



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS



Curso de Inverno de Introdução às Tecnologias Espaciais

INTRODUÇÃO À SUPERVISÃO DE BORDO DE SATÉLITES

Fabício de Novaes Kucinskis

Grupo de Supervisão de Bordo

Divisão de Eletrônica Aeroespacial – DEA

Coordenação Geral de Engenharia e Tecnologia Espacial – ETE

Agenda

Algumas apresentações

O Grupo de Supervisão de Bordo do INPE

O subsistema de supervisão de bordo de um satélite

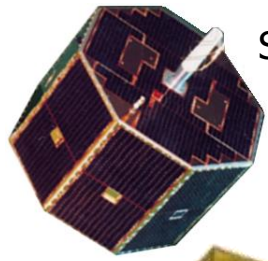
Eletrônica para aplicação espacial

Tolerância a falhas

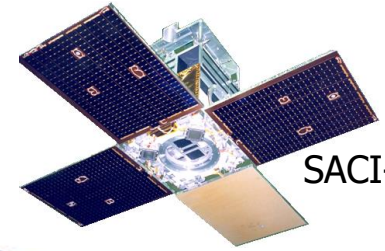
Software embarcado em satélites

APRESENTAÇÕES

Sobre a Coordenação Geral de Engenharia e Tecnologia Espacial

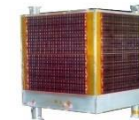
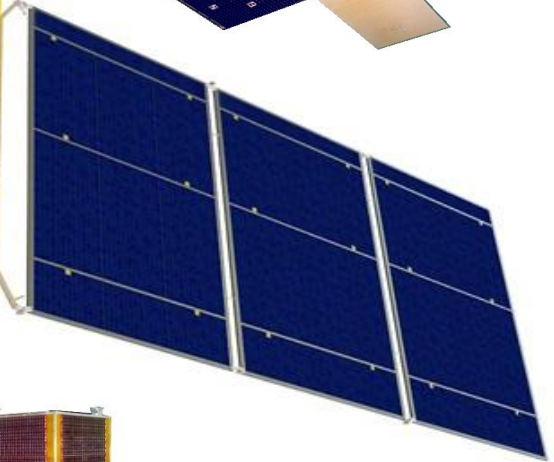


SCD-1



SACI-1

CBERS-1, 2, 2B

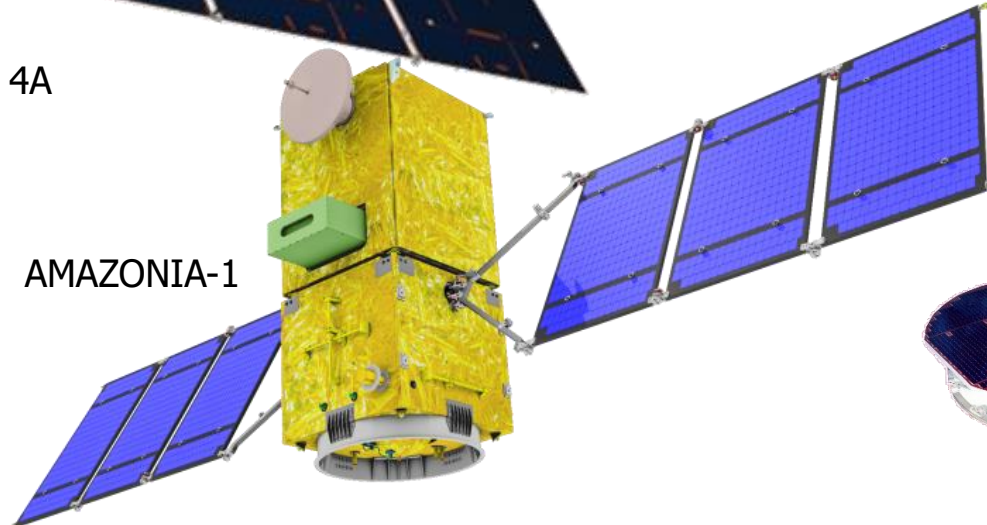


SATEC

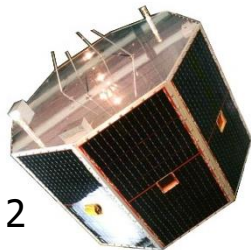
CBERS-3, 4, 4A



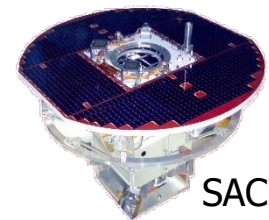
AMAZONIA-1



SCD-2A, 2



SACI-2



Sobre a Divisão de Eletrônica Aeroespacial

Divisão da Coordenação Geral de Engenharia e Tecnologia Espacial do INPE.

Tem por objetivo desenvolver tecnologias e realizar pesquisas em eletrônica aplicada ao campo aeroespacial, concentrada nas áreas de Eletro-Óptica, Supervisão de Bordo, Suprimento de Energia e Telecomunicações.

Criada em 1989 a partir de grupos que já atuavam em Engenharia Espacial no INPE desde a década de 1970.

Grosso modo, nos programas de satélites do INPE, a DEA é a responsável pelo fornecimento dos equipamentos que compõem o satélite.

Forte atuação na implementação de uma política industrial para estabelecimento de empresas nacionais na área espacial. »

Sobre o apresentador

Fabrício de Novaes Kucinskis - *fabricao.kucinskis@inpe.br*

Formação:

Engenheiro da Computação pela Universidade de Mogi das Cruzes (UMC) - 2003

Mestre em Computação Aplicada pela CAP/INPE - 2007

Doutor em Engenharia e Tecnologia Espaciais pela ETE/INPE - 2012

Atuação:

Tecnologista do Grupo de Supervisão de Bordo da DEA

Especialidade em Software Embarcado em Satélites

No INPE desde 2002

Atualmente:

Responsável pelo Software Aplicativo do OBDH do satélite Amazonia-1

Responsável pelo SW do Computador Avançado (COMAV), voltado a um subsistema de Supervisão de Bordo, Controle de Atitude e Órbita ('ACDH') »

O GRUPO DE SUPERVISÃO DE BORDO

Criação do Grupo de Supervisão de Bordo

Entre o final da década de 1970 e início da seguinte, diversos funcionários do INPE foram enviados para especializações na área de Engenharia Espacial em diferentes instituições dos EUA e Europa.

Os conhecimentos adquiridos seriam utilizados para o estabelecimento do segmento solo e espacial da Missão Espacial Completa Brasileira (MECB).

Em 1982, um desses funcionários finalizou um doutorado na UCLA na área de Sistemas Computacionais Tolerantes a Falhas.

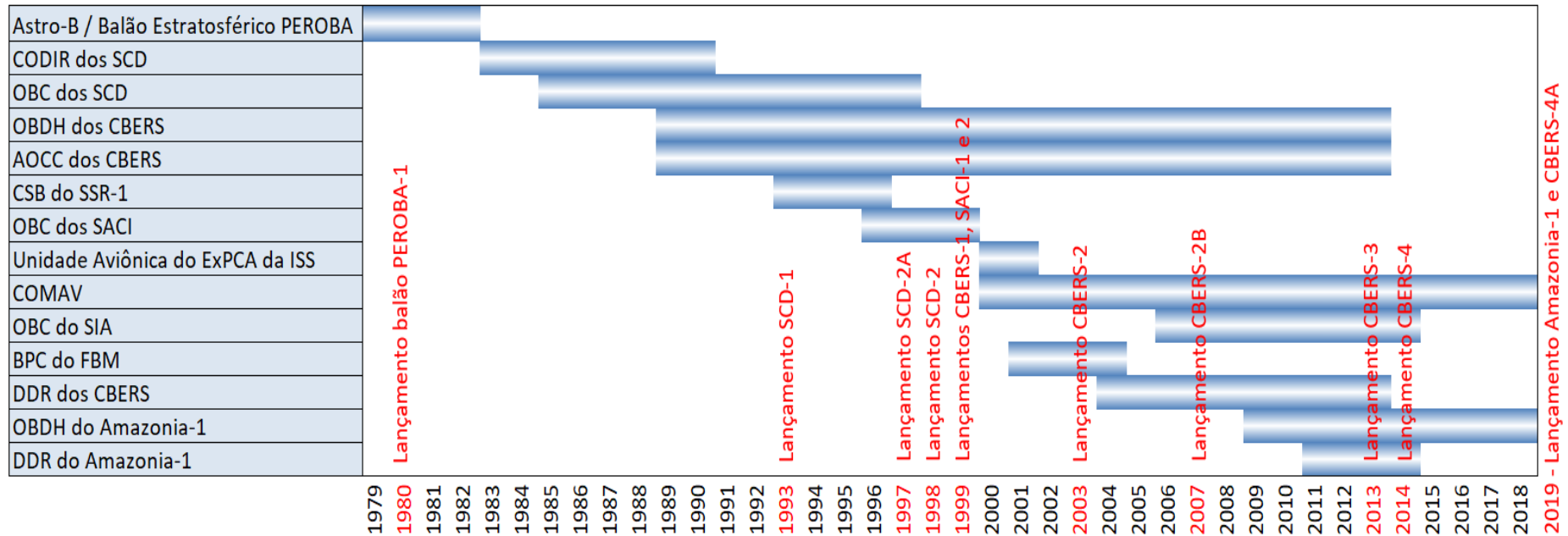
Seu retorno ao INPE deu início ao ‘Projeto de Supervisão de Bordo’, no qual começou a ser desenvolvido o primeiro sistema de computação de bordo para aplicação espacial do Brasil.

Tal projeto evolui para um ‘Grupo de Supervisão de Bordo’ (SUBORD), existente e atuante até hoje. »

Objetivo e histórico do Grupo de Supervisão de Bordo

Objetivo principal: desenvolvimento de sistemas computacionais embarcados para os programas institucionais do INPE.

Sumário de projetos realizados em quatro décadas:



Obs.: o primeiro projeto precede a criação do grupo, mas já era realizado por seus membros originais

O SUBSISTEMA DE SUPERVISÃO DE BORDO

Os (outros) subsistemas de um satélite

Suprimento de Energia

Provê alimentação elétrica aos equipamentos do satélite

Telecomunicação de Serviço

Viabiliza a operação remota do satélite

Controle de Atitude e Órbita

Realiza o apontamento do satélite e manutenção em sua órbita

Propulsão

Fornece empuxo para manobras de correção do apontamento e órbita

Controle Térmico

Mantém os equipamentos em temperaturas adequadas a seu funcionamento

Estrutura e Mecanismos

Suporte mecânico, proteção contra vibrações, blindagem contra radiação

Mecanismos de abertura e rotação dos painéis, apontamento de antenas, etc.

Supervisão de Bordo... ? »

O Subsistema de Supervisão de Bordo de Satélites

Em termos funcionais/operacionais, trata-se do componente central do satélite, gerenciando todos os demais subsistemas.

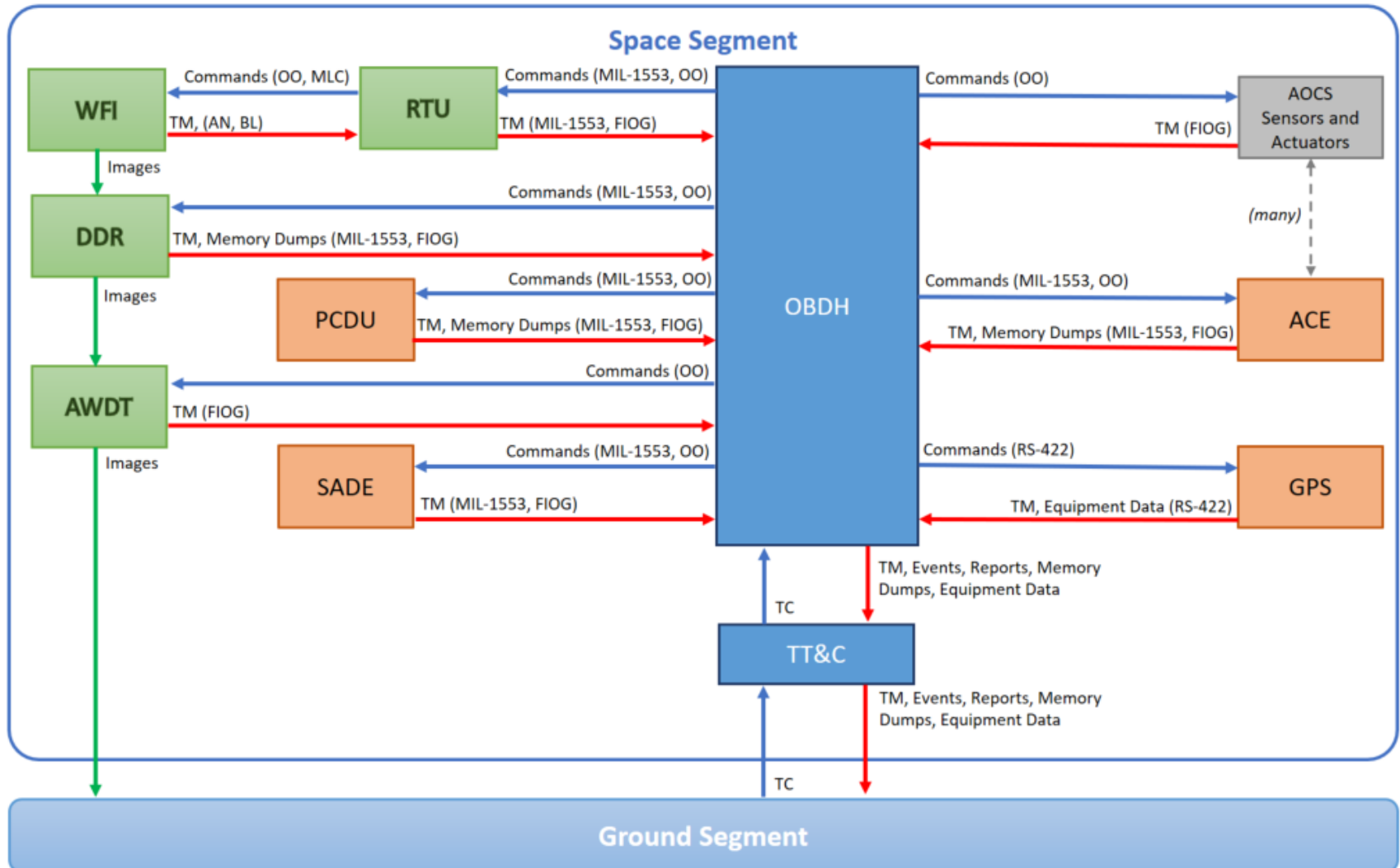
Também conhecido como:

- Commanding and Data Handling (C&DH)
- On-board Computer (OBC)
- On-board Data Handling Subsystem (OBDH)

É ele quem processa os telecomandos (TC) e as telemetrias (TM), sendo o responsável no Segmento Espacial pela operação do satélite.

Composto por eletrônica, software, lógica programável, interfaces de aquisição de dados (analógicas, discretas, etc.), interfaces de atuação (comandos), interfaces ‘inteligentes’ e seus protocolos de comunicação e muita, mas muita informação. »

Exemplo: o OBDH na arquitetura do Amazonia-1



Funções do Subsistema de Supervisão de Bordo

Recepção, análise e execução de telecomandos recebidos de solo

Atuação nos subsistemas do satélite

Aquisição de dados dos subsistemas

Formatação e envio de telemetria para solo

Monitoramento dos parâmetros do satélite (diagnose)

Housekeeping (limpeza de buffers, relatos de eventos, testes, etc)

Gerenciamento, distribuição e sincronização do relógio de bordo

Deteção, diagnóstico e recuperação de falhas (tolerância a falhas)

Gerenciamento dos modos de operação do satélite

Operação e gerenciamento das cargas úteis

Execução do controle térmico ativo do satélite »

ELETRÔNICA PARA APLICAÇÃO ESPACIAL

Características do ambiente espacial

O ambiente espacial submete os satélites a uma série de estresses ao longo de sua vida útil, demandando cuidados especiais em seu projeto.

Entre os principais efeitos do ambiente espacial, nocivos ao satélite – e em especial, à sua eletrônica – estão:

- Altas doses de radiação

- Variações térmicas bruscas e constantes (para satélites em órbita baixa)

- Ausência de atmosfera (vácuo)

- Ambiente de microgravidade

- Micrometeoritos e lixo espacial »

E o quê há de especial na eletrônica espacial?

Os equipamentos devem

resistir aos efeitos do lançamento (choques e altos níveis de vibração) e do ambiente espacial (radiação, variações térmicas, vácuo, microgravidade), operando continuamente por anos, e sem possibilidade de manutenção.

E não há tomada ou botão de reset no espaço!

Assim, as soluções eletrônicas para aplicações espaciais devem prever:

Construção mecânica e montagem robusta

Resistência a radiação (além de blindagem através da própria caixa)

Compatibilidade e interferência eletromagnética entre equipamentos

Amplas faixas de temperatura de operação

Tolerância a falhas. »

TOLERÂNCIA A FALHAS

Sh!t happens

Apesar da robustez em seu projeto e construção, os equipamentos do satélite irão, em algum momento, falhar.

O projeto dos equipamentos e do próprio satélite devem prever tais situações, suportando tais falhas sem a perda de funcionalidade – ou seja, devem ser tolerantes à ocorrência de falhas.

Para tal, diferentes mecanismos de identificação e correção automática de falhas devem ser implementados.

Cabe ao Subsistema de Supervisão de Bordo monitorar (supervisionar) os demais subsistemas, e proceder com as devidas ações corretivas. »

Falhas simples, duplas, múltiplas

Qualquer falha isolada em um equipamento ou subsistema é chamada de ‘falha simples’. O projeto dos equipamentos, dos subsistemas e do próprio satélite deve ser tolerante, de forma autônoma, à ocorrência de (quase) todas as falhas simples previstas.

Um exemplo de falha simples de difícil tratamento é um defeito na lente de uma câmera (ex: Hubble).

Quando uma segunda falha ocorre simultaneamente à primeira, dizemos que temos uma ‘falha dupla’.

Em geral, não há a obrigação de que o satélite tolere falhas duplas, mas é comum ao menos analisarmos algumas delas.

Falhas múltiplas não são tratadas *a priori*. Se ocorrerem em órbita, caberá às equipes de operação e de engenharia analisarem os problemas e tentarem resolvê-los com os meios disponíveis. »

Mecanismos de detecção

Existem diversas formas de detectar falhas ocorridas a bordo.

Entre elas, a verificação de parâmetros fora dos valores esperados, ausência de resposta de equipamentos e a troca de sinais de ‘aliveness’ entre eles.

Sempre que possível, aplicam-se ‘filtros de persistência’ na detecção. Ou seja, verifica-se se a falha persiste por algum tempo, antes de declarar um equipamento como falho. Isso evita falsos positivos por uma leitura espúria.

Sempre se tenta detectar e corrigir falhas no menor nível possível, com menor impacto à operação do satélite.

Por exemplo, se um equipamento não responde ao comando, o computador de bordo tentará, nessa ordem:

1. Reenviar o comando (sem impacto)
2. Resetar o equipamento (impacto baixo)
3. Trocar o equipamento em uso (maior impacto) »

Mecanismos de correção

A depender do equipamento e suas características de projeto e construção, diferentes tipos de mecanismos de correção são implementados. Mas o principal é a redundância.

Uma redundância é uma cópia, um backup, de um equipamento (ou funcionalidade), ativada quando o principal falha. Pode ser ‘fria’ ou ‘quente’, a depender da criticidade da funcionalidade, do consumo do equipamento, etc.

Cada redundância possui um mecanismo de chaveamento correspondente, e parte significativa deles é gerenciada, de forma autônoma, pelo OBDH.

Há, entretanto, que se tomar cuidado com a quantidade e complexidade dos mecanismos de correção: quanto mais complexo for um projeto, maior o número de falhas potenciais dele.

Deve-se, portanto, se fazer uma análise de custo-benefício para cada mecanismo de correção proposto, antes de implementá-lo. »

SOFTWARE EMBARCADO EM SATÉLITES

Características de software embarcado em satélites

Software crítico, com centenas de requisitos a serem atendidos – número comparável apenas aos de um subsistema de AOCS e do próprio satélite. Igualmente, centenas de testes a serem realizados.

Isso demanda um forte trabalho de Engenharia de Requisitos e, em especial, de rastreabilidade, configuração e controle de modificações.

Deve lidar com grande quantidade de interfaces e protocolos de comunicação, em diferentes níveis: MIL-STD-1553B, UARTS, VME, Spacewire, CCSDS, ECSS PUS, etc.

Mais recentemente, destaca-se a adoção de sistemas operacionais multitarefa de tempo real (*soft real time*), com aproximadamente 30 a 40 processos concorrentes, a depender da missão e computador.

Tudo isso deve ser realizado com baixa capacidade de processamento e quantidades de memórias disponíveis. »

Capacidade computacional dos projetos nacionais

* Idem Amazonia-1

	Série SCD	Série CBERS	Série SACI	FBM	SIA/COMAV
Período de Desenvolvimento	1985 a 2000	1988 até hoje	1996 a 2000	2001 a 2004	2000 até hoje
Lançamento	SCD-1: 1993 SCD-2: 1998 SCD-2A: 2000	CBERS-1: 1999 CBERS-2: 2003 CBERS-2B: 2007	SACI-1: 1999 SACI-2: 2000	N/A	N/A
Processador	SBP 9989 (Texas)	8086 / 8031 (Intel)	Transputer T800 (INMOS)	Transputer T800 (INMOS)	ERC32 (Atmel)
Nr. Bits	16 bits	16 / 8 bits	32 bits	32 bits	32 bits
Desempenho	1.41 MHz	80C86: 4MHz, 0.5MIPS 80C31: 6MHz	20 MHz, 10 MIPS	20 MHz, 10 MIPS	@ 25 MHz (5V), 20 MIPS @ 15 MHz (3.3V), 12 MIPS
Memória	RAM: 64 KB PROM: 8 KB	80C86: 128 KB de RAM, 32 KB de PROM 80C31: 8 KB de RAM, 8 KB de PROM	128 KB de RAM 128 KB de PROM 8 MB de mem. Massa	128 KB de RAM 128 KB de PROM 8 MB de mem. Massa	4 MB de RAM 64 KB de PROM 512 KB de EEPROM
Linguagem de Programação	Assembly	Assembly	OCCAM	OCCAM	C++
Sistema Operacional	Próprio	Próprio	Próprio + microkernel Transputer	Próprio + microkernel Transputer	RTEMS
Tamanho do Software	Monitor de carga: 2.5 KB Sw. Vão: 13 KB	Monitor RS232: 1 KB Sw. Vão: 28 KB Sw. RTU: 3 KB	Sw. Vão: 98 KB	Sw. Vão: 100 KB	Boot loader + monitor GDB: ~ 10 KB Sw. Vão: ~ 250 KB

Como referência, o OBC do Spirit e Opportunity (NASA) é baseado em um processador RAD6000 de 20 MHz. »

Em suma...

O Subsistema de Supervisão de Bordo ocupa uma posição central no satélite, e – diferente de outros – acumula um grande número de funções distintas.

Possui relação estreita com as definições sistêmicas da missão e com a operação do satélite.

É responsável por parte significativa da tolerância a falhas do satélite, com seus mecanismos de detecção e correção.

Lida com grande quantidade de informações, demandando processos e ferramentas adequadas para gerenciá-las.

Compreende software embarcado crítico, complexo e de tempo real, executado em processadores com baixa capacidade computacional.

Como os demais subsistemas, seu desenvolvimento impõe consideráveis dificuldades técnicas – **mas o que é a Engenharia, senão resolver problemas?**

Obrigado pela atenção!

fabricao.kucinskis@inpe.br

