

Proposta de Arquitetura de Integração de Sistemas em Aeronaves C4I2SR

Ricardo Bacha Borges, Fabricio Luiz Bronzatti

Instituto Tecnológico de Aeronáutica - Praça Marechal Eduardo Gomes, 50 – Vl. das Acácias, São José dos Campos - SP

Resumo — Este artigo apresenta uma proposta de conceito de arquitetura para integração da aviãoica e do sistema de missão em uma aeronave C4I2SR. A arquitetura baseada em tecnologias de barramento com baixa capacidade de transferência de dados é mostrada com seus pontos fracos o que motiva a proposta de uma nova arquitetura baseada em tecnologias de barramentos de dados de alta velocidade e maior capacidade de conexão de nós. Assim, uma nova arquitetura é proposta baseada nos barramentos AFDX e *Switched Gigabit Ethernet* com suas vantagens e pontos fracos. A seguir há uma breve descrição do funcionamento do sistema. Finalmente, um mecanismo de integração de dados é proposto.

Palavras-Chave — Barramento de Dados, Arquitetura de Integração de Sistemas, C4I2SR.

I. INTRODUÇÃO E MOTIVAÇÃO

As aeronaves projetadas para realizar missões do tipo C4I2SR (Command, Control, Communication, Computers, Intelligence, Information, Surveillance and Reconnaissance) são complexas máquinas compostas por diversos equipamentos que devem interagir entre si formando um “sistema de sistemas”. Tradicionalmente, a indústria aeronáutica de defesa baseou-se em uma arquitetura centralizada em um computador de missão que concentra as principais tarefas como processamento de algoritmos, processamento de dados dos diversos sensores e roteamento de áudio e vídeo, além de fazer o gerenciamento dos diversos barramentos da aeronave. Esse tipo de arquitetura é mostrado na Fig. 1. Nas aeronaves de caça dos EUA, esse tipo de arquitetura foi usado até o F/A-18 [1].

A arquitetura mostrada na figura 1 apresenta diversas desvantagens, entre elas:

- Uso de vários padrões de comunicação distintos, como ARINC 429, MIL-STD-1553, RS232, RS422, RS485;
- Os dados não são compartilhados e existe a necessidade do computador de missão central de gerenciar todas as trocas de dados, podendo ser um gargalo no sistema;
- Dificuldade para visualizar o sistema fisicamente;
- Tradicionalmente utilizam-se padrões antigos, com baixa velocidade de transmissão e que não incorporaram avanços recentes na tecnologia de redes;
- A substituição de equipamentos exige muitas vezes a reconfiguração de diversos nós na rede para redefinir o padrão de recebimento e envio dos dados.

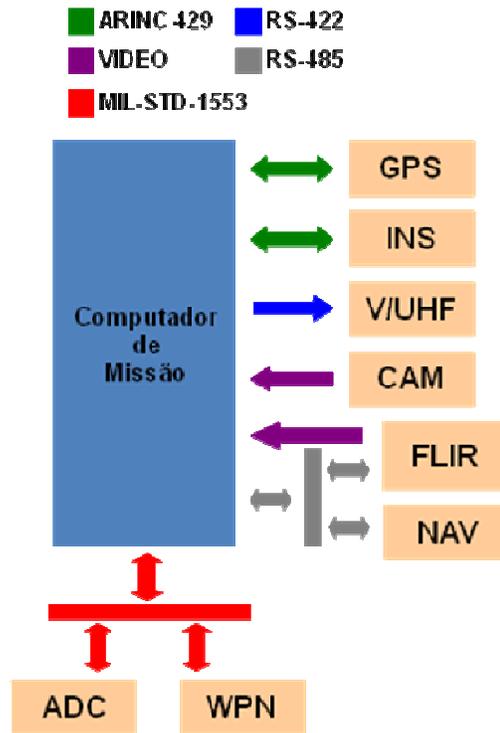


Fig. 1 - Esquema de arquitetura de integração de sistemas usando vários barramentos.

- O acesso aos dados é tratado caso a caso, não sendo transparente para o desenvolvedor e também impossibilitando o reuso de software;

Apesar das desvantagens supracitadas este tipo de arquitetura é amplamente utilizado onde alguns fatores que contribuem para esta larga utilização são:

- Inércia para substituição do que está funcionando e é considerado maduro;
- O know-how existente sobre as tecnologias já comprovadas e os riscos associados ao se adotar algo novo (desconhecimento, imprecisão nas estimativas de custo e tempo para o desenvolvimento);
- Alto custo de homem-hora (HH) devido a: treinamento, desenvolvimento com base em uma tecnologia pouco explorada na área aeronáutica e impossibilidade de reuso;

A proposta deste trabalho é uma arquitetura para a integração da aviãoica e do sistema de missão em aeronaves C4I2SR, tendo um barramento de dados digital como o elemento integrador ao invés de um computador central, formando uma arquitetura integrada mostrada na Fig. 2.

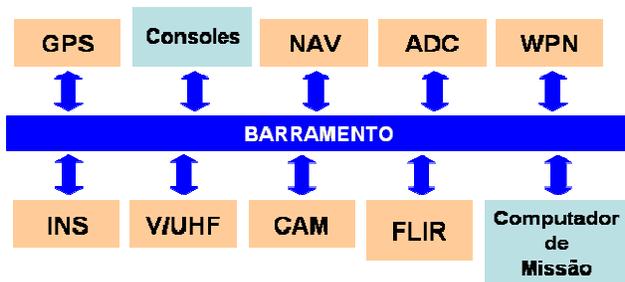


Fig. 2 - Esquema de arquitetura de integração modular de sistemas.

A motivação para o desenvolvimento deste trabalho está em propor uma arquitetura que apresente:

- uso do menor número de tecnologias de barramento distintos porque facilita os trabalhos de integração e de manutenção e simplifica a arquitetura do sistema;
- uso de equipamentos que integram o maior número de funcionalidades, reduzindo o peso, o consumo de energia e a quantidade de *part numbers* diferentes;
- focar o sistema para trabalhar em rede já dentro da aeronave, indo ao encontro do conceito de *net-centric warfare*;
- compartilhamento dos dados por toda a rede, permitindo o acesso de qualquer ponto;
- transparência tanto para os desenvolvedores do sistema quanto para os usuários finais que são os operadores da aeronave;
- uso de padrões abertos, não-proprietários, modernos, escaláveis e que permitam a troca de equipamentos por outros similares reduzindo o risco da obsolescência;

II. ARQUITETURA INTEGRADA PARA AERONAVES C4I2SR

A arquitetura proposta neste trabalho seria aplicada a uma aeronave de inteligência, vigilância, reconhecimento e ataque inserida em um contexto C4I2SR.

Aeronaves deste tipo normalmente possuem uma área exclusiva para a realização da missão (cabine de missão) e uma área de descanso, além do *cockpit*. A Fig. 3 mostra um esquema do interior dessa aeronave.

A cabine de missão possui 8 consoles, sendo que um deles assume o papel de computador de missão, já que os computadores atuais têm um grande poder de processamento e abrem essa possibilidade. Cada um dos consoles tem todos os aplicativos para cada papel, em cada missão, sendo assim multifuncionais e reconfiguráveis, bastando o operador executar o aplicativo referente ao seu papel naquela missão. Por exemplo, em uma missão o TACCO (*Tactical Coordinator*) ocuparia o console 2 e o operador do FLIR (Forward Looking Infra-Red) o de número 5, enquanto em outra missão eles poderiam trocar de posição, bastando para isso executar nos seus consoles as aplicações apropriadas às suas tarefas.



Fig. 3 - Esquema de divisão de interior de aeronave C4I2SR.

A. As tecnologias de barramento escolhidas

Para a escolha da tecnologia de barramento, foram levadas em consideração as seguintes:

- *TTEthernet (Time Triggered Ethernet)*
- AFDX (Avionics Full Duplex Switched Ethernet)
- *Switched Gigabit Ethernet*

Uma ótima tabela comparando essas tecnologias pode ser encontrada em [2] (à exceção do *TTEthernet*, porém na tabela é apresentado o TTP – Time Triggered Protocol). Percebe-se, pela lista acima, que todas as tecnologias analisadas são implementadas sobre o padrão Ethernet. Isso porque, ao contrário de padrões aeronáuticos como MIL-STD-1553 ou ARINC 429, o *Ethernet* tem um uso comercial difundido que gerou grandes avanços para esta tecnologia de rede. Amostra desse fato é a alta velocidade, pode-se alcançar até 10 Gbps contra até 100 kbps no ARINC 429 ou até 1 Mbps no MIL-STD-1553. Além disso, este avanço trouxe confiabilidade da conexão (quem nunca acessou um servidor Unix com ambiente gráfico, dentro de uma grande rede – uma empresa ou universidade, por exemplo – e obteve um terminal que se comportava como se fosse local, sem nenhum atraso ou perda de conexão?).

Do ponto de vista lógico, a arquitetura foi dividida em quatro partes: aviônica do *cockpit*, *flight control*, cabine de missão (incluindo a área de descanso) e armamento. Essa separação se dá porque cada uma dessas partes exige diferentes níveis de segurança. A partir disso, foram escolhidas as seguintes tecnologias:

- AFDX para aviônica do *cockpit*, *flight control* e armamento devido ao seu determinismo e robustez;
- *Switched Gigabit Ethernet* para a cabine de missão devido ao seu baixo custo e alta velocidade;

A Fig. 4 mostra um esquema dessa divisão lógica.

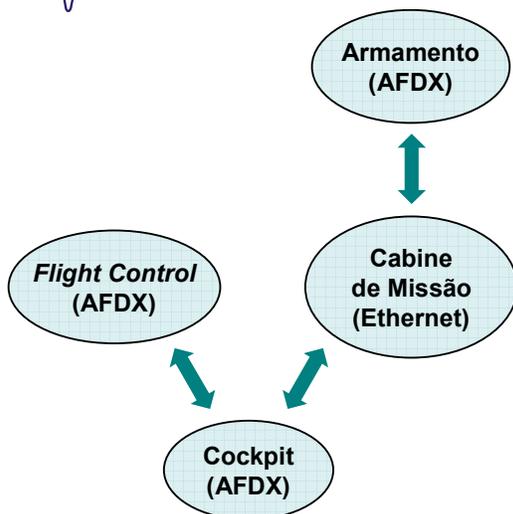


Fig. 4 - Divisão lógica da arquitetura proposta.

O *TTEthernet* não foi usado devido ao protocolo ser proprietário e só haver uma empresa fabricante da tecnologia, fazendo com que o integrador não tenha opções e poder de barganha.

Cada uma das partes lógicas possui duas linhas de barramento para efeitos de redundância com switches também redundantes. Usando o protocolo RSTP (Rapid Spanning Tree Protocol) pode-se ter um tempo de recuperação da rede de 1 a 2 segundos em caso de perda de um switch [3].

O uso do AFDX dá o determinismo necessário para o *cockpit*, armamento e, principalmente, para o sistema de controle de voo. Operando a 100 Mbps, tem alta velocidade, principalmente se comparado com a velocidade do ARINC 429 e do MIL-STD-1553. A tolerância a falhas é garantida pois o sistema é bem conhecido: cada componente (*end system* e switches) conhece o comportamento de seus vizinhos, o que na prática faz com que a rede tenha diversos “guardiões” de barramento.

O *Switched Gigabit Ethernet* usado na cabine de missão, incluindo a área de descanso, tem um baixíssimo custo de aquisição, é uma tecnologia madura, existem muitas opções de equipamentos no mercado e o suporte é facilitado. O determinismo não é tão crítico, já que não se corre o risco de afetar a aeronavegabilidade caso haja atraso na troca de mensagens.

B. Funcionamento do sistema

Com a definição das tecnologias de barramento digital que serão usadas na arquitetura do sistema, a presente seção expõe uma possível configuração de equipamentos e a forma básica de comunicação entre eles, sendo que o modelo de troca de dados é apresentado na seção III.

O *cockpit* da aeronave é composto por dois lugares para o piloto e co-piloto. Existem 3 grandes telas de LCD (Liquid Crystal Display) no formato *widescreen*: uma central para exibir dados tradicionalmente mostrados no EICAS (*Engine Information and Crew Alert System*) e uma tela para cada piloto para exibir dados tradicionalmente mostrados no PFD (*Primary Flight Display*) e no MFD (*Multi-Function Display*). Todos os dados exibidos nas telas são obtidos do barramento AFDX do cockpit.

Os sensores de anemometria são sistemas que possuem uma exigência de latência baixa; para este caso as *probes* seriam conectadas em uma porta AFDX do Switch utilizando um *Virtual Link* exclusivo, com parâmetros de QoS que garantem atraso máximo de 100 milissegundos para indicação de dados nos *displays* [4], considerando o atraso do sensor, barramento AFDX e processamento no display. Atualmente os sistemas anemométricos são baseados em ARINC 429, no entanto com a crescente aplicação do AFDX sistemas poderão ser ofertados possuindo este tipo de interface.

Na cabine de missão, os consoles e o computador de missão são conectados a um barramento Ethernet, sendo que através de um gateway estes dados são disponibilizados no barramento AFDX.

Dois consoles são definidos como computador de missão primário e secundário. Os computadores destes consoles são *multi-core* entregando alto desempenho, tendo capacidade de processamento tanto dos aplicativos de missão como da função de integração de dados táticos entre armamento, navegação, sensores e câmeras.

C. Possíveis pontos fracos da arquitetura

Os pontos fracos da arquitetura proposta são:

- Possibilidade de atraso na entrega de mensagens;
- Muitos equipamentos atualmente não possuem interface *Ethernet* e AFDX;
- A tecnologia *Ethernet* é pouco conhecida e utilizada na indústria aeronáutica;

Em relação à possibilidade de atraso na entrega de mensagens, as áreas que afetam a segurança de voo como a aviónica e o controle possuem barramento de comunicação AFDX, que por norma garante determinismo e comportamento da rede bem definido. Além disso, o DDS (Data Distribution Services), apresentado na próxima seção, impõe parâmetros de QoS (Quality of Service) que minimizam o comportamento não-determinístico da rede.

A oferta de equipamentos com esses barramentos, em especial AFDX, tem sido cada vez maior, resultando em queda de preços e melhor suporte.

Apesar do *Ethernet* ainda não ter um uso muito difundido na aeronáutica, existem diversos trabalhos que versam sobre o comportamento de redes com a tecnologia que são capazes de embasar o seu uso seguro em aeronaves de transporte..

III. INTEGRAÇÃO DE DADOS

A integração de dados em uma plataforma de missão ISR é essencial. Dados do sistema inercial como atitude e posição, do sistema anemométrico como velocidade e do apontador laser como distância até um ponto podem ser utilizados para cálculos de lançamento de armamentos, já dados de latitude e longitude disponibilizados pelo radar de missão e do sistema de navegação podem ser utilizados pelo FLIR para manter automaticamente a visualização de um ponto. Estes dois exemplos representam uma pequena parte de toda interdependência entre os sistemas de missão em uma aeronave ISR.

Para se alcançar esta integração de dados pode ser desenvolvida uma aplicação própria específica para o projeto

ou então utilizar-se de um padrão definido e aberto como o DDS.

A utilização de desenvolvimento próprio traz as seguintes vantagens:

- Otimização do modelo para o sistema específico de um projeto, onde só as funções necessárias são codificadas.
- Total controle sobre o código e possibilidade de mudanças para atender requisitos específicos.

As desvantagens seriam:

- Custo de desenvolvimento e testes.
- Não se beneficia das atualizações e melhorias de um software aberto com custo reduzido.
- Modelo de troca de dados entre aplicativos e nós da rede sem padronização ou padrão proprietário.
- Passível de falhas com maior tempo para o código atingir maturidade.

Quando a utilização do DDS as vantagens seriam:

- Baixo custo de desenvolvimento.
- Arquitetura flexível e adaptável permitindo escalabilidade.
- Atualizações e melhorias constantes disponíveis sem custo.
- Desenvolvedores podem se concentrar nas aplicações sem necessidade de buscar soluções de como estas se comunicarão entre si.
- Modelo de troca de dados entre os aplicativos ou nós de uma rede padronizado.
- Facilidade de atualização dos sistemas no futuro, sem interdependência com equipamentos.

As desvantagens no uso do DDS são:

- Pode trazer um *overhead* sendo que o DDS traz diversas funcionalidades que podem não ser utilizadas, mas estão embutidas no código.

Visto isto, o DDS seria a escolha natural para atender a necessidade de integração de dados, oferecendo uma plataforma madura e com mecanismos para realizar a integração de dados de forma eficiente.

Data Distribution Services - DDS é um padrão de interface de comunicação que reside na camada de aplicação de acordo com o modelo OSI. O DDS utiliza um conceito de publicador e assinante onde o nó publicador disponibiliza os dados identificando-os com um tópico e os nós assinantes interessados neste tópico recebem os dados. Desta forma, os nós publicadores e nós assinantes não necessitam ser configurados para possuir uma conexão direta e nenhuma informação sobre o publicador precisa ser conhecida pelo assinante. Abaixo na Fig. 5 temos um exemplo do modelo da infra-estrutura do DDS.



Fig. 5 – Infra-estrutura do DDS

Um publicador pode disponibilizar vários dados através de estruturas de chamadas *Data Writers (DW)*. Já os assinantes possuem uma estrutura de leitura de dados chamadas de *Data Readers (DR)*. Os dados são disponibilizados através de um tópico definido que contém uma amostra dos dados, por exemplo, uma informação de latitude e longitude estaria disponível em um tópico chamado Posição. Outra capacidade do DDS é permitir que publicadores e assinantes sejam agrupados em domínios, desta maneira é possível segregar tipos de dados diferentes. Abaixo na Fig. 6 segue o modelo da estrutura básica o DDS.

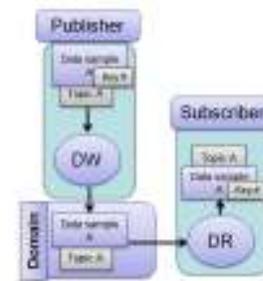


Fig. 6 – Modelo básico de arquitetura do DDS

No modelo básico representado na Fig. 6, a identificação *Key* é um parâmetro que identifica os dados com uma chave possibilitando ter várias fontes do mesmo dado em um mesmo tópico. Por exemplo, a informação de velocidade aerodinâmica do avião é coletada por mais de um conjunto de sensores (tubos de *pitot* e tomadas estática). Desta maneira o dado de velocidade proveniente de cada sensor pode ser identificado com uma chave específica e todos possuem o mesmo tópico, por exemplo, Velocidade.

Os dados que trafegam em uma rede de sistemas de missão em uma plataforma de inteligência possuem níveis de criticidade e demandas diferentes entre si. Para isto o DDS possui a capacidade de especificar parâmetros de QoS para cada tópico, *Data Reader* ou *Data Writer*. O nível de criticidade, por exemplo, de um comando para lançamento de armamento ou um sinal de detecção de ameaça é superior ao de transmissão de informações do radar meteorológico.

Para isto a estrutura do DDS permite a configuração de parâmetros como:

Latency Budget: Define o máximo delay que pode ocorrer na entrega de uma mensagem.

Reliability: Pode-se definir um dado como confiabilidade *Reliable* ou *Best Effort*. Se definido como *Best Effort* não há retransmissão do dado e a última amostra recebida é considerada válida, já se definido como *Reliable* pode haver retransmissão do dado e a entrega do mesmo é garantida. No caso de utilização de um meio de transporte via UDP este parâmetro garante confiabilidade na entrega.

Uma lista completa dos parâmetros que podem ser configurados está disponível em [5].

A. Exemplo de aplicação

Para este trabalho um exemplo de definição dos tópicos disponibilizados por cada publicador e os respectivos assinantes para cada tópico foi elaborado conforme a Fig. 7.

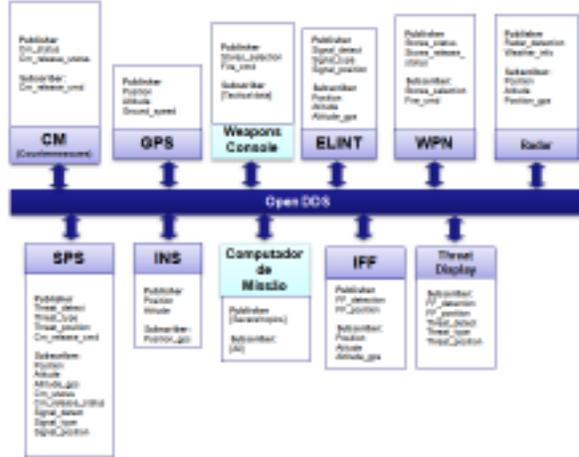


Fig. 7 – Definição inicial dos tópicos disponibilizados por cada sistema e dos assinantes de cada tópico.

No entanto, a aplicação do DDS exige diversas outras atividades como o projeto de conversores de dados para nós da rede que não possuem capacidade DDS, definição de domínios, parâmetros QoS entre outras.

IV. OBSERVAÇÕES FINAIS

O presente trabalho expôs as vantagens em se utilizar barramentos de alta velocidade como AFDX e Ethernet juntamente com um aplicativo de integração de dados aberto e robusto representado pelo DDS.

O uso de Ethernet traz os benefícios da alta velocidade e do baixo custo, sendo aplicado à cabine de missão e permitindo inclusive a transmissão de vídeo no barramento. O AFDX traz os benefícios de velocidade do Ethernet aliado à confiabilidade de entrega dos pacotes de dados num tempo definido.

O DDS traz a camada de aplicação que facilita o trabalho de distribuição e integração dos dados dos diversos equipamentos, assim como aplica parâmetros de QoS que endereçam toda uma gama de requisitos como garantia de entrega, taxa de publicação e recebimento, tempo de vida dos dados, histórico, latência e priorização, entre outros.

A próxima etapa desse trabalho seria a modelagem dos equipamentos e dos barramentos e integração com o DDS a fim de realizar simulações para testar o comportamento em relação à confiabilidade, integridade dos dados e atrasos. A seguir, devem-se realizar testes em bancada com os equipamentos reais.

REFERÊNCIAS

- [1] “F-35 jet fighters to take integrated avionics to a whole new level”, Military & Aerospace Electronics website. Disponível em <http://www.militaryaerospace.com/index/display/article-display/175510/articles/military-aerospace-electronics/volume-14/issue-5/features/special-report/f-35-jet-fighters-to-take-integrated-avionics-to-a-whole-new-level.html>. Acessado em 22 de maio de 2010.
- [2] D. A. Gwaltney, J. M. Briscoe, “Comparison of Communication Architectures for Spacecraft Modular Avionics Systems”, NASA Tech Report, NASA/TM–2006-214431, Alabama Junho 2006.
- [3] “ABCs of ethernet redundancy”, Contemporary Controls info sheet, Contemporary Controls Systems, Inc. Disponível em: <http://www.industrial-ethernet.ie/technical-notes/EthernetRedundancy.pdf>. Acessado em 22 de maio de 2010.
- [4] U.S Department of Transportation, Federal Aviation Administration, Advisory Circular 25-11A - Electronic Flight Deck Displays.
- [5] Pardo-Castellote, Gerardo e Warren, Rick, “A introduction to DDS and Data-Centric Communications”, Disponível em http://www.omg.org/news/whitepapers/Intro_To_DDS.pdf, acessado em 23 de maio de 2010.