

**Mr Dragan Simić,**  
pukovnik, dipl. inž.  
Vazduhoplovnotehnička  
uprava GŠ VJ,  
Beograd

## ARHITEKTURE ELEKTRONSKIH SISTEMA SAVREMENIH AVIONA

UDC: 621.38:623.746

### Rezime:

*Sve složeniji zahtevi postavljani pred nove generacije aviona usmereni su na znatno poboljšanje performansi, raspoloživosti i pogodnosti za održavanje elektronskih sistema aviona (avionike). Zahtevana poboljšanja mogla su se ostvariti samo napuštanjem podsistemski orijentisane arhitekture integrisanih elektronskih sistema aviona, i prelaskom na funkcijski orijentisanu arhitekturu. Veliki napredak u razvoju hardvera i softvera i njihova standardizacija omogućili su prelazak na funkcijski orijentisanu arhitekturu integrisanih elektronskih sistema aviona, uz znatno smanjenje cene. U ovom radu izložen je savremeni pristup projektovanju budućih elektronskih sistema aviona sa stanovišta fizičke i funkcionalne arhitekture, arhitekture prenosa informacija i kontrole.*

*Ključne reči: avionika (elektronski sistemi aviona), borbeni zadatak (misija), integracija, standardni modul, funkcija, veštačka inteligencija, samotestiranje, rekonfigurabilnost, raspoloživost.*

---

## ARCHITECTURES OF ELECTRONIC SYSTEMS IN MODERN AIRCRAFT

### Summary:

*New aircraft generations face increasingly complex requirements aiming at significant improvement of performances, availability and suitability for maintenance of aviation electronics (avionics). Requested improvements were possible to be realized only by abandoning the sub-system-oriented architecture of integrated avionics and by accepting the function-oriented architecture. Significant improvement in hardware and software development as well as their standardization enabled switching to function-oriented architecture of integrated avionics, together with lower costs. This paper gives a modern approach to future avionics design from the standpoint of physical and functional architecture, information transmission architecture and control.*

*Key words: avionics (aviation electronics), combat mission, integration, standard modul, function, artificial intelligence, selftesting, reconfigurability, availability.*

---

### Uvod

Od završetka Drugog svetskog rata do danas znatno su se povećavale mogućnosti avionskih elektronskih sistema (avionike), dok su se načini projektovanja

vazduhoplova, kao i podrška tom projektovanju, vrlo sporo menjali. Kod svih aviona prve, druge i treće generacije i velikog broja aviona četvrte generacije, za dobijanje nekih složenih informacija (generisanih na osnovu podataka prikup-

ljenih od više senzora i podsistema) posada aviona bila je primorana da koristi podatke od više međusobno odvojenih i manje ili više nezavisnih senzora i podsistema, a zatim da, na osnovu tih podataka generiše potrebne informacije.

Zbog kontinualnog tehnološkog razvoja elektronskih komponenata, razvoj aviona pratila je stalna modernizacija postojećih i razvoj novih, sve složenijih avionskih elektronskih sistema, uz sve veći broj informacija koje je trebalo prikazati posadi aviona i sve složenije upravljanje sensorima, podsistemima i sistemima. Sa razvojem velikog broja novih, sve moćnijih i složenijih elektronskih sistema pojavili su se problemi u pogledu mogućnosti njihove ugradnje, integracije, uvođenja u operativnu upotrebu i održavanja, kao i problemi u pogledu ostvarenja zahtevane raspoloživosti avionskih elektronskih sistema i aviona u celini. Ovakav dugogodišnji trend projektovanja i razvoja aviona prekinut je, prvi put, pri projektovanju i razvoju aviona F-16, kod kojeg je arhitektura elektronskih sistema aviona orijentisana, pre svega, prema funkcijama, tj. za avion predviđenim borbеним zadacima. Takvim pristupom projektovanju elektronskih sistema napušteni su svi dotadašnji principi projektovanja, podrške i operativne upotrebljivosti. Osim toga, veliki stepen integracije i velike brzine obrade savremenih integrisanih elektronskih komponenata doveli su do značajnih promena i u načinu projektovanja elektronskih sistema aviona. Pojavili su se sistemi potpuno nove arhitekture, znatno manjih dimenzija, a znatno boljih performansi. Promene su se ogledale, pre svega, u realizaciji standardnih (višestruko upotrebljivih) hardverskih i softverskih modula, koji u suštini predstavljaju standardne delove

(blokove) od kojih se vrlo lako mogu stvarati arhitekture novih tipova avionskih elektronskih sistema.

Savremene tehnike integracije (povezivanja) senzora, podsistema i sistema, posredstvom brzih serijskih magistrala podataka, omogućile su veliki stepen automatizacije upravljanja i prikazivanja u pilotskoj kabini, čime je postignuto znatno rasterećenje pilota i smanjenje njihovog psihofizičkog naprezanja. Savremeni algoritmi veštačke inteligencije omogućili su vrlo složenu obradu podataka radi prevazilaženja eventualnih otkaza. Velika primena signal-procesora obezbedila je realizaciju svih za avion planiranih funkcija. „On line“ testovi, realizovani na nivou čipa, i specijalni čipovi za samotestiranje omogućili su kontinualno i potpuno testiranje elektronskih sistema aviona. Takav nivo samotestiranja pružio je mogućnost brzog lociranja neispravnosti do nivoa zamenljivih modula i nekih vitalnih komponenata, a projektovani visoki stepen pogodnosti za održavanje elektronskih sistema aviona pružio je mogućnost brze i jednostavne zamene neispravnih modula. Implementirani savremeni algoritmi veštačke inteligencije obezbedili su mogućnost rekonfiguracije sistema u toku leta, čime je ostvarena velika raspoloživost vazduhoplova uz minimalno vreme korektivnog održavanja i veliku verovatnoću izvršenja postavljenih zadataka.

### **Trendovi razvoja elektronskih sistema aviona**

Radi zadovoljenja sve složenijih zahteva koji se postavljaju pred nove generacije aviona, posebno u uslovima sve većih elektronskih pretnji, od avionskih elektronskih sistema uvek je zahtevano

znatno poboljšanje performansi, raspoloživosti i pogodnosti za održavanje. U vezi sa postavljenim zahtevima ostvaren je veliki napredak, pre svega u razvoju hardvera i softvera savremenih vazduhoplovnih računara koji su omogućili zahtevana poboljšanja. U pogledu hardvera, razvoj avionskih elektronskih sistema u toku poslednjih 40 godina kontinualno je pratio napredak u razvoju elektronskih komponenata, počevši od analognih komponenata, preko tranzistora i integrisanih kola do integrisanih kola vrlo velikog stepena integracije (VLSI – Very Large Scale Integrated). Osim toga, kod svih senzora, podsistema i sistema razvoj hardvera pratila su i softverska poboljšanja implementirana u okviru njihovih funkcija. Međutim, i pored toga što je kontinualni razvoj hardvera (elektronskih komponenti) i softvera dovodio do neprekidnog poboljšanja performansi avionskih senzora, podsistema i sistema, način njihovog projektovanja, kao i podrška projektovanju, menjali su se vrlo sporo. Takođe, nekoliko decenija avionski elektronski sistemi karakterisali su se vrlo malim stepenom integracije funkcija. U tom periodu njihove funkcije bile su distribuirane, tako da su pojedine funkcije ili manje grupe funkcija izvršavane u okviru posebnih podsistema (blokova), pri čemu je pilot morao da obavlja njihovu integraciju, kako na nivou sistema, tako i aviona u celini. Ovakav dugogodišnji koncept razvoja avionskih elektronskih sistema, koji nije pratio odgovarajuće tehnološke napretke, usložjavao je njihov razvoj i dovodio do neoptimizirane funkcionalnosti, uz male uštede u pogledu cene proizvodnje i visoke cene održavanja.

Sve složeniji borbeni zadaci, postavljeni pred savremene avione, zahtevali su

potpunu integraciju avionskih funkcija implementiranih u okviru senzora, podsistema i sistema, uz maksimalnu automatizaciju interfejsa avion-pilot i maksimalnu toleranciju (prevazilaženje) otkaza avionskih senzora, podsistema i sistema. Integracija svih avionskih funkcija izmenila je ulogu pilota, tako da je on od operatora i integratora sistema sve više postajao „menadžer sistema“ („sistem-menadžer“), tj. osoba koja prati rad automatizovanih avionskih senzora, podsistema i sistema i samo povremeno, po svojoj želji ili ukazanoj potrebi, preuzima određene aktivnosti. Prema tome, integracija svih avionskih senzora, podsistema i sistema napadno-navigacijskog sistema izvršena je tako da što više rastereti pilota u svim fazama leta i omogućiti mu da se maksimalno koncentriše na kritične faze (npr. da izvrši brzo i precizno nišanje i gađanje bilo kog zemaljskog cilja, ili cilja u vazдушnom prostoru). Na taj način, visokointegrirani napadno-navigacijski sistem pružio je mogućnost da se i u uslovima povećanih pretnji realizuju sve složeniji borbeni zadaci. Visokointegrirani napadno-navigacijski sistem, pored pilota, uključuje i sve avionske senzore, podsisteme i sisteme kao i proračune koji se odvijaju u njima i na nivou aviona u celini. Međutim, uloga pilota u svojstvu „sistem-menadžera“ nameće potrebu za ugradnjom algoritama veštačke inteligencije i to ne samo u pojedine senzore, podsisteme i sisteme aviona već, pre svega, u integracioni softver realizovan na nivou aviona u celini. Promena uloge pilota nametnula je i izmenu zahteva u pogledu njihove obuke, pošto se njihova prethodna potreba za memorisanjem velikog broja tehničko-operativnih podataka menja u potrebu obučavanja iz domena vojne strategije,

operatike i taktike, implementiranih kroz moguće kombinacije rada elektronskih sistema aviona.

Savremene arhitekture elektronskih sistema aviona nametnule su potrebu i za što većom komplementarnošću (međusobnom dopunjavanju) senzora, jer njihova pojedinačna poboljšanja nisu omogućila ostvarivanje zahtevanih performansi u pogledu daljine detekcije ili prenosa, tačnosti pozicioniranja, rezolucije i sl. Integracijom međusobno komplementarnih avionskih senzora, uz primenu savremenih algoritama obrade i prikupljenih podataka, postignute su maksimalno moguće performanse pojedinih sistema.

Na osnovu izloženih tokova razvoja i zahteva postavljenih pred najsavremenije, kao i buduće borbene avione, može se zaključiti da se postavljeni zahtevi mogu ostvariti samo uz značajnije izmene arhitektura njihovih elektronskih sistema. Istraživanja su pokazala da se u slučaju zadržavanja dosadašnje podsystemski orijentisane koncepcije projektovanja arhitektura elektronskih sistema aviona, ostvarenje postavljenih zahteva može postići samo uz sve veće usložavanje već postojećih podsystema, a samim tim i njihovu sve manju raspoloživost i sve složenije i skuplje održavanje. Međutim, prioritetni cilj projekatata novih elektronskih sistema aviona jeste da se sva zahtevana poboljšanja ostvare uz povećanje raspoloživosti i smanjenje cene njihovog razvoja i održavanja, a što je moguće realizovati prihvatanjem funkcij-ski orijentisane koncepcije projektovanja arhitektura elektronskih sistema aviona.

### **Savremene i buduće arhitekture avionskih sistema**

Istraživanja su pokazala da se zahtevi postavljeni pred buduće elektronske si-

steme aviona mogu ostvariti postojećim i novorazvijanim tehnologijama (hardverom), ali uz znatna proširenja mogućnosti raspoloživog softvera i uz promenu dosadašnjeg podsystemski orijentisanog pristupa njihovog projektovanja.

Kao ključna tehnološka poboljšanja mogu se izdvojiti:

- vrlo moćni, a relativno jeftini digitalni procesori, smešteni u jednom čipu;
- vrlo moćni i brzi digitalni multipleksni udaljeni terminali smešteni u jednom čipu;
- računarske memorije, standardni čipovi testiranja interfejsa i standardne funkcije, realizovani u okviru pojedinih čipova sa velikim gustinama pakovanja i velikim brzinama rada;
- vrlo složeni algoritmi veštačke inteligencije i njihova implementacija u avioniku;
- računarsko projektovanje elektronskih sistema aviona.

U razvoju hardverskih i softverskih modula avionike prioritetno je postavljen zahtev da moduli budu standardizovani kako bi se sa što manjim brojem različitih tipova modula postigla što niža cena njihovog razvoja, proizvodnje i održavanja. Osim toga, postavljen je i zahtev da hardverski moduli budu što manjih dimenzija, jer to dovodi i do smanjenja zahteva u pogledu njihovog napajanja i hlađenja. Na primer, dimenzije digitalnog multipleksnog udaljenog terminala, za magistralu 1553B, smanjene su sa tri elektronske kartice dimenzija 127 mm × 178 mm u 1976. godini, na jednu karticu istih dimenzija u 1980. godini, zatim na jednu karticu dimenzija 101 mm × 127 mm u 1988. godini, a danas na nekoliko integrisanih kola (čipova), uz neprekidno istraživanje mogućnosti njegovog daljeg smanjivanja. Pri tome je izvršena i unifi-



kacija terminala, tako da se može koristiti kao univerzalni (standardni) interfejs za sve elektronske senzore, podsisteme i sisteme aviona.

Promene u domenu razvoja hardvera pratile su još veće promene u domenu razvoja softvera. Zahvaljujući tome vrlo moćan i relativno jeftini hardver, uz primenu savremenih algoritama i metoda programiranja, omogućio je razvoj moćnih i „inteligentnih“ računara, sposobnih za brze procene različitih alternativa i donošenje optimalnih odluka. Razvoj vrlo složenih algoritama veštačke inteligencije i njihova implementacija u elektronske sisteme aviona pružili su jedan potpuno novi kvalitet, i najviše doprineli izmeni uloge pilota savremenih aviona.

Kombinacije postignutih i planiranih hardverskih i softverskih poboljšanja omogućiće realizaciju savremenih arhitektura elektronskih sistema aviona sa mogućnošću ostvarenja skoro svih postavljenih zahteva. Radi sagledavanja prednosti, tj. ostvarenih i planiranih poboljšanja, arhitekture savremenih elektronskih sistema aviona treba posmatrati i analizirati kroz sledeća četiri segmenta (oblasti):

- fizičku arhitekturu,
- funkcionalnu arhitekturu,
- arhitekturu prenosa informacija,
- kontrolnu (upravljačku) arhitekturu.

#### *Fizička arhitektura*

Analize velikog broja različitih tipova postojećih elektronskih sistema aviona pokazale su da su mnoge potpuno identične funkcije, kod različitih proizvođača i različitih tipova sistema, različito realizovane, kako u okviru pojedinih sistema, tako i u okviru pojedinih delova

Tabela 1

Avionski sistemi (podsistemi)	Zajedničke funkcije								
	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	A <sub>4</sub>	A <sub>5</sub>	A <sub>6</sub>	A <sub>7</sub>	A <sub>8</sub>	A <sub>9</sub>
Sistem upravljanja borbenim zadatkom (računar misije)	da	da	ne	da	ne	ne	da	da	da
Sistem upravljanja motorom	da	da	da	da	da	da	da	da	da
Sistem upravljanja klimomehničkim uslovima u kabini pilota	da	da	da	da	da	ne	da	da	da
Sistem upravljanja podvesnim sredstvima	da	da	da	da	da	ne	da	da	da
Sistem registrovanja parametara leta	da	da	da	ne	da	da	da	da	da
Sistem upravljanja komandama leta	da	da	ne	da	ne	da	ne	da	da
Sistem elektronske zaštite	da	da	da	da	da	ne	da	da	da
Sistem vazdušnih podataka	da	da	ne	ne	ne	ne	da	da	da

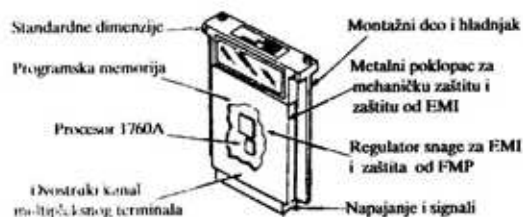
- A<sub>1</sub> – funkcija proračuna (procesiranja),  
 A<sub>2</sub> – funkcija A/D konverzije (interfejsa),  
 A<sub>3</sub> – funkcija D/A konverzije (interfejsa),  
 A<sub>4</sub> – funkcija D/A upravljanja (kontrola),  
 A<sub>5</sub> – funkcija diskretnog konvertora (interfejsa),  
 A<sub>6</sub> – funkcija frekventno-digitalnog konvertora (interfejsa),  
 A<sub>7</sub> – funkcija memorisanja podataka (masovna memorija),  
 A<sub>8</sub> – funkcija napajanja  
 A<sub>9</sub> – funkcija povezivanja posredstvom serijske multipleksne magistrale podataka.

istih sistema (podsistema). Kao ilustracija velikog stepena ponavljanja avionskih funkcija, tj. velikog broja zajedničkih funkcija kod potpuno različitih avionskih sistema, u tabeli 1 prikazano je devet različitih funkcija koje se pojavljuju gotovo kod svih navedenih avionskih sistema. Ukoliko bi na prikazanu listu sistema dodali i sve ostale elektronske sisteme i podsisteme aviona, uočili bi još veći stepen ponavljanja zajedničkih funkcija. Kod današnje generacije elektronskih sistema i podsistema aviona, svaka od navedenih zajedničkih funkcija realizovana je na drugačiji način, tj. na unikatno projektovanom hardveru i softveru (za iste funkcije različiti proizvođači koriste

različita hardverska i softverska rešenja). Ovakva situacija nastala je, pre svega, zbog toga što su svi dosadašnji projekti elektronskih sistema aviona bili zasnovani na podsistemski orijentisanoj arhitekturi i linijski zamenljivim modulima (Line Replacement Unit – LRU), a ne na funkcijski orijentisanoj arhitekturi i funkcijskim zamenljivim modulima. Međutim, dugogodišnji napori za realizaciju potpuno standardizovanih hardverskih, interfejsnih, proračunskih, upravljačkih i memorijskih modula, kao i modula napajanja, doveli su do pojave višestruko upotrebljivih, funkcijski orijentisanih hardverskih modula, od kojih se vrlo brzo i lako mogu kreirati novi avionski sistemi i podsistemi. Zahvaljujući tome, bilo koja zajednička funkcija može se vrlo brzo i jednostavno realizovati implementacijom odgovarajućih standardnih softverskih modula u već postojeći standardizovani hardver. Važno je istaći i to da će mogućnost primene funkcijskih modula u velikom broju različitih aplikacija doprineti znatnom smanjenju cene elektronskih sistema aviona.

Na slici 1 prikazana je struktura jednog standardnog procesnog (proračunskog) funkcijskog modula, realizovanog na osnovu MIL-STD-1750A, a razvijenog u okviru programa razvoja aviona F-16.

Na ovakav način realizovane fizičke arhitekture elektronskih sistema i podsi-



Sli. 1 – Struktura standardnog procesnog funkcijskog modula

stema aviona omogućiće i znatno jednostavnije i jeftinije održavanje budućih aviona. Standardni moduli ugrađivaće se u, specijalno za njih projektovane, rekeve avionike, a preko interfejsnih ploča, ugrađenih takođe u rekeve, i serijskih magistrala podataka biće povezani sa svim ostalim elektronskim modulima. Dobro projektovana pogodnost za održavanje, tj. povoljan raspored rekova i njihova dobra pristupačnost omogućiće brz i lak pristup svim standardnim modulima radi njihove provere i/ili zamene. Na avionu će se koristiti veći broj rekova, pri čemu će u svakom od njih biti ugrađen jedan do dva tipa standardnih funkcijskih modula. Stvarni broj rekova i modula zavisice, pre svega, od konkretnog aviona i postavljenih operativnih zahteva. Rekovima će u znatnoj meri smanjiti opterećenja i oštećenja konektora i minimizirati međusobne veze između modula, pošto će svi rekovima i moduli biti povezani preko serijske, vremenski multipleksirane magistrale podataka. Svi moduli biće ugrađeni u zatvorena i zaštićena metalna kućišta, čime će se postići potpuna mehanička zaštita, kao i zaštita od elektromagnetnih smetnji. Radi ostvarenja optimalnih temperaturnih uslova rada modula, svi rekovima biće klimatizovani, tj. hladjeni ili grejani (vazduhom ili pomoću tečnosti). Izgled jednog avionskog reka i prednosti koje pružaju savremene fizičke arhitekture aviona prikazani su na slici 2.

Sva osnovna poboljšanja, koja omogućavaju savremene fizičke arhitekture elektronskih sistema aviona mogu se sumirati kroz znatno povećanje performansi, raspoloživosti i pouzdanosti aviona i znatno pogodnije i jeftinije održavanje, što je ostvareno kroz:

– maksimalno prilagođenje arhitekture elektronskih sistema aviona postav-



Sl. 2 – Izgled avionskog reka i prednosti savremenih fizičkih arhitektura aviona

ljenim zahtevima, uz ostavljanje mogućnosti i za njihovo dodatno proširenje;

- široku primenu standardnih višestruko upotrebljivih hardverskih i softverskih modula;

- smanjeni broj integrisanih kola, vrlo velikog stepena integracije (VLSI) i vrlo velike brzine rada (VHSIC – Very High Speed Integrated Circuits), na nivou modula;

- mogućnost brze detekcije greške i jednostavne zamene modula;

- znatno povećanje pouzdanosti prenosa i stabilnosti veza, zbog smanjenja broja veza i konektora;

- veliku širinu propusnog opsega optičke serijske multipleksne magistrale podataka;

- mogućnost rekonfiguracije (promene) borbenog zadatka u toku leta;

- znatno smanjenje prostora potrebnog za ugradnju avionike;

- jednostavnije održavanje i nižu kvalifikaciju ljudstva za održavanje avionike.

### Funkcionalna arhitektura

Analiza fizičke arhitekture elektronskih sistema aviona ukazuje na to da će

budući avioni sve više biti zasnovani na funkcionalno, a sve manje na podsistemski orijentisanoj arhitekturi. Zbog toga, pri projektovanju i razvoju elektronskih sistema budućih aviona posebna pažnja mora biti usmerena na funkcije koje će se izvršavati u okviru zahtevanih borbenih zadataka. Međutim, kod funkcionalno orijentisane arhitekture pojedini fizički delovi aviona, kao što su senzori i izvršni organi neophodni za izvršenje određenih funkcija, neće ispoljavati bitniji uticaj na projekat i arhitekturu funkcijски realizovanih sistema. Funkcije sistema će se, u najvećem broju slučajeva, ostvarivati na osnovu ulaza dobijenih od senzora, algoritama korišćenih u okviru funkcijски realizovanih modula i izvršnih (upravljačkih) mehanizama aviona. Pri tome, prikupljanje podataka od senzora i njihova obrada izvodit će se tamo gde je to za konkretnu arhitekturu aviona najpovoljnije, a ne kao do sada u okviru unapred određenih i definisanih podsistema. Osim toga, pri realizaciji pojedinih funkcija senzori će se međusobno dopunjavati i time povećavati njihove ukupne mogućnosti. Na primer, kombinacijom podataka dobijenih od senzora za detekciju cilja, kao što su avionski radar, senzori elektronskog ratovanja (razni detektori cilja i signalizatori ozračenja), IC sistem osmatranja prostora ispred aviona (FLIR – Forward Looking Infra Red), laserski daljinomer i tragač označenog (markiranog) cilja (LRMTS – Laser Ranger Marked Target Seeker) i njihovom zajedničkom obradom, postići će se znatno bolje performanse detekcije ciljeva nego sa bilo kojim pojedinačnim sensorom. Osim toga, ovakva kombinacija senzora podataka pruža mogućnost da se neki senzor u pojedinim, za njega optimalnim situacijama i uslovima, koristi

znatno intenzivnije u odnosu na druge senzore. Kombinacija senzora u znatnoj meri će doprineti povećanju pouzdanosti izvršenja borbenih zadataka, jer otkaz nekog od senzora neće ugroziti izvršenje zadatka već samo smanjiti tačnost i pouzdanost izvršenja neke funkcije.

Funkcionalna arhitektura elektronskih sistema aviona u znatnoj meri će smanjiti i psihofizičko opterećenje pilota, pošto će visokointegrirana pilotska kabina, sa maksimalnom automatizacijom funkcije upravljanja i prikazivanja, omogućiti pilotu da se maksimalno koncentriše na izvršenje borbenog zadatka i operativne i taktičke procene mogućnosti aviona, zasnovane na mogućnostima elektronskih sistema aviona.

Funkcionalno orijentisana arhitektura avionike, u odnosu na podsistemski orijentisanu arhitekturu, omogućiće i znatna poboljšanja u pogledu raspoloživosti sistema. To se ogleda u tome što će se obezbediti takvo izvršenje svih, a posebno po bezbednost leta kritičnih funkcija, da u slučaju otkaza jednog od standardnih modula, neki drugi (rezervni) modul automatski („on-line“) preuzme njegovu funkciju. Pri tome se, optimalnim redundantovanjem modula može postići velika raspoloživost avionike, odnosno aviona u celini.

Funkcionalno orijentisana arhitektura pospešiće i razvoj opštih (zajedničkih) algoritama koji će u potpunosti biti podržani opštim (zajedničkim) hardverskim modulima. Standardizacijom i unifikacijom softvera realizovaće se standardni softverski višestruko upotrebljivi moduli, koji će u znatnoj meri smanjiti cenu razvoja i održavanja softvera.

Funkcionalno orijentisana arhitektura avionike eliminišaće i dosadašnju tendenciju, prisutnu kod svih podsistem-

ski orijentisanih arhitektura, da pojedini podsistemi i uređaji nekog sistema budu međusobno fizički što bliže ugrađeni. Osim toga, nova arhitektura avionike sa standardnim (višestruko upotrebljivim) hardverskim i softverskim modulima pruža mogućnost da otkaz nekog od modula vrlo lako bude softverski prevaziđen prebacivanjem njegove funkcije na neki drugi sličan ili potpuno identični (rezervni) modul. Pri tome, distribucija i relokacija obrade, radi izvršenja određene funkcije, može ići od jednostavnih proračunskih modula do vrlo složenih opštih (zajedničkih) modula i paketa obrade signala.

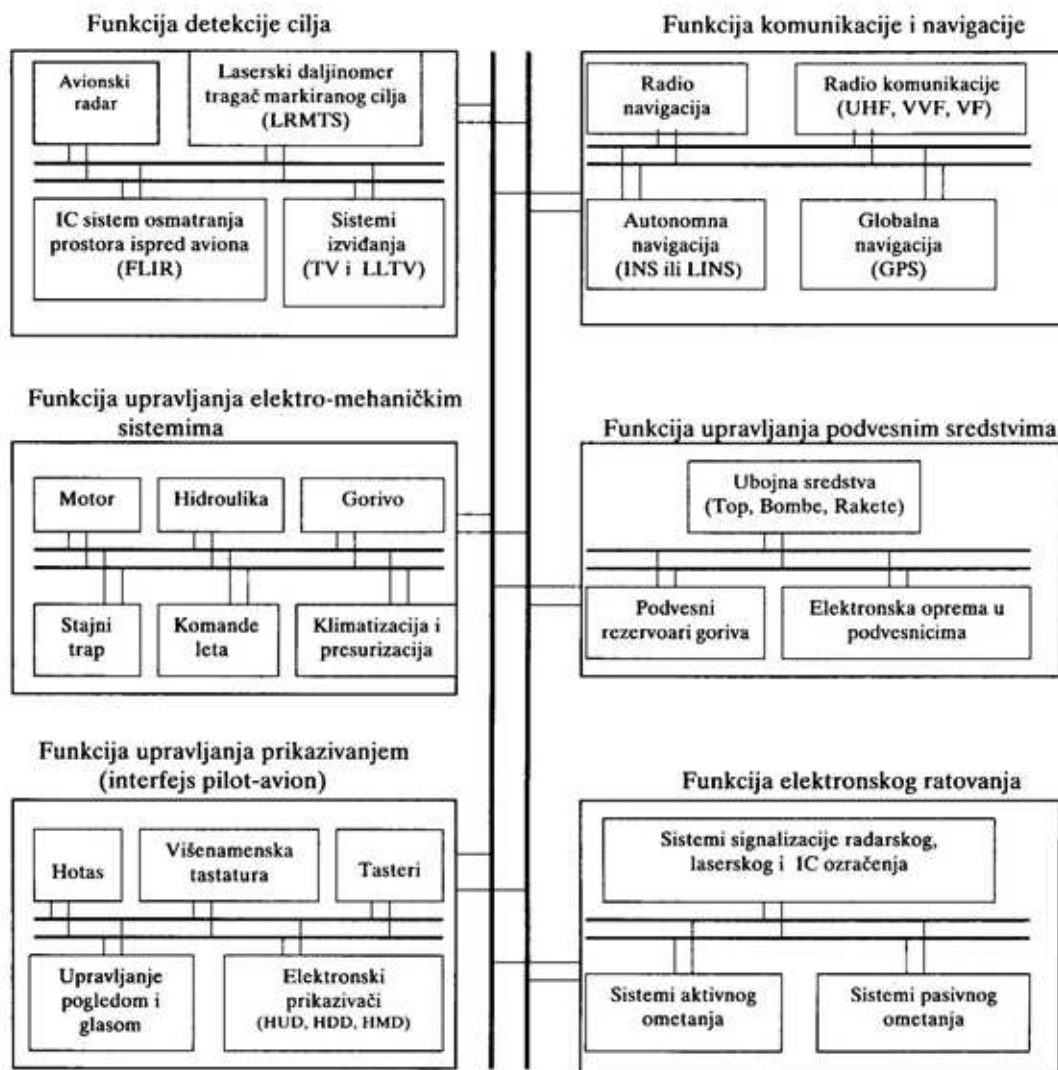
Funkcionalnim pristupom projektovanju arhitektura elektronskih sistema aviona u znatnoj meri će se povećati i pouzdanost svih, a posebno, po bezbednost leta, kritičnih funkcija aviona. Ugrađeni testovi (BIT – Built In Test) na nivou svakog modula pružiće mogućnost lake i brze detekcije greške, a upravljački (kontrolni) softver sistema omogućiće lako i brzo prebacivanje neke funkcije sa neispravnog na ispravan modul, vrlo sličan ili identičan prethodnom.

Primer funkcijski organizovane arhitekture elektronskih sistema aviona prikazan je na slici 3.

### *Arhitektura prenosa informacija*

Za razmenu podataka između pojedinih globalnih funkcija koristiće se isključivo digitalne multipleksne magistrale podataka (upredene parice bakarne žice ili optički kablovi), sa radom po protokolu 1553B. Razmena podataka između modula pojedinih funkcija i potfunkcija sve više će se obavljati posredstvom prekidačkih komunikacijskih mreža, a sve manje posredstvom serijskih multiplek-



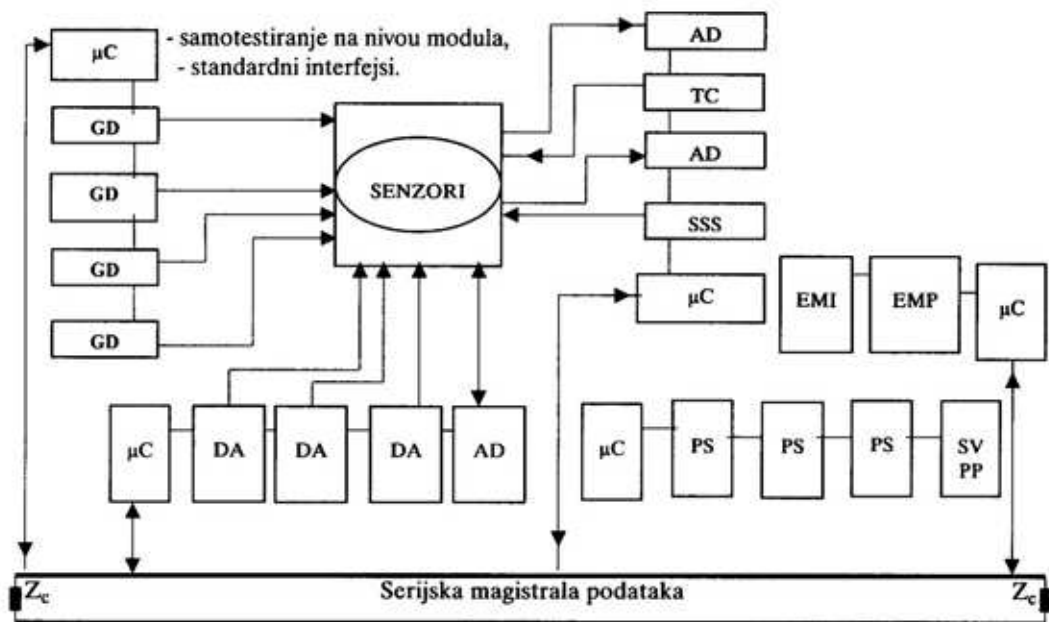


Sl. 3 – Funkcijski organizovana arhitektura elektronskih sistema aviona

snih magistrala podataka. Na taj način potpuno će se izbaciti iz upotrebe snopovi provodnika i klasični konektori, i eliminisati hiljade mehaničkih spojeva korišćenih kod ranijih i današnjih podsistemski orijentisanih elektronskih sistema aviona. I ako su kod ranijih generacija aviona postojeći snopovi provodnika sa klasičnim konektorima omogućavali relativno laku i brzu demontažu i zamenu modula

(blokova) koji su otkazali, zbog izuzetno velikog broja postojećih spojeva kod njih je postojala velika verovatnoća otkaza, tj. bila je smanjena pouzdanost i povećana složenost održavanja.

Na slici 4 prikazan je primer arhitekture jednog elektronskog sistema aviona sa multipleksnom serijskom magistralom podataka, koja, u stvari, predstavlja savremeni inercijalni navigacijski sistem



Sl. 4 – Primer arhitekture elektronskog sistema aviona:

C – mikroprocesorski modul, AD – modul analogno-digitalne konverzije, DA – modul digitalno-analogne konverzije, CD – modul žiro-davača, TC – modul temperaturne kompenzacije, SSS – modul sinhronizacije sinhro signala, PS – modul brzine, EMI – modul elektromagnetne interferencije, EMP – modul elektromagnetnih smetnji,  $Z_c$  – karakteristična impedansa magistrale podataka

realizovan od standardnih hardverskih i softverskih modula i povezanih posredstvom multipleksne serijske magistrale podataka. Prikazani standardni moduli su višestruko upotrebljivi, a njihovom kombinacijom vrlo lako se mogu kreirati različiti sistemi avionike. Radi što većeg pojednostavljenja projekta i omogućavanja potrebne razmene podataka u okviru sistema, neophodno je da se u svim modulima koristi isti standard digitalnog multipleksnog komunikacijskog interfejsa.

Od dve moguće arhitekture prenosa informacija, između modula unutar neke funkcije (sistema) i između funkcija (sistema), koje čine prekidačke komunikacijske mreže i magistrale podataka, kod budućih elektronskih sistema aviona prednost se daje prekidačkim komunikacijskim mrežama. Ove mreže omogućiće

dinamičko preključenje komunikacija po principu od tačke-do-tačke, tj. između bilo koja dva modula unutar neke funkcije ili bilo koje dve funkcije u okviru integrisanih elektronskih funkcija (sistema) aviona. Osim toga, prekidačke mreže omogućiće i uspostavljanje višestrukih linkova, uz brzu detekciju i izolaciju grešaka u prenosu i rekonfiguraciju prenosnih puteva između bilo koje dve komunikacijske tačke, čime će se u znatnoj meri povećati pouzdanost prenosa. Buduće arhitekture prenosa informacija ostvariće se posredstvom strogo definisanih komunikacijskih mreža i samo jednog multipleksnog terminala po računaru. Osim toga, arhitekture prenosa informacija sa prekidačkim mrežama mogu se potpuno proširiti, tako da se preko njih mogu prenositi i nedigitalne (analogne) informacije, kao što su video signali, RF signali i signali napajanja.

Kod potpuno funkcionalne arhitekture avionike distribucija svih informacija (signala) mora biti u potpunosti koordinirana sa razmenom digitalnih informacija. Osim toga, kod prekidačke mreže mora postojati i jedan opšti (zajednički) kontrolni mehanizam, zadužen za kontrolu i koordinaciju prenosa, kao i kontrolu regularnosti dizajna funkcija (sistema) i mreže.

Savremene multipleksne mreže ovog tipa projektovane su za razmenu digitalnih i video informacija. Pri realizaciji ovih mreža korišćene su savremene prekidačke tehnike prevazilaženja otkaza, kako bi se obezbedio pouzdani prenos podataka neophodnih za upravljanje brzim digitalnim podacima, kao i video signalom širokog propusnog opsega. Kod današnjih, za to projektovanih mreža koriste se udaljeni terminali snage od 1 do 4 W, realizovani od čipova izrađenih u tehnologiji VLSI.

### *Kontrolna (upravljачka) arhitektura*

Radi obezbeđenja zahtevane pouzdanosti i efikasnosti rada, budući sve složeniji avionski elektronski sistemi zahtevaće i sve složenije kontrolne (upravljачke) mehanizme. U opštem slučaju kontrolni mehanizmi arhitektura avionskih elektronskih sistema, kao i njihove integrisane arhitekture, mogu biti centralizovani, decentralizovani (distribuirani) i kombinovani (delom centralizovani a delom distribuirani). Arhitekture prenosa informacija sa prekidačkim mrežama, razvijane za buduće elektronske sisteme aviona, pružaju vrlo povoljne uslove za implementaciju distribuirane kontrole (upravljanja), kao i bilo koje kombinacije centralizovane i distribuirane (lokalne) kontrole. Međutim, postizanje što

boljih performansi i što veće efikasnosti budućih elektronskih sistema aviona zahtevaće veliki stepen njihove lokalne autonomije, kako bi se što veći broj funkcija izvršavao istovremeno (paralelno). U takvoj situaciji, kontrolne arhitekture tih sistema, kao i njihove integrisane arhitekture, biće realizovane kroz nekoliko nivoa kontrole.

Na najvišem nivou („top-level“) naćće se kontrola izvršenja borbenog zadatka koja će, uz veliku primenu algoritama veštaćke inteligencije, biti dodeljena pilotu aviona.

Na sledećem nivou kontrolisaće se izvršenje pojedinaćnih funkcija, pri ćemu svaka od njih moće obuhvatiti jedan ili viće senzora i izvršnih mehanizama. Na ovom nivou, autonomnost rada i kontrole biće dopušćena onoliko dugo koliko su aktivnosti koje se izvode na ovom nivou u skladu sa ostvarenjem tekućeg borbenog zadatka, tj. u skladu sa najvišim („top-level“) nivoom kontrole. Međutim, u slućaju promene tekućeg borbenog zadatka došlo bi do automatske promene funkcija koje se izvršavaju, a samim tim i programa kontrole borbenog zadatka i funkcija. Ovakva podela kontrolne arhitekture na viće nivoa, omogućiće mnogo bolju i brću reakciju na promene tekućeg borbenog zadatka, pošto će distribuirani kontrolni mehanizmi omogućiti paralelnu kontrolu svih tekućih funkcija i potfunkcija, dok će se samo mali deo te kontrole obavljati centralizovano. Međutim, i na ovom nićem stepenu kontrole neophodna je opsećna primena algoritama veštaćke inteligencije kako bi se, za potrebe višeg nivoa kontrole, napravile što bolje procene prispelih informacija i donele što bolje (optimalne) odluke.

Imajući u vidu da se pojedine funkcije mogu deliti na potfunkcije, pa i

dalje (na pot-potfunkcije), jasno je da se pri ovom načinu kontrole može uspostaviti više nivoa, pri čemu bi svaki nivo funkcionisao pod kontrolom hijerarhijski višeg nivoa.

Za obezbeđenje (podršku) svih realizovanih nivoa kontrole koristiće se skupovi opštih (višestruko upotrebljivih) kontrolnih softverskih modula, kao i softverski moduli izvršne kontrole, realizovani u skladu sa zahtevima konkretne potfunkcije, funkcije ili borbenog zadatka. Međutim, radi postizanja zahtevane pouzdanosti izvršenja neke potfunkcije, funkcije ili borbenog zadatka, svi korišćeni opšti i izvršni softverski moduli moraju biti dobro istestirani. Zbog toga će kod budućih funkcijski realizovanih elektronskih sistema aviona, arhitektura njihove kontrole biti zasnovana na što većem stepenu samokontrole (samotestiranja) hardvera i softvera, na nivou modula (štampane ploče), čime će se, uz dinamičku rekonfiguraciju sistema (prouzrokovanu otkazom nekog od modula) obezbediti zahtevana pouzdanost rada svakog sistema, kao i zahtevana raspoloživost aviona u celini. Pri tome će neki standardni hardverski modul, kao što je interfejs serijske vremenski multipleksirane magistrale podataka, biti pogodan za centralizovano testiranje modula u okviru nekog sistema, dok će tehnologije integrisanih kola velikog stepena integracije i visoke gustine pakovanja omogućiti realizaciju specijalnih čipova za samotestiranje koji će biti implementirani u svaki standardni modul sistema.

Pošto će se gotovo sva testiranja izvoditi u toku leta aviona, svi otkazi koji se pojave moraću biti odmah detektovani, registrovani i na što brži način prevaziđeni. Osim toga, korišćenje ugrađenih testova (BIT) u okviru modula, kao i „on-li-

ne“ kontrole rada (kontrole u toku rada) modula i sistema, omogućiće znatnu uštedu vremena, tj. smanjenje ukupnog vremena kontrole, što je vrlo bitno za vremenski kritične funkcije. Ovakve uštede vremena procesiranja pružiće mogućnost prevazilaženja otkaza (tj. dinamičke rekonfiguracije hardverskih i softverskih modula radi realizacije tekućeg borbenog zadatka i njegovih funkcija), koja uz registrovanje nastalih otkaza pruža mogućnost za realizaciju ideje „odloženog održavanja“. To znači da, ukoliko sistem bude imao hardverskih i softverskih mogućnosti za prevazilaženje jednog ili više otkaza iste ili različite vrste, neće biti potrebno korektivno održavanje (zamena neispravnog modula) odmah nakon leta, tj. između dva borbenog zadatka, već se taj posao može uraditi i na prvom narednom periodičnom (nedeljnom) pregledu. Osim toga, ugrađeni algoritmi veštačke inteligencije obezbediće izuzetno visoku verovatnoću detekcije neispravnih modula. To će omogućiti automatsku identifikaciju i lokaciju otkaza i jednostavnu i brzu zamenu neispravnih modula. Ovakva koncepcija održavanja budućih aviona znatno će povećati njihovu raspoloživost, a smanjiti broj ljudstva angažovanog u I, II i III stepenu njihovog održavanja.

### **Zaključak**

Izloženi pristup projektovanja budućih avionskih elektronskih sistema, sa stanovišta fizičke i funkcionalne arhitekture, kao i arhitekture prenosa informacija i kontrole, predstavlja preduslov u obezbeđenju performansi zahtevanih od budućih elektronskih sistema aviona. Osim toga, ove arhitekture omogućiće i znatno poboljšanje performansi, raspo-



loživosti i pogodnosti za održavanje budućih elektronskih sistema aviona, odnosno aviona u celini. Tehnološka (hardverska i softverska) poboljšanja, neophodna za ostvarenje prethodno navedenih poboljšanja, praktično su gotovo postignuta i treba ih samo dobro iskoristiti, tj. na najbolji mogući način implementirati i integrisati.

Novе arhitekture elektronskih sistema aviona ispoljiće veliki uticaj na mesto i ulogu pilota i ljudstva za njihovo opsluživanje i održavanje, kao i na neophodnu akvizicijsku opremu. Promene će nastati, pre svega, u načinu obučavanja pilota i u načinu izvođenja borbenih zadataka, pošto će novorazvijeni interfejs pilot-avion sve više stavljati pilota u ulogu sistem-menadžera, a sve manje u dosadašnju ulogu neposrednog koordinatora i integratora funkcija pojedinih sistema i podsistema. Velike promene nastaću i u pogledu opsluživanja i održavanja aviona, pošto će veštačka inteligencija, implementirana u sve sisteme, u znatnoj meri pojednostaviti i skratiti njihovo preventivno i korektivno održavanje, a samim tim smanjiti i broj potrebnog ljudstva za opsluživanje i održavanje, pojednostaviti njihovu obuku i smanjiti potrebnu ispitno-mernu opremu i alat.

Savremeni način projektovanja arhitektura elektronskih sistema aviona dovešće i do zaustavljanja dugogodišnjeg porasta i znatnog smanjenja cene elektronskih sistema aviona. To će se postići standardizacijom hardvera i softvera, tj. realizacijom višestruko upotrebljivih hardverskih i softverskih modula, koji će zbog smanjenja asortimana i povećanja

količine u znatnoj meri smanjiti cenu današnjih elektronskih sistema aviona. Razvoj specifičnih modula senzora i izvršnih organa i funkcijskog softvera, uz korišćenje opštih (višestruko upotrebljivih) hardverskih i softverskih modula, omogućiće uspešnu realizaciju bilo koje funkcije, a samim tim i borbenog zadatka.

Smanjenje asortimana opštih i specifičnih hardverskih i softverskih modula dovešće do drastičnog smanjenja broja sadašnjih velikih proizvođača avionike, kao i posrednika u njenoj nabavci i isporuci, što će, takođe, uticati na dodatno smanjenje cene modula.

Očigledno je da je ideja o realizaciji savremenih funkcijski realizovanih elektronskih sistema aviona tehnički izvodljiva, i da već predstavlja veliki izazov za sve projektante avionike i aviona u celini. Za razliku od dugogodišnjih vrlo malih i sporih promena kod sistemski i podsistemski orijentisanog pristupa u projektovanju elektronskih sistema aviona, prelazak na funkcijsku realizaciju avionike predstavlja revolucionarnu tehnološku promenu, koja će omogućiti znatna poboljšanja performansi, raspoloživosti i pogodnosti za održavanje uz znatno smanjenje cene.

#### Literatura:

- [1] Morgan, D. R.: Air force wright aeronautical laboratories, Avionics laboratory, Wright-Patterson air force base, Pave pace: System avionics for the 21<sup>st</sup> century, Ohio 1988.
- [2] Simić, D.: Prikazivanje parametara i stanja kod distribuiranih procesorskih sistema aviona, Univerzitet u Beogradu - ETF, 1991.
- [3] Advisoru Group for Aerospace Research and Development (AGARD), Conference proceedings No. 343, Advanced concepts for avionics/weapon system design, development and integration, april 1983.