

Dr. Békési Bertold¹

REPÜLŐGÉPEKEN ALKALMAZOTT DIGITÁLIS ADATBUSZOK²

A repülőgépeken az avionika szolgálja ki a villamosenergia-ellátás, a világítás, a hírközlés, a navigáció eszközeit, de ugyanígy felel a hajtóművek, repülésvezérlés, vagy a futómű villamos vezérlő és jelzőrendszeréért. A korszerű fedélzeti berendezések között a rendkívül összetett és nagysebességű információáramlást digitális adatbusz rendszerekkel valósítják meg. Az írásmű célja ennek az új eszköznek és eljárásnak a bemutatása – a széleskörű szakmai érdeklődők számára.

DIGITAL DATABUS ON BOARD OF AIRPLANE

The avionics serves on board of airplanes electric supply, lighting, communications, navigations tools, but also responsible for engines, flight controls, landing gears, and diagnostic systems. The advanced on-board equipment of the very complex and high-speed digital data bus flow of information systems implemented. The writing of this work is the presentation of the new tools and procedures – a wide range of professional interested.

BEVEZETÉS

A Második Világháborúban az elektronika megjelent a repülőtechnikában is. A repülőgépek közötti és a földi irányítással kapcsolatot teremtő rádióhíradás rendkívül intenzíven fejlődött. A magnetron új lehetőségeket teremtett a földi és fedélzeti felderítő rádiólokátorok számára.

A digitális technika alapelvei már ismertek voltak azelőtt, hogy a repüléstechnikában alkalmazni kezdték volna. A Második Világháborúban a Colossus nevezetű kód-feltörő gép rengeteg elektroncsövet használt, a hatalmas mérete miatt természetesen nem lehetett a fedélzetre vinni.

A számítástechnika történetének nagyjai között Neumann, Mauchly, Eckert, Atanasoff, Berry és Goldstine neve mellett meg kell említenünk Alan Turingot is, aki részt vett az első elektronikus, digitális számítógép tervezésében a II. világháborúban, de erről a világ mit sem tudott az 1970-es évekig.

Az ő elmélete és Max Newman tervei alapján 1943-ban megépítették a Colossus nevű elektronikus számítógépet a náci vezérkar által használt Lorenz titkosítás feltörésére. A Colossus elektronikus elven működő, programozható, digitális számítógép volt, Turing algoritmusát felhasználva, és továbbfejlesztve építették meg.

(Sok helyen lehet olvasni, hogy ő tervezte vagy építette a Colossust – ez nem igaz. Az ő elméletét használták a kódfeltörő algoritmushoz.) A háború végén már tíz, továbbfejlesztett Colossus II. dolgozott az üzenetek dekódolásán. A háború után azonban ezeket a gépeket

¹ okleveles mérnök alezredes, egyetemi docens, Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem Katonai Repülő és Légvédelmi Tanszék, e-mail: bekési.bertold@zmne.hu

² Lektorálta: Prof. Dr. Makkay Imre, egyetemi tanár, CSc, Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem Katonai Repülő és Légvédelmi Tanszék, makkay.imre@zmne.hu

megsemmisítették, a tervrajzokat is titkosították [1].

A Második Világháborúban az elektronika megjelent a repülőtechnikában is. Az 1960-as évektől az elektroncsöveket kezdte felváltani a tranzisztor - bizonyos alkalmazásokban. A 1970-es években a tranzisztorokkal már digitális áramköröket fejlesztettek a repülő rendszerek számára. Kezdetben ezek kizárólag a katonai repüléstechnikában kerültek felhasználásra, mint navigációs és harci berendezések.

A fedélzeti elektronika alkalmazása sok éven keresztül korlátozott volt – az analóg rendszerek jelszint- és feszültség ingadozásai és egyéb lineáris és nemlineáris problémáik miatt, melyek a rendszert megbízhatatlanná tették.

Az első digitális rendszereket is használó repülőgépet, a North-American A-5 Vigilante-ot az Amerikai Egyesült Államok fejlesztett ki a 1960-as években, és üzemeltette az US Navy anyahajóján.

Az 1960-as években ez a technika még nem létezett az Egyesült Királyságban egészen addig, amíg az Anglo-French Jaguar és a Hawker Siddeley Nimrod fejlesztésbe nem kezdtek. A céljuk az volt, hogy a digitális technikát az egész repülőgépen alkalmazzák, így alkották meg a TSR 2-öt, mely fejlesztését később a Brit kormány 1965-ben leállította. A TSR 2-ön alkalmazott technika alapját a félvezető tranzisztorok alkották, bár ez a technika ekkor még gyerekcipőben járt.

Az 1970-es évek második fele és az 1980-as évek eleje óta elképesztő mértékben kezdték alkalmazni a digitális technikát, ennek a kulcsfontosságú elemei a már rendelkezésre álló, és nem drága digitális adatbuszok voltak, úgy, mint az ARINC 429, MIL-STD-1553B illetve az ARINC 629. Az olcsó mikroprocesszorok, valamint a szoftveres fejlesztések tették lehetővé ezek széleskörű elterjedését és ma már gyakorlatilag egyetlen repülőrendszer sem képes nélkülözni ezt a technikát. Az 1. ábrán az intenzív fejlesztés jelentősebb állomásai láthatók.

Hajtóművezérlés		Analóg elektronikus hajtóművez.	Részleges digitális hajtóművez.	Teljes digitális hajtóművez.		
Repülésvezérlés			Analóg elsődleges/mechanikus tartalék	Digitális másodlagos vezérlés	Digitális elsődleges/mechanikus tartalék	Digitális elsődleges/nincs mechanikus tartalék
	1950	1960	1970	1980	1990	2000

1. ábra Főbb elektronikai fejlesztések 1950-es évektől

Az analóg hajtóművezérlő rendszereket első körben az Ultra vezette be még az '50-es években, amely elektronikus jelzésű gázkarral volt ellátva, úgy, mint a Bristol Britannia. Teljesen digitális hajtóművezérlő rendszereket csak az 1980-as évek óta készítenek.

Az Airbus A320-as családra jellemző az elsődleges digitális vezérlés – mechanikus biztonsági rendszerrel. Az A330\A340-es típusoknál oldalsó vezérlő kart, a B777 típusnál, pedig hagyó-

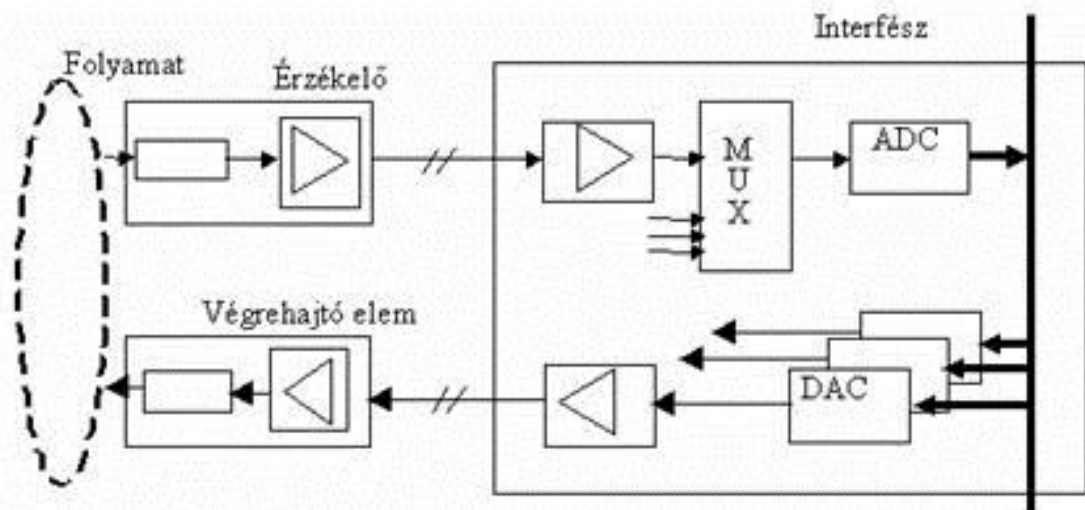
mányos szarv-kormányt használnak. Az Airbus A380-as és a Boeing 787-es típusoknál már csak digitális szabályozó berendezések működnek – mechanikus biztonsági rendszer nélkül.

Annak ellenére, hogy a repülőgép segédberendezéseiben a digitális technikát csak később vezették be – erről egy későbbi cikkben esik majd szó – a mai fedélzeti rendszerekben gyakorlatilag már minden digitális. Azért, hogy megértsük ennek jelentőségét, nézzük meg a korszerű avionika egy szegmensét, az adatbuszokat – kicsit részletesebben.

A MIKROELEKTRONIKAI ESZKÖZÖK FAJTÁI

A teljesen digitális rendszereknek tartalmazniuk kell olyan interfészeket, amely az analóg „valós világgal” lépnek kapcsolatba. A mikrovezérlők és a Bemenet\Kimenet (I/O) alkalmazás specifikus integrált áramkörök (ASICS - Application Specific Integrated Circuits) a kapuk a digitális és az analóg világ között. Az A/D és D/A konverterek feladata az analóg jelek átalakítása digitális jellé, és fordítva. A CPU-k és memóriák együtt az ASICS-kel hajtják végre a digitális jelfeldolgozással kapcsolatos feladatokat. (lásd 2. ábra)

A félvezetőket a gyártás különböző szakaszaiban, különböző részeinél szigeteléssel vonják be, hogy az árnyékolás megfelelő legyen. A legtöbb technológia az 1-3 mikron hosszúságú mikrovezérlőket alkalmazza. (1 mikron, az 1 méter egymilliomod része) tehát nagyon apró dologról van szó. A készülék 0,4 hüvelyk nagyságú és akár százezer tranzisztort/kaput is tartalmaznia kell, hogy a kívánt feladatot megfelelően el tudja látni. A gyártás alatt néha hibás méretűek is keletkezhetnek, melyeket később, már méretre vágva lehet értékesíteni.



2. ábra. Az analóg folyamatok vezérlése digitális áramkörökkel [2]

A félvezetők mérete, összetettsége, a technológia kiforrottsága, valamint az anyag minősége fogja meghatározni, hogy abból a félvezető körből hány darab hibás és hány darab hibátlan fog készülni a gyártás alatt és ez meg fog érződni az árban, illetve a termelékenységben. A szabványosított eszközök, mint az ARINC 429 és a MIL-STD-1553B széleskörű ipari felhasználásra alkalmasak, míg mások nem érik el ezt a szintet. (lásd 3. ábra)

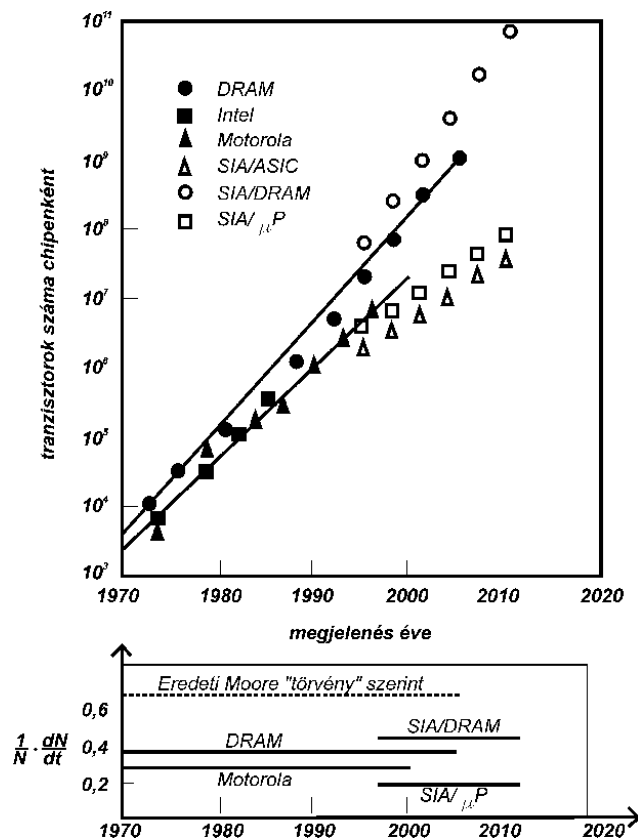
A mikroelektronikai készülékeket az alkalmazási környezet szempontjából is megvizsgálják, és három kategória valamelyikébe sorolják:

- kereskedelmi,
- ipari,
- repülő katonai – a polgári repülés is ebbe a kategóriába esik.

A tapasztalatok azt mutatják, hogy a szűrési technika segített fejleszteni a minőséget, futam-időt és a gyártási eljárást.



3. ábra Egy félvezető szelet [3]



4. ábra Az integrált áramkör fejlesztés tendenciái [4]

Habár növekvő, de az összes felhasználóhoz képest kis hányadát használja a repülő technika az elkészült mikroelektronikai áramköröknek. Van olyan vélemény, hogy a besorolás csak az áramkörök árát növeli – a magasabb kategóriákban. Azt remélik, hogy a repüléstechnikai beszállítók a jövőben nagyobb felelősséggel fognak ügyelni a minőségre. Van egy növekvő és

gyorsuló trend a repülőgép fedélzeti mikroelektronikában, amit a számítógépes és híradástechnikai ipar is gerjeszt.

Egy évtized alatt a tranzisztorok száma tízszeresére emelkedett a mikrovezérlőkben (lásd 4. ábra). A gyorsaságuk is megnőtt. Míg az elektroncsövek kapcsolási ideje $1\mu\text{S}$, 10-szer gyorsabbak tranzisztoroké 100 nS , a szilícium mikrovezérlőké pedig 1 nS – és ez már a mindennapok technikája.

A gyorsaságon kívül a fejlesztések másik fontos iránya az áramfogyasztás csökkentése. Ez függhet a technológia típusától, illetve a számítási műveletek gyorsaságától. A gyorsabb számítás nagyobb energiaigénnyel jár, és fordítva.

A fejlesztés legfontosabb területei:

Processzorok

Az első mikroprocesszor az 1971-ben megjelent 4 bites szóhosszúságú volt. Később több sikeres 8 bites sorozat jelent meg több gyártó részéről (Intel 8008, 8080, 8085, Zilog Z80, Motorola 6800, MOS Technology 6502).

A 80-as évektől kezdve megnőtt a processzorok szóhossza (Intel 8086 (az IBM PC és PC/XT processzora): 16 bit (20-bites címtartomány), Intel 80286 (a PC/AT processzora): 16 bit (24 bites címtartomány) – 1982, Intel 80386: 32 bit – 1985) az órajel folyamatos növekedése mellett [5].

A család első tagja, 1979-ben jelent meg. 32 bites belső felépítéssel, de 16 bites külső adat és 24 bites külső címbusszal rendelkezett. Rengeteg variációban és tokozásban készült az évek során, fontosabb variációi a 68008, amely 8 bites külső adatbusszal rendelkezett (például a 8 bites Sinclair QL-ben használták), valamint a 68010, amelyet – bár külső MMU segítségével – de felkészítettek a virtuális memória kezelésére is. Ezt a processzort használta a European Fighter Aircraft és a Boeing 777 is [6].

A kezdeti kedvezőtlen próbálkozások után az USA Légierője bevezette a MIL-STD 1750A szabványt, amely meghatározza az utasításkészletet (Instruction Set Architecture-ISA), amelyekkel a repülőgépeket programozni lehet [7].

Memóriák

A számítógép memóriája a processzor mellett alapvető fontosságú alkatrész [8].

A memória elektronikus adattárolást valósít meg. A számítógép csak olyan műveletek elvégzésére és csak olyan adatok feldolgozására képes, melyek a memóriájában vannak. Az információ tárolása kettes számrendszerben történik [9].

A memóriák csoportosítása:

A memóriákat fizikai szempontból két csoportra osztjuk:

- **ROM (csak olvasható) típusú memóriák:** Tartalmuk kiolvasható, de nem változtatható meg. Programozásuk a gyártáskor történik. A számítógép vezérléséhez szükséges alapvető parancsokat tartalmazza. Információtartalmukat a gép kikapcsolása után is megőrzik.

Speciális fajtájuk:

- PROM, melyet a felhasználó egy speciális készülékkel programozhat, utána azonban tartalma csak olvasható.
- EPROM, mely ultraibolya (UV) fénnel törölhető, majd újraírható;
- EEPROM (elektronikusan törölhető PROM): Elektromos feszültséggel törölhető és újraírható. Ilyenek például a Flash memóriák³ is).
- **RAM (írható és olvasható) típusú memóriák:** Olvashatók, törölhetőek és újra írhatók. Külső tápfeszültségre van szükségük az adatok tárolásához, vagyis a gép kikapcsolásakor az adatok elvesznek. Operatív tár céljára használják. Egy program futtatását a számítógép úgy végzi el, hogy először beolvassa a programot a RAM-ba, majd egymás után végrehajtja a parancsokat [10].

Adatbuszok

A busz vagy sín a számítógép-architektúrákban a számítógép olyan, jól definiált része, alrendszere, amely lehetővé teszi adatok vagy tápfeszültségek továbbítását a számítógépen belül vagy számítógépek, illetve a számítógép és a perifériák között. Eltérően a pont-pont kapcsolattól, a busz logikailag összekapcsol több perifériát ugyanazt a vezetékrendszerrel használva. Minden buszhoz számos csatlakozó tartozik, amelyek lehetővé teszik a kártyák, egységek vagy kábelek elektromos csatlakoztatását.

A korai számítógépek buszrendszerei betű szerinti értelemben párhuzamos elektromos buszok voltak, több csatlakozóval, de fizikai kiépítésükben eltértek attól, funkcionálisan viszont azonosak voltak. A mai modern számítógépek buszai már párhuzamos és bit-soros kapcsolatokat is meg tudnak valósítani, vagy (elektromosan) párhuzamos huzalozásúak sokcsatlakozósak (multidrop), vagy pedig lánc topológiával rendelkezők, illetve egy kapcsoló hub-hoz csatlakozók, mint például az USB (univerzális soros busz).

A MIL-STD-1553 volt az első szabványosított adatbusz, amit az Amerikai Egyesült Államok Légierője rendszeresített 1974-ben. A civil repülésben az ARINC 429-es adatbusz volt az elfogadott. Ezt használta a Boeing 757 és 767 típusok, valamint az Airbus A300/A310 is az 1970-es évek vége és az 1980-as évek elején. A korai '80-as években a Boeing fejlesztésekbe kezdett, hogy egy erősebb, gyorsabb adatbuszt hozzon létre. Ez lett később az ARINC 629-es szabvány, melyet kizárólagosan a Boeing 777 használ. Jellemzője a Digitális Autonóm Terminál Összeköttetés (Digital Autonomous Terminal Access Communication - DATAC).

Ebben az időben nagy erejű fejlesztések folytak a processzorok, memóriák, adatbuszok és egyéb mikroelektronikai készülékek terén, mely megkönnyítette a repülőtechnikai alkalmazásokat. Korábban nagy mennyiségű kábelkötegeket használtak a rendszerek közötti kommunikáció biztosítására, melyek bonyolultak és lassúak voltak. Az adatbuszok nem tapasztalt ütemben gyorsították és tették biztosabbá az adattovábbítást.

A mikroelektronika legnagyobb hatása az elektronikai rendszereken került bevezetésre szabványosított digitális adatbuszok nagymértékű javításával, melyek biztosították az összekötte-

³ A **flashmemória** egy nem-felejtő, megmaradó („non-volatile”) típusú számítógépes adattároló technológia, mely elektronikusan törölhető és újraprogramozható. (http://hu.wikipedia.org/wiki/Flash_mem%C3%B3ria)

tést a légijármű-rendszerekben. Korábban a repülőgépeken nagy mennyiségű kábelezésre volt szükség a csatlakozáshoz és egyéb berendezések számára.

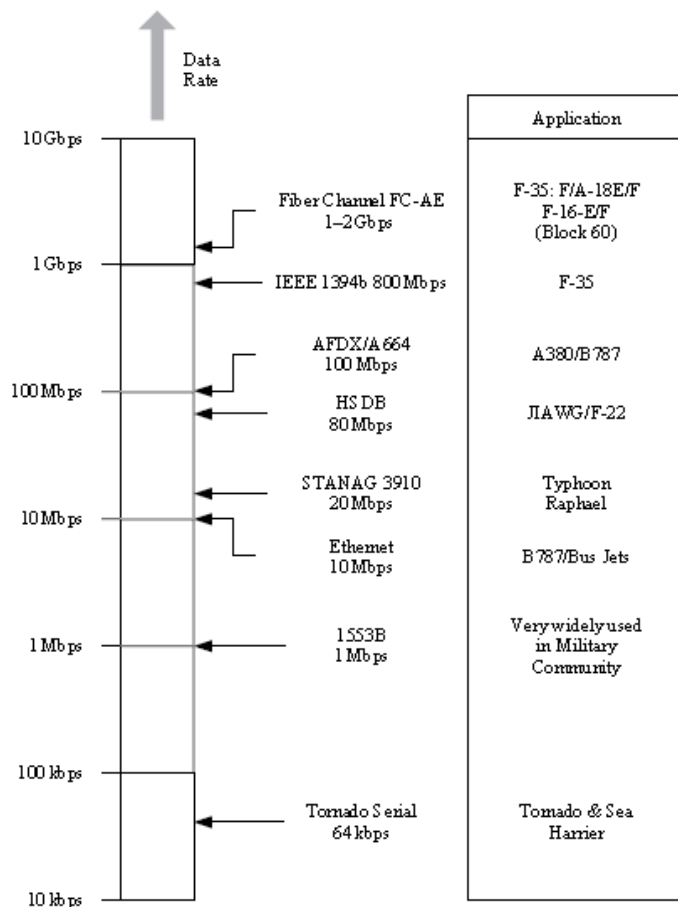
Ahogy a rendszerek összetettebbé és integráltabbá váltak, ezt a problémát súlyosbították. A digitális adatátvitel-technikák olyan kapcsolatokat használnak, amik berendezés között küldik el a digitális adat áramlásait. Ezek az adatkapcsolatok felölelnek csak két vagy négy csavart vezeték, és ezért az összekötő vezetékek száma jelentősen csökken.

Közös típusú digitális adatátvitel a következők:

- Egy forrás - egyirányú összeköttetés (szimplex kapcsolat). Két fizikai vagy logikai végpont közötti összeköttetést, adatátviteli utat jelöl vagy foglal magában. Az adatok csak egy irányban áramolhatnak, az ellentétes irányban nem lehetséges adatáramlás. Ez a legkorábbi alkalmazás, ami egy dedikált kapcsolatot az egyik berendezés a másikkal. Ezt fejlesztették ki az 1970-es években használható Tornado és Sea Harrier repülő elektronikai rendszereken. Ezt a technikát nem használják a repülőgéprendszerek integrációjára (Ez a '70-es évek fejlesztése volt, a repülőelektronikában nem került felhasználásra. A Tornado és a Sea Harrier rendszerekre tervezték őket.)
- Egy forrás – váltakozó irányú összeköttetés (Félduplex kapcsolat). Fizikai vagy logikai összeköttetés, adatátviteli út két végpont között, amelyen keresztül mindkét irányba továbbíthatnak adatokat, de egyszerre csak az egyik irányba. A félduplex összeköttetés fontos paramétere az irányváltási idő, vagyis a küldő és fogadó szerepcseréjéhez szükséges idő. Az adatátvitelhez egy vagy több vivőfrekvenciát is használhatnak az állomások, a kapcsolatban ez lényegtelen. Az ARINC 429-es is félduplex kapcsolatot biztosít. Ilyet használnak többek között a polgári utasszállító és az üzleti repülőgépek.
- Több forrás - kétirányú összeköttetés (Duplex kapcsolat). Két végpontot összekötő, fizikai vagy logikai kapcsolat, adatátviteli út jelzője. A kapcsolaton keresztül egyidejűleg mindkét irányban küldhetők adatok. Ez az úgynevezett teljes-duplex rendszer, és széles körben alkalmazott katonai felhasználók (MIL-STD-1553B), valamint a B777 (ARINC 629).

Az adatbuszok használata rendkívüli módon megnövekedett az elmúlt pár évben. Ez a hatalmas kereslet eredményezte azt, hogy mára kereskedelmi úton forgalmazzák ezeket az adatbuszokat (Commercial-off-the-Shelf) direkt az informatika és a távközlési ipar számára.

Mindezt a jó tulajdonságainak köszönheti: gyorsaság, előállítási költségek, rendelkezésre állás és futamidő. Azonban e tulajdonságai mellett is nagy hangsúlyt kell fektetni arra, hogy csak az igazán kiválóak kapjanak szerepet a repülőtechnikában. Az 5. ábra. bemutatja a legtöbb, ha nem is az összes adatbuszt, amelyeket a repülőgépeken alkalmaznak az adatátvitel sebességének megfelelően.



5. ábra Adatbusz fejlődése [11]

A legújabb adatbuszok, amik felhasználásra kerültek a repülőtechnikában az IEEE 1394b, amit a Joint Strike Fighter (JSF)/F-35-ön alkalmaznak, valamint az AFDX/ARINC 664, amit az Airbus A380 és a Boeing 787 típus használ.

ZÁRÓ GONDOLATOK

Az AVIONIKA a korszerű repülőgépek „szíve” és „esze” amely nélkül elképzelhetetlen a fedélzeten működő ezernyi egység, részegység összehangolt működése. Az elektronikai ipar legújabb és – a tervezők, kivitelezők szándékai szerint – csak a legmegbízhatóbb termékei kerülhetnek alkalmazásra a repülésben. A repülés – ellentétben a szárazföldi, vagy vízi közlekedési eszközökkel –, türelmetlen” az AVIONIKA esetleges bizonytalansága miatt (a „francia autó” típusú szoftverhibák a levegőben nagyon kellemetlenek.)

A digitális adatbuszokat – először a hadi-, később a polgári repülésben szerzett tapasztalatok alapján – ma már a járműipar minden területén alkalmazzák. Az „úttörők” az első alkalmazói voltak a digitális áramköröknek és ma is élenjárói a legújabb fejlesztéseknek, a „szoftver-repülőknak”.

A harci és polgári repülőgépek AVIONIKA rendszerének e nélkülözhetetlen elemét természetesen sokkal részletesebben és mélyrehatóbban lehet tanulmányozni – amelyhez a cikk megírásakor áttekintett irodalmat is az olvasók szíves figyelmébe ajánljuk.



A CIKKHEZ KAPCSOLÓDÓ – JAVASOLT - IRODALOM

- [1] B. Middleton *et al.* (1989) *Avionics Systems*. Harlow: Longman Scientific & Technical.
- [2] Cary R Spitzer (1993) *Digital Avionics Systems: Principles & Practice*, McGraw-Hill.
- [3] ARINC Specification 429: Mk 33 Digital Information transfer System, Aeronautical Radio, Inc., 1977.
- [4] MIL-STD-1553B Digital Time Division Command/Response Multiplex data Bus, Notice 2, 8 September 1986.
- [5] ARINC Characteristic 629, Multi-Transmitter Data Bus, Aeronautical Radio, Inc., November 1989.
- [6] Boeing 777 ARINC 629 Data Bus – Principles, Development and Application, RAeS Conference – Advanced Avionics on the Airbus A330/A340 and the Boeing 777 Aircraft, November 1993.
- [7] Aplin, Newton & Warburton (1995) ‘A Brief Overview of Databus Technology’, *RAeS Conference The Design and Maintenance of Complex Systems on Modern Aircraft*, April.
- [8] Principles of Avionics Data Buses, Avionics Communications Inc., 1995
- [9] Ian Moir and Allan Seabridge: *Aircraft Systems Mechanical, electrical, and avionics subsystems integration, Third Edition*. John Wiley & Sons, Ltd. 2008. ISBN: 978-0-470-05996- 8 [441-449]
- [10] Ian Moir and Allan G. Seabridge: *Military Avionics Systems*. Seabridge 2006 John Wiley & Sons, Ltd. ISBN: 0-470-01632-9 (47-78)
- [11] Mike Tooley *Aircraft Digital Electronic and Computer Systems: Principles, Operation and Maintenance*. Published by Elsevier 2007 (33-43)
- [12] Cary R Spitzer: *The Avionics Handbook*. Boca Raton, CRC Press LLC. 2001. [61]
- [13] Cary R Spitzer: *Avionics: elements, software, and functions*. Taylor & Francis Group, LLC, 2007.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] <http://www.rentit.hu/cikk/74/alan-turing.aspx>
- [2] <http://www.fajltube.com/biologia/szamitogepes/A-szamitastechnika-ipari-alkal65282.php>
- [3] <http://prohardver.hu/dl/cnt/2009-06/46641/28nm.jpg>
- [4] <http://www.inco.hu/inco1/innova/images/image27.gif>
- [5] <http://hu.wikipedia.org/wiki/CPU>
- [6] http://hu.wikipedia.org/wiki/Motorola_68000
- [7] <http://ru.wikipedia.org/wiki/MIL-STD-1750A>
- [8] http://hu.wikipedia.org/wiki/V%C3%A9letlen_el%C3%A9r%C3%A9s%C5%B1_mem%C3%B3ria
- [9] http://www.angela.sulinet.hu/hz/info_11/010-Alapismeretek/03-04-00-Memoria.htm
- [10] http://www.ujhelyi.sulinet.hu/x3/c3/h_2.htm
- [11] Ian MOIR and Allan SEABRIDGE: *Aircraft Systems Mechanical, electrical, and avionics subsystems integration, Third Edition*. John Wiley & Sons, Ltd. 2008. ISBN: 978-0-470-05996- 8 [441-449] Figure 12.6.