánování a řízení.

V současné době metrologická služba AČR nemá k dispozici žádný relevantní databázový nástroj určený k vedení metrologické evidence nad kterou by bylo možné provádět plánování metrologických výkonů a následně tuto činnost i vyhodnocovat. Integrace požadovaných služeb do Informačního systému logistiky (ISL) je dlouhodobou záležitostí, která do značné míry závisí na finančním krytí úprav ISL.

OdMTD ŘeLogZdrP rozhodlo (do doby vyřešení koncepce informatizace metrologické služby a nasazení relevantního informačního systému) o zavedení prozatímního formátu metrologické evidence, který umožní migraci dat do systému ISL, případně do jiného databázového systému. Začátkem roku 2005 OdMTD ŘeLogZdrP stanovilo dokumentem č.j. 1066-1/2005/3818/SMMU formát pro vedení metrologické evidence a předkládání požadavků na kalibrace měřicí techniky/revize určených technických zařízení a to v sešitu MS Excel. Základní struktura dat sešitu MS Excel je identická se strukturou dat v ISL.

3 Závěr

Metrologické službě AČR se od poslední velké reorganizace v roce 2004 opět podařilo plně rozvinout dvě špičková metrologická pracoviště. Tato pracoviště se opět stala garantem návaznosti etalonů provozovaných středisky metrologie na etalony nejvyšší metrologické kvality.

Současné možnosti zdrojového rámce AČR a s tím spojený plánovaný rozvoj metrologie nenasvědčují, že by v budoucnu došlo k dalšímu masivnímu rozvoji této služby. Metrologická služba AČR tak do budoucna nebude pravděpodobně schopna vlastními výkonnými prostředky garantovat podporu moderním komunikačním systémům, optoelektronickým a termovizuálním systémům a technologiím pracujícím v oblasti velmi vysokých frekvencí.

Literatura

- [1] Archiv autorů.
- [2] Metrologické zabezpečení v AČR, odborná směrnice. Stará Boleslav, MO ČR Sekce Logistiky GŠ, 2002, 101.

Sborník příspěvků ze 7. mezinárodní konference „Diagnostika, měření, spolehlivost palubních soustav letadel“, Brno 17.-18.10.2007

ISBN 978-80-7231-281-8

Sestavili: kpt. Ing. Radek Bystřický
Vydavatel: Univerzita obrany, Brno
Počet stran: 133
Náklad: 70 výtisků

Publikace neprošla jazykovou úpravou. Za správnost odpovídají v plném rozsahu autoři příspěvků.