

Capacitação em Pesquisa em Barramentos Digitais no Laboratório de Sistemas Embarcados do ITA

Euphrásio, P.C. S., Azevedo I. A.

Instituto Tecnológico de Aeronáutica, ITA, Pça. Mal. Eduardo Gomes, 50 - Vila das Acácias - CEP 12228-900 – São José dos Campos – SP – Brasil

Resumo – Os vetores adquiridos e modernizados das Forças Armadas utilizam os barramentos digitais MIL-STD-1553B, ARINC 429, ARINC 573/717, CANbus, entre outros, para realizarem a integração de seus equipamentos. O Laboratório de Sistemas Embarcados do ITA busca atender às necessidades que surgem com a aquisição de equipamentos que empregam novas tecnologias e auxiliar nas soluções dos problemas operacionais do Ministério da Defesa, além de propiciar a disseminação do conhecimento.

Palavras-chaves: MIL-STD-1553B, ARINC 429, ARINC 573/717, CANBUS, gravador de dados de vôo, barramento de dados, integração de sistemas, aviônicos.

I. INTRODUÇÃO

A incorporação crescente de sistemas embarcados em aeronaves, tanto de uso civil quanto militar, aponta para a necessidade de maior conhecimento das redes que realizam sua integração. As tecnologias de integração de sistemas utilizadas requerem conhecimento detalhado da instalação e da operação dos equipamentos usados para a gravação de dados e gravação de voz dos sistemas da aeronave, além de permitir sua reprodução em solo.

Os vetores das Forças Armadas utilizam redes MIL-STD-1553B, ARINC 429 (*Aeronautical Radio, Incorporated*), ARINC 573/717 e CANbus, entre outras. “A tendência geral dessas novas tecnologias é criar alto desempenho, menores tamanhos, baixa potência, alta confiabilidade e maior funcionalidade para desempenhar um largo espectro de aplicações”[1].

A criação de um laboratório de pesquisas em sistemas embarcados em ambiente acadêmico vai ao encontro da necessidade constatada. Tal laboratório irá auxiliar no encaminhamento das soluções dos problemas operacionais, presentes e futuros, do Ministério da Defesa, além de permitir a disseminação do conhecimento, tanto no meio civil como no militar.

A capacitação científica do setor produtivo aeroespacial na área de sistemas embarcados é uma necessidade real. Para atendê-la, a Divisão de Engenharia Eletrônica do ITA está implantando o Laboratório de Sistemas Embarcados, LabSE sob a coordenação do Laboratório de Guerra Eletrônica, LabGE.

II. HISTÓRICO

A origem do LabSE remonta a 2002 com o início, no ITA, de um trabalho de mestrado em barramento de dados MIL-STD-1553B [2], tendo sido realizados testes elétricos e de protocolo previstos na Norma MIL-HDBK-1553A, proporcionando a disseminação do conhecimento para outras unidades da Aeronáutica além do ITA, como o Grupo de

Ensaio em Vôo (GEEV) e as Bases Aéreas de Santa Cruz (BASC), de Anápolis (BAAN) e de Salvador (BASV), tendo sido realizadas palestras e cursos sobre o funcionamento do barramento 1553B.

Foram realizados, também, trabalhos em conjunto com equipes de manutenção de equipamentos de aeronaves como a análise de pane no gravador DTM da aeronave A-1 no 1º/16ºGAv. O gravador DTM tem a função de agilizar o planejamento de missão do piloto através do software “Planejamento de Missão Aérea”, PMA, instalado em um desktop. Essa gravação é realizada através da ligação de um cartão PCI instalada no desktop que emula sinais 1553B ao gravador DTM.

Em 2004 iniciou-se um novo trabalho de mestrado utilizando um kit de desenvolvimento baseado no processador de sinais *Blackfin* ADSP-BF533. Esse trabalho foi concluído em 2006 permitindo que a indústria nacional iniciasse estudos para o processo de fabricação de equipamentos para sistemas embarcados que utilizem o protocolo 1553B.

Está em fase de conclusão um trabalho de mestrado que envolve o desenvolvimento conceitual de um monitor de barramento para realizar gravações de dados de vôo dos sistemas embarcados que utilizam o protocolo 1553B.

III. CARACTERÍSTICAS DO LABORATÓRIO DE SISTEMAS EMBARCADOS.

Foram adquiridos, em 2005, cartões PCMCIA padrão 1553B e, em 2007, cartões de interface PCMCIA e PCI que utilizam os protocolos ARINC 429, ARINC 573/717, ARINC 561 e CSDB (*Commercial Standard Digital Bus*), permitindo que fossem iniciados estudos envolvendo esses sistemas. A Fig.1 apresenta um sistema com dois computadores interligados por uma rede de barramento 1553B, e outros dois computadores formando uma rede ARINC 429 e ARINC 573/717, que utiliza os cartões citados, como exemplo típico de configuração utilizada.

Estão em processo de compra dois cartões de interface PCI para redes *Controller Area Network* denominadas CANbus, protocolo criado para ser utilizado na indústria automobilística e que é utilizado em comandos de vôo de aeronaves comerciais como o EMBRAER-170 e em Veículos Aéreos Não Tripulados, VANTs.

O LabSE pretende, até o fim do ano de 2007, contar com equipamentos montados em bancada para pesquisa em seis protocolos diferentes. Há planos para iniciar pesquisas nos protocolos MIL-STD-1773 que utiliza a fibra óptica como meio físico de transmissão e o ARINC 629.

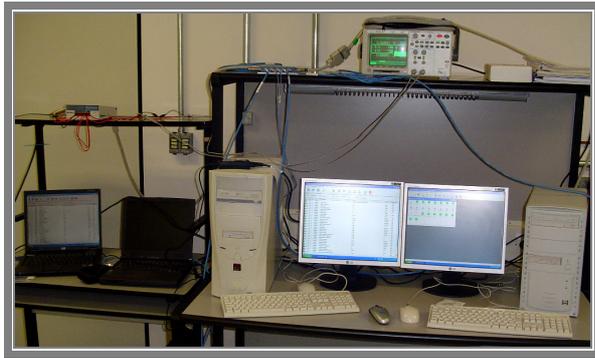


Fig. 1: Testes com uma rede MIL-STD-1553B e redes ARINC.

IV. BARRAMENTO DE DADOS MIL-STD-1553B

O barramento MIL-STD-1553B é utilizado em sistemas embarcados que necessitam de alto grau de confiabilidade. Os vetores da FAB que o utilizam são:

- Veículo Lançador de Satélite (VLS);
- Aeronave de ataque A-1 Falcão (AM-X);
- Aeronave de caça F-5M Tiger II modernizado;
- Aeronave R-99 empregado na vigilância da Amazônia;
- Aeronave A-29 Super Tucano
- F-2000 Mirage (modernizado)

Esse protocolo foi projetado para conexão de até 32 unidades, ou terminais (módulos) no barramento. Cada módulo determina as funções dos terminais na estrutura do barramento, que é composta por três tipos de módulos [3]:

- O Controlador do Barramento, BC (*Bus Controller*): transmite e recebe dados, coordenando o fluxo de todas as transmissões no barramento através de palavras de comando (Fig.2) para os terminais remotos, RTs.
- O Monitor do Barramento, BM (*Bus Monitor*) é um terminal usado para monitoração do barramento de dados. Lista o tráfego no barramento e extrai informação selecionada para utilização posterior funcionando como um gravador de dados de voo.
- O Terminal Remoto, RT (*Remote Terminal*) é uma unidade da avionica projetada para transferir dados entre o subsistema a que pertence e o barramento de dados. O RT recebe comandos e envia respostas através de palavras de estado (Fig.2) ao BC codificando e decodificando as mensagens [4].

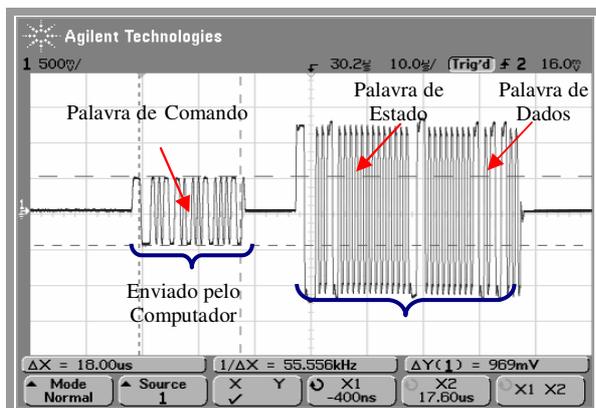


Fig.2: Palavra de comando, de estado e dados do 1553B [2].

V. TRABALHOS EM AERONAVES UTILIZANDO O PROTOCOLO 1553B

Em instruções realizadas no GEEV em julho de 2007, foi executado um trabalho de monitoração do barramento 1553B da aeronave A-1. A Fig.3 apresenta a utilização de um Equipamento de Apoio ao Solo (EAS) para injetar pressão de ar no tubo de pitot da aeronave, modificando os valores de pressão estática e dinâmica do sistema anemométrico. Dessa forma, permite simular, no solo, as variações de velocidade, altitude e razão de subida da aeronave. Um notebook com um cartão PCMCIA padrão 1553B foi conectado ao barramento do A-1 para a monitoração do tráfego de informações no barramento. À medida que se aumentavam os valores de pressão no pitot da aeronave era feita a verificação, em tempo real, dos valores de altitude e velocidade, através de um software de monitoração.

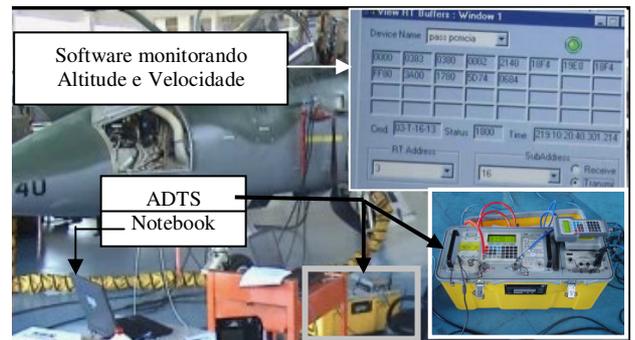


Fig. 3: A-1 com EAS (ADTS) conectado e notebook monitorando o barramento 1553B da aeronave.

O primeiro teste foi realizado variando a velocidade, através da utilização de um equipamento padrão de calibração de dados anemométricos, o *Air Data Test System* (ADTS), mantendo a altitude constante em 1801ft. A palavra correspondente à variação da velocidade foi monitorada e a tabela I apresenta essa variação (linear).

TABELA I: VARIAÇÃO DE VELOCIDADE E VALORES MONITORADOS

ALTITUDE FIXA EM 1801 ft			
Velocidade (Kt)	Valores Monitorados (Hexadecimal)	Valores Monitorados (Decimal)	Variação
0	03C0	960	
50	0620	1568	+/- 4
100	0C78	3192	+ 4
150	12B8	4792	+ 4
200	18F8	6392	- 4
250	1F38	7992	+ 4
300	257C	9599	+ 4
350	2BBC	11196	- 4
400	3200	12800	0
450	383C	14396	0
500	3E7C	15996	0

O segundo teste foi realizado variando a altitude através do ADTS mantendo a velocidade constante em 100 Kt. A palavra correspondente à variação da altitude também foi monitorada e a tabela II apresenta as variações desses valores

TABELA II: VARIAÇÃO DE ALTITUDE E VALORES MONITORADOS

VELOCIDADE FIXA EM 100kt		
Altitude (ft)	Valores Monitorados (Hexadecimal)	Valores Monitorados (Decimal)
0	FFFD	65533
1000	01F1	497
2000	03E5	997
3000	05D9	1497
4000	07CD	1997
5000	09C0	2496
6000	0BB4	2996
7000	0DA8	3496
8000	0F9C	3996
9000	1190	4496
10000	1383	4995

VI. ARINC 429

A *Aeronautical Radio, Incorporated*, ARINC, é uma empresa que desenvolve e opera sistemas e serviços para assegurar a eficiência, a operação e o desempenho das indústrias relacionadas à aviação. Foi criada em 1929, pelas quatro maiores companhias aéreas americanas, com o objetivo de estabelecer um órgão independente do governo para a coordenação das comunicações de rádio.

O ARINC 429 é uma especificação que define como os equipamentos e os sistemas aviônicos devem comunicar-se entre si através de pares de fios trançados. A arquitetura define as características elétricas e de protocolos que são utilizados, empregando o barramento de dados unidirecional, Mark 33 *Digital Information Transfer System* (Sistema Digital de Transferência de Informações Mark 33). As mensagens são enviadas do transmissor a uma taxa de 12,5 ou 100 kbps para um máximo de 20 receptores, encarregados de monitorar as mensagens do barramento. A transmissão e a recepção operam no modo simplex (transmissão em apenas uma direção) e muitos pares de fios podem ser necessários em uma aeronave [5].

As palavras ARINC são formadas por 32 bits e apresentam as seguintes características:

- a) bit 32: paridade;
- b) bits 31 e 30: SSM (Sign/Status Matrix - matriz de estado/sinal);
- c) bits 29 ao 11: dados - contêm os dados (velocidade, altitude, etc.);
- d) bits 10 e 9: SDI (Source/Destination Identifier), e
- e) bits 8 ao 1: rótulo - identifica o tipo de dados e os parâmetros associados a ele.

A numeração segue do bit menos significativo (1 – LSB, *Least Significant Bit*) para o mais significativo (32 – MSB, *Most Significant Bit*). A Fig. 4 ilustra um exemplo de uma palavra com codificação BNR (*binary*) com informação de velocidade inserida no intervalo de bits 29 ao 19. Nesse exemplo a velocidade apresentada é 268 nós ($2^8+2^3+2^2=256+8+4=268$).

32	31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	1
P	SSM	Data										Pad	SDI	LABEL											
0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	103

Fig. 4: Codificação BNR com informação de velocidade.

O LabSE dispõe de uma comunicação ARINC 429 entre dois computadores, cuja montagem conta com uma derivação do sinal do barramento para verificar os parâmetros da transmissão através de um osciloscópio (Fig.1). Os canais HI e LOW são mostrados na Fig. 5 com seus níveis de tensão: 12,0V e 11,63V. A transmissão foi realizada com a taxa de 100 KHz e pode ser observada a codificação do sinal BPRZ, *Bi-polar Return to Zero* (Bipolar com Retorno ao Zero).

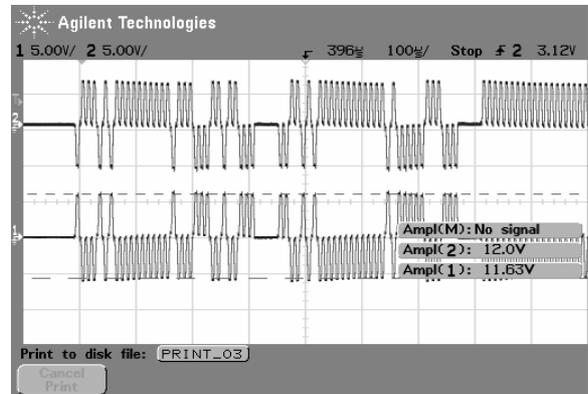


Fig. 5: Palavra de 32 bits do protocolo ARINC 429 nos canais Hi e Low.

VII. OUTROS PROTOCOLOS

O protocolo ARINC 629 é usado na aeronave Boeing 777 e realiza transmissões periódicas e aperiódicas, nos dois sentidos (bi-direcional) e com alta velocidade. Podem ser conectadas várias LRUs (*Line Replacement Units*) ao mesmo tempo, porém a largura de faixa é limitada e compartilhada por todos os usuários. O acesso ao barramento utiliza um sofisticado protocolo envolvendo períodos de espera e de pausa, além de outras regras [6].

A tabela III [7] apresenta um quadro comparativo entre alguns protocolos de comunicação de sistemas embarcados.

TABELA III: COMPARAÇÕES ENTRE PROTOCOLOS DE AVIÔNICOS [7]

	ARINC 429	ARINC 629	1553B	AFDX
Nível físico				
Topologia	Ponto-a-ponto	Transmissores múltiplos TDM	Comando / Resposta (TDM)	Barramento simples ou em estrela
Codificação	Bipolar RZ	Manchester II Duplo	Manchester II Bi-fase	Manchester
Suporte	Pares trançados unidirecionais	Pares trançados bidirecionais	Pares trançados blindados bidirecionais	2 pares trançados
Taxas	100 kbps / 12,5 kbps	2 Mbps	1 Mbps	100 Mbps
Enlace				
Tamanho das palavras	32 bits	20 bits	20 bits	De 46 a 1500 octetos
Sistema de controle	Ponto-a-ponto	CSMA/CA e TDMA	Polling	Ponto-a-ponto
Formato das mensagens	Em geral 1 palavra	Até 256 palavras	No máximo 32 palavras	1 palavra
Controle de erro	1 bit de paridade	1 bit de paridade	1 bit de paridade por palavra e CRC (mensagens)	CRC

O protocolo ARINC 573 é utilizado em sistemas que realizam a gravação de dados de vô das aeronaves. A aeronave C-97 Brasília utiliza o equipamento FDR (*Flight Data Record*) para realizar as gravações de parâmetros de vô enviadas pela Unidade de Aquisição de Dados de Vô, FDAU (*Flight Data Acquisition Unit*) utilizando o ARINC 573. Nesse protocolo, o dispositivo envia um fluxo de dados contínuo em *frames* contendo palavras de 12 bits. A codificação de seus bits é feita em HBP (*Havard Bi-phase*).

O protocolo ARINC 717 é uma versão atualizada do ARINC 573 [8] e é utilizado para realizar a mesma função. Ele possui diferente taxa de bits e tamanho dos frames. Além da codificação HBP, ele também fornece codificação BPRZ como pode ser observado na Fig.6.

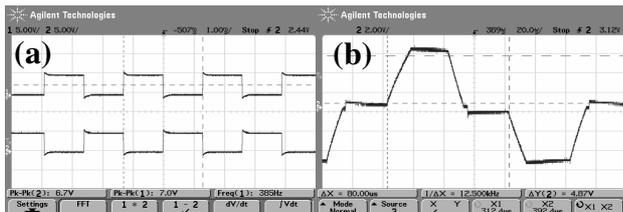


Fig. 6: Codificação dos protocolos: (a) ARINC 573 (2 canais HBP) e (b) ARINC 717 (BPRZ).

As aeronaves comerciais também utilizam esse protocolo para realizar essas gravações. Sua principal utilização é a recuperação dos dados quando sofrem algum tipo de acidente ou quando ocorre a necessidade de ser verificado algum procedimento. Essa verificação permite que sejam levantados os dados desde a partida do motor da aeronave até momentos antes do corte (parada) dos motores. A Fig. 7 apresenta o gravador de dados da aeronave A-320 da TAM que se acidentou no dia 17 de julho de 2007. Essa aeronave utilizava o protocolo ARINC 747 para transferência dos dados para o FDR (gravador de vô) e utilizava o protocolo ARINC 757 para realizar a gravação de voz no CVR (*Cockpit Voice Recorder*) da aeronave.

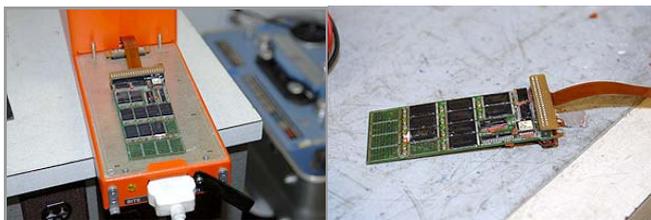


Fig. 7: Gravador de dados (FDR) da aeronave A-320 do vôo JJ-3054 [9].

Com a aquisição de cartões dos padrões ARINC 757 e 747 e de equipamentos de alimentação elétrica (fonte), o LabSE tornar-se-ia capaz de realizar leituras em equipamentos pertencentes a esses sistemas, efetuando o levantamento dos dados gravados.

VIII. DESDOBRAMENTOS

Outros trabalhos envolvendo barramento de dados estão sendo realizados, entre os quais se destacam:

1. Utilização de software e hardware MIL-STD-1553B na cadeia reduzida dos rádios de comunicação das aeronaves A-29 e R-99 do CCSIVAM na Divisão de Engenharia Eletrônica do ITA.
2. Utilização de software e hardware MIL-STD-1553B para substituição do equipamento de teste SBA-100

nos testes previstos em manuais (*job guide*) da aeronave A-1 e nos testes previstos nos Laboratórios de Eletrônica do ESM da BASC. Esse trabalho encontra-se aguardando recursos orçamentários para pagar o deslocamento da equipe até a unidade que detém o equipamento.

3. Desenvolvimento de um monitor de barramento conceitual padrão MIL-STD-1553B por profissionais do LabGE do ITA. Esse hardware deverá ser utilizado para realizar gravações durante os vôs das aeronaves.
4. Desenvolvimento de um cartão gerador de sinais MIL-STD-1553B. Esse desenvolvimento auxiliará a Indústria Nacional na fabricação de equipamentos aeronáuticos, aeroespaciais e marítimos que utilizem o protocolo 1553.
5. Pesquisa em protocolos ARINC573/717 que realizam gravações de dados em vô com a finalidade de auxiliar o Ministério da Defesa na recuperação de dados de aeronaves acidentadas.

IX. OBSERVAÇÕES FINAIS

Os trabalhos realizados no LabGE do ITA capacitarão a auxiliar a Aeronáutica e o Ministério da Defesa em situações que necessitem do conhecimento em redes aplicadas em sistemas embarcados. A necessidade de se conhecer a integração dos sistemas através dos diversos tipos de protocolos utilizados, sejam eles de dados ou de voz, surge com a aquisição de novas aeronaves dotadas de novas tecnologias.

Esse conhecimento poderá ser aplicado quando:

- a) Aeronaves são adquiridas ou modernizadas;
- b) Equipamentos com novas tecnologias são comprados ou sofrem modificações;
- c) Equipamentos estão em fase de manutenção, e;
- d) Os meios físicos do barramento precisam ser verificados.

A utilização de computadores, cartões de diversos protocolos e alguns equipamentos acessórios, permitirá maior flexibilidade aos mantenedores de sistemas aviônicos.

O LabGE, através da Divisão de Engenharia Eletrônica do ITA, pretende atender a necessidade de conhecer a integração dos sistemas através dos diversos tipos de protocolos utilizados, sejam eles de dados ou de voz.

REFERÊNCIAS

- [1] T. S Ribeiro: Editorial. Revista No.7, COMGAR, Brasília, 2003.
- [2] P.C.S. Euphrásio, "Modelagem e Avaliação de Dados de Sistema de Controle Embarcado", Tese de Mestrado defendida e aprovada em São José dos Campos, ITA, Fev 2005.
- [3] P.C.S. Euphrásio. Integração digital de aviônicos por barramento MIL-STD-1553B. Revista No.8, COMGAR, Brasília, 2004.
- [4] MIL-STD-1553B *Interface Standard for Digital Time Division Command / Response Multiplex Data Bus*. DoD, 21 Sep 1978.
- [5] L.M. Menna., "Interligando Sistemas" São José dos Campos, ITA, 2005
- [6] *Arinc Protocol Tutorial* -Condor Engineering, Inc. Santa Barbara, March, 2002.
- [7] *Cochard, Solen. Étude Des Bus Avioniques*. Université de Bretagne Occidentale, França, Juin 2002.
- [8] *CEI-715 User'S Manual* -Condor Engineering, Inc. Santa Barbara, March, 2003.
- [9] <http://g1.globo.com/Noticias/0,,GF47480-5605,00.html>

