

Univerza v Ljubljani
Fakulteta za računalništvo
in informatiko



9a. Avionika

(2015/2016)

prof.dr.Miha Mraz

24. maj
2016



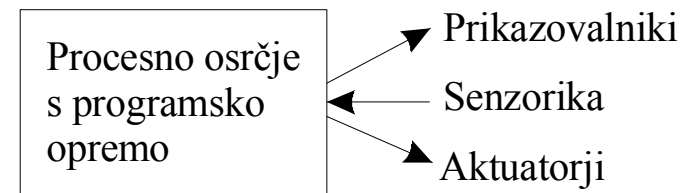
1. Uvod

- Def. pojma avionike = aviacijska elektronika za misijsko kritične aplikacije
- Funkcije:
 - Navigacija
 - Komunikacija med plovili,
 - Vodenje plovil (npr. Space Shuttle), itd.
- Zgodovinski vzroki porajanja področja:
 - Vpeljava navigac.sistemov za vodenje letal preko Atlantika med II.svetovno vojno - analogna elektronika
 - Vpeljava „fly by wire“ koncepta sredi osemdesetih let prejšnjega stoletja (Airbus 320) – digitalna elektronika
- Cena razvoja avionike za novo letalo (80% razvojne cene), nov helikopter (60% celotne razvojne cene)



2. Sistemi za kontrolo letenja

- Angl. *Flight control system* – FCS: zaobjema vse elektronsko temelječe sisteme dele plovila (največji proizvajalci HoneyWell, Thales, EADS – European Aeronautic Defense and Space agency)
- Sestavni deli:
 - Procesno osrčje (sistemski računalnik)
 - Programska oprema
 - Senzorika
 - Prikazovalniki
 - Komunikacijsko omrežje
 - Aktuatorji (pretvorba elektronskih signalov – ukazov v mehanske odzive motorjem in letalnim površinam, klimatizaciji, dovajanju kisika, napravam za signalizacijo)





- Funkcije FCS sistema:
 - Izogibanje trkov
 - Beleženje in pomnjenje zgodovine (črna skrinjica, angl. *flight recorder*)
 - Navigacija in pozicioniranje
 - Avtomatsko vodenje plovila
 - Onemogočanje „nekonsistentnih“ manevrov, ki bi ogrozili strukturalno celovitost plovila (npr. vklop funkcije „thrust reverse“ v fazi leta)
 - Upravljanje plovila z vidika vzdrževanja (angl. *aircraft management system*)



- Razvoj programske opreme za potrebe avionike:
 - Standardizirani postopki,
 - Uporabljeni vsi koraki razvojnega cikla PO
 - Povdarek na specifikacijah, izvedbe vseh vrst testiranj na osnovi dokumentiranih testnih profilov
- Senzorika:
 - Fizična razpršenost,
 - Redundanca
 - Vrste senzorjev: mehanski, elektronski, itd.



- Prikazovalniki:
 - Zgodovina: množica mehanskih merilnikov -> flight engineer;
 - Sedanjost: Glass cockpit – interaktivni računalniški zaslon -> inženir ni več potreben
- Komunikacijska omrežja – visoko specializirani protokoli:
 - Aircraft Data Network (ARINC 664): Avionics Full Duplex Switched Ethernet
 - Arinc 708: Specializiran protokol za prenos vremenskih podatkov
 - Arinc 717: Specializiran protokol za beleženje podatkov o letu (osnova za flight recorder)



- Preventivne vzdrževalne procedure v civilnem letalstvu:
 - Angl. *airplane maintenance check*
 - Proceduralno opredeljeno področje – vsebinska in časovna predoločenost preventivnih vzdrževalnih opravil nad sestavnimi deli letala (tudi nad avioniko)
 - Časovne metrike:
 - Pretečeni absolutni čas (angl. *calendar time*)
 - Število preletenih ur (angl. *flight hours*)
 - Število naletov ali ciklov (angl. *flight cycles*)



- Vrste cikličnih posegov (zavisi tudi od vrste plovila – predpisuje jih proizvajalec):
 - A poseg: izvaja se na približno 3 mesece ali 500 preletenih ur (izvedba na letališkem dovozu) – trajanje nekaj ur
 - B poseg: izvaja se približno na 3 mesece na letališkem dovozu – trajanje 1 dan
 - C poseg: izvaja se vsakih 12 do 18 mesecev ali na 2.500 preletenih ur
 - D poseg (angl. *heavy maintenance visit*): izvaja se na 4 do 5 let; letalo se praktično razstavi in nato ponovno sestavi; vrši se v pooblaščenih bazih; primer Boeing 747: 15.000 do 35.000 delovnih ur, 1.000 izvajalcev, 3 izmene, trajanje več kot mesec dni, cena: nekaj milijonov USD; 70% cene delo, 30% cene materialni stroški;



3. A330/340 primary flight control system





- Airbus je prvi proizvajalec, ki vpelje digitalno elektroniko v osemdesetih letih prejšnjega stoletja
- A320 – 1988 vpelje „fly by wire“ koncept – eliminacija mehanskih hidravličnih sklopov (zmanjša se teža, zveča se zanesljivost)
- Slika letalnih kontrolnih površin (angl. *flight control surfaces*) povzeta po [1] (*fault detection, fault tolerance*):

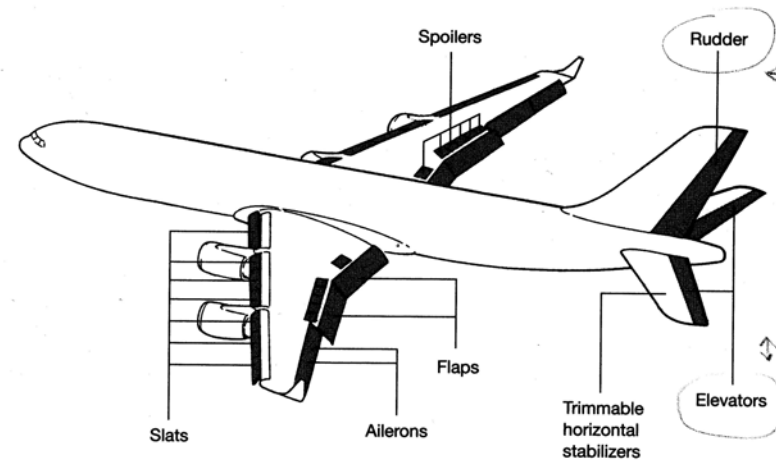


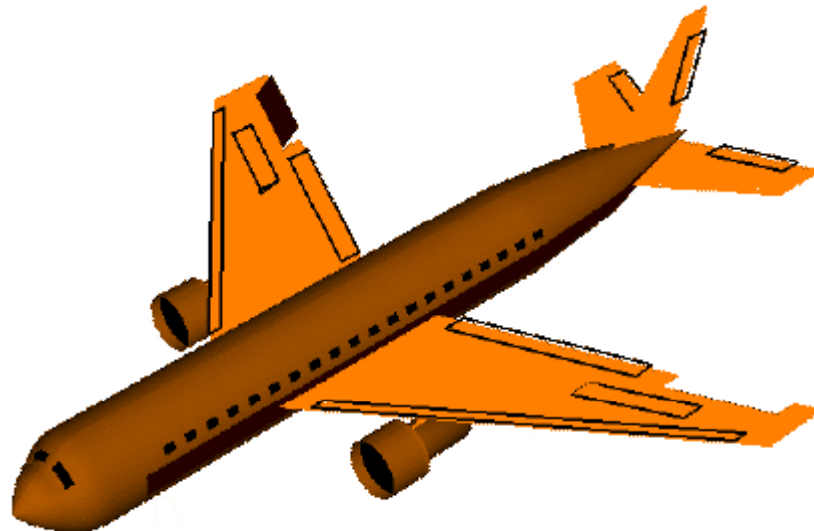
Figure 15.10 The flight control surfaces of an A340.



- Primarne letalne površine:
 - Ailerons
 - Elevators
 - Rudder
- Sekundarne letalne površine:
 - Flaps
 - Spoilers
 - Slats
 - Trimmable horizontal stabilizer

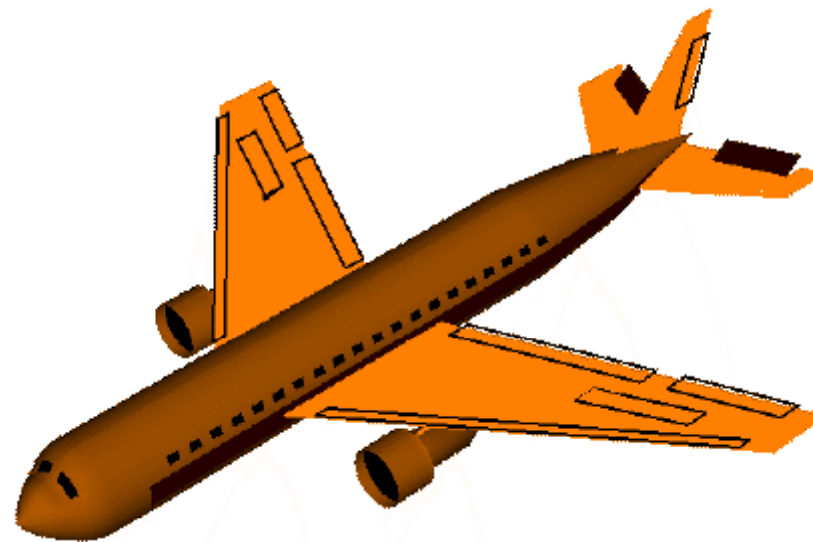


- Angl. *aileron*s: vršijo kontrolo nagibanja po vzdolžni osi letala





- Angl. *elevators*: nagibanje letala po vertikalni smeri





- Angl. *rudder*: omogoča zavijanje levo – desno
- Sekundarne letalne površine:
 - Angl. *flaps*: v pomoč pri pristajanju (zaviranje) in vzletu
 - Angl. *spoilers*: upočasnjevanje in usmerjanje pretoka zraka preko kril
 - Angl. *slats*: usmerjanje pretoka zraka preko kril
 - Angl. *THS*: usmerjanje pretoka zraka na zadnjem krilu pred elevatorji



- Če odpove „fly by wire“ je venomer možno zasilno izvesti misijo samo na osnovi *rudderja* in *THS*, ki sta še vedno mehansko obvladljiva brez „fly by wire“ povezave (še vedno so mehanske povezave med pil.kabino in navedenimi letalnimi površinami) – (angl. *mechanical backup system*) -> fault tolerance system;



- Flight control system computers [1]:
 - 3x Primary computers (krmilijo letalne površine)
 - 2x Secondary computers (krmilijo letalne površine)
 - 2x Data concentrators (posredujejo podatke in opozorila na prikazovalnike)
- Funkcije FCPC, FCSC:
 - Preračunavanje odzivov
 - Eksekucijska funkcija

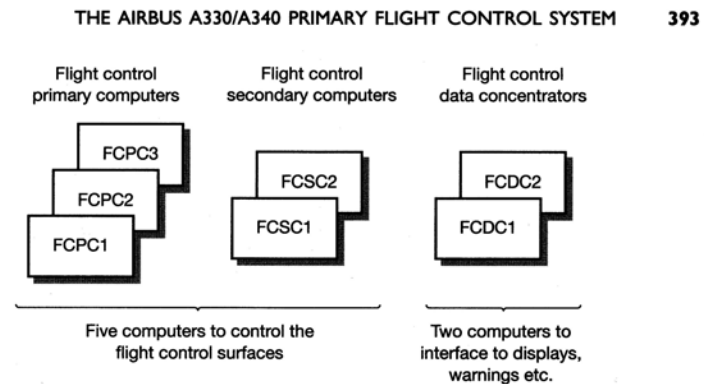


Figure 15.13 The flight control system computers.



- Vsak FCxC – 2 modularna redundanca (HW+SW): ob različnem glasovanju se opravilne funkcije predajo drugemu sistemu
- Vsaka letalna površina je nadzorovana - upravljana z več hidravličnimi aktuatorji, vsak od aktuatorjev pa je krmiljen s strani drugega FCxC
- Odpoved posameznega aktuatorja, njegove hidravlike ali njemu nadležnega FCxC tako ne vodi do situacije neobvladovanja kontrolirane letalne površine (angl. *fault tolerant system*)

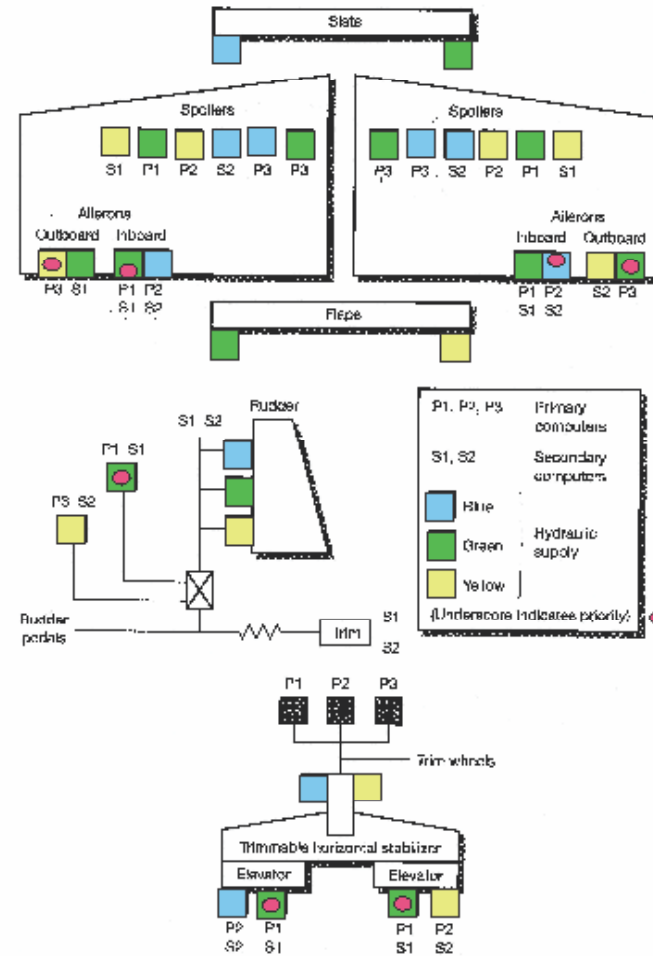


- Vir delovanja posameznega aktuatorja – hidravlični sistem;
- Redundanca: 3 neodvisni hidravlični sistemi – če eden odpove, preostala dva še vedno delujeta (podobno kot pri več virih napajanja) – slika na naslednji strani BLUE, GREEN, YELLOW hidravlični sistem;
- Končno stanje: odpoved posameznega računalnika, aktuatorja ali posameznega hidr.sistema ne spremeni možnosti krmiljenja letalnih površin (angl. *fault tolerant*)



- Kočna shema redundantnega sistema upravljanja letalnih površin [1]:

394 COMMERCIAL HIGH-INTEGRITY SYSTEMS





- Dodatni možni ukrepi:
 - Rekonfiguracija lokacij dejstvovanja FCxC;
 - Različni režimi dela:
 - Normal (avtomatsko prilagajanje atmosferskim motnjam, avtomatsko sledenje predvidenemu planu leta (angl. *flight envelope function and protection*))
 - Alternate (ni več zagotovljeno avtomatsko sledenje predvidenemu planu leta)
 - Direct (vse avtomatske funkcije so izgubljene)
 - „Single failure“ ne vodi do izstopa in „normal“ načina dela;



- FCPC: dva Intel 80386 procesorja, 16 MHz, Assembler + PL/M, 800 KB eksekucijske kode, HW+SW Aerospatiale
- FCSC: dva Intel 80186 procesorja, 12 MHz, Assembler + Pascal, 300 KB eksekucijske kode, HW – Sextant Avionique, SW-Aerospatiale
- Vrste redundanc:
 - Mehanska (za rudder in THS),
 - Računalniška: 5 računalnikov, 2 sistemi, različen SW in HW, različni progr.jeziki
 - Senzorika
 - Hidravlika: 3 sistemi
 - Električno napajanje: 6 generatorjev, 2 UPSa, 5 vodil, štiri generatorje poganjajo motorji, enega hidravlični sistem, enega pa je popolnoma neodvisen
- Data bus standard: ARINC 429, ARINC 600
- Nova funkcija: Entertainment system



4. Space Shuttle computer system







- Prvo vesoljsko plovilo, ki digitalno vrši kritične funkcije poleta (angl. *flight critical functions*) [5] - 1989
- „Fly by wire“ koncept
- Funkcije nadzora in vodenja poleta, navigacije in komunikacije so prvič združene v upravljanje, ki ga vrši enotni (en) računalniški sistem
- Misija:
 - Ascent (kritična faza)
 - On-orbit (benigna faza)
 - Entry (kritična faza)
- 500.000 LOC (angl. *lines of code*)



- Centralni računalniški sistem je sestavljen iz petih GPC (angl. *general purpose computer*) identičnih računalnikov „IBM AP 101S“ (redundanca) [6]
- Vsak računalnik je sestavljen iz CPUja, I/O procesorja, 1/2 MB dinamičnega pomnilnika (CMOS), vse skupaj pa je v ohišju, ki preprečuje vpliv elektromagnetnega sevanja
- Za 5 GPCjev obstajajo trije alternativni viri napajanja (redundanca, poraba 560 W na en GPC)
- Fizični razpored po plovilu (eliminacija odpovedi prekata):
 - Prekat 1: GPC1, GPC4
 - Prekat 2: GPC2, GPC 5,
 - Prekat 3: GPC 3



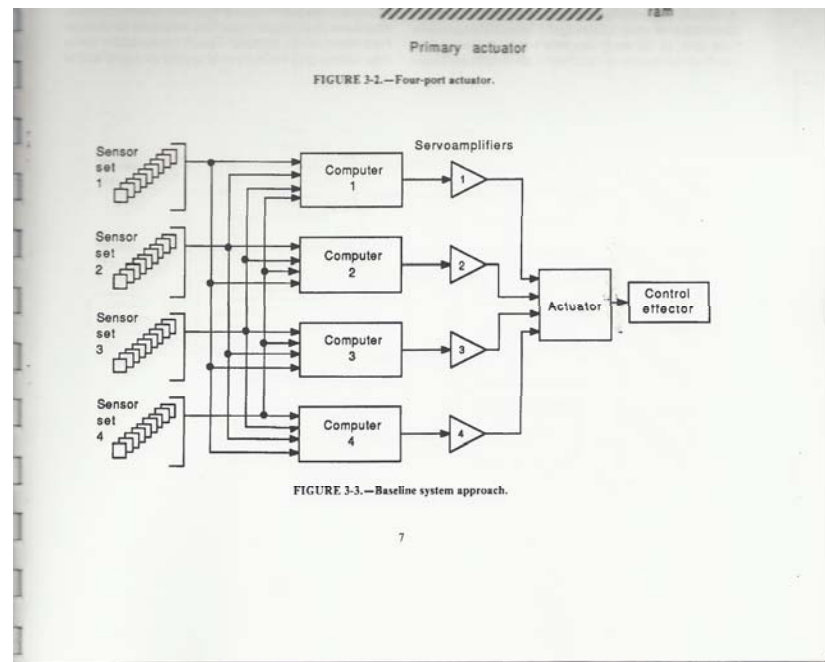
- PASS (IBM): ime programske opreme, naložen na GPC1,..., GPC4;
- GPC5 ima naložen drugo inačico prog.opreme BSF (drugi razvijalec Rockwell, manjši nabor funkcij, vključi se le ob odpovedi prvih štirih sistemov – prekinitev misije)
- Zaradi majhnosti pomnilnika, se nalagajo odseki eksekucijske kode glede na fazo misije (ascent, in orbit, entry)
- Visoko nivojski programski jezik: HAL/S (dva različna prevajalnika) – 10% pribitek na velikost eksekucijske kode v primerjavi s programiranjem v zbirniku
- 100 programerjev, 80 testerjev (področje verifikacije in validacije)
- Sinhronizacija sistemov: na 115ms natančno



- **„Ascent“, „entry“ – rizični fazi:**
 - GPC1, ..., GPC4 delujejo v glasovalnem načinu (4MR konfiguracija); glasovanje se izvede porazdeljeno med samimi napravami;
 - GPC5 služi kot rezerva z okrnjeno programsko opremo in naloženim programom za brezpogojno prekinitev misije
- **„In orbit“ – benigna faza:** GPC1, ..., GPC4 delujejo rekonfigurabilno - neredundantno in opravljajo različne naloge, GPC5 deluje v hotstandby načinu in opravlja enako nalogo kot v rizični fazi



- „Closely coupled system“ paradigma s problemom sinhronizacije [5]:





- Pristop k redundanci:
 - Predhodno (Apollo) ročni preklop sistema s strani posadke na ukaz zemeljske kontrole, ki on-line analizira telemetrične podatke
 - Program Space shuttle zahteva avtonomijo delovanja plovila – eliminacija ročnega preklopa z enega na drug računalnik, zemeljska kontrola nima več neposrednega vpliva



Literatura

- [1] N.Storey: Safety-critical computer systems, Addison Wesley (1996)
- [2] R.W.Pratt: Flight control Systems, IEEE (2000)
- [3] C.R.Spitzer: Avionics, CRC Press (2007)
- [4] NASA: Data Processing System (Orbiter Computer) NASA Astronaut Training Manual
- [5] J.F.Hanaway: Space shuttle Avionics system, 1989
- [6] Data processing system – Orbiter computer, 2001