MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

sid.inpe.br/mtc-m21b/2016/11.25.15.43-MAN

DOCUMENTO DE CONTROLE DA INTERFACE DO SUBSISTEMA DE DETERMINAÇÃO E CONTROLE DE ATITUDE DO MODELO DE ENGENHARIA 8U

Alessandra Urbano Rodrigues

Documento de Especificação Técnica do Subsistema de Controle de Atitude do Modelo de Engenharia 8U

URL do documento original:
<http://urlib.net/8JMKD3MGP3W34P/3MS4FAH>

INPE
São José dos Campos
2016

PUBLICADO POR:

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Gabinete do Diretor (GB)
Serviço de Informação e Documentação (SID)
Caixa Postal 515 - CEP 12.245-970
São José dos Campos - SP - Brasil
Tel.:(012) 3208-6923/6921
Fax: (012) 3208-6919
E-mail: pubtc@inpe.br

COMISSÃO DO CONSELHO DE EDITORAÇÃO E PRESERVAÇÃO DA PRODUÇÃO INTELECTUAL DO INPE (DE/DIR-544):
Presidente:
Maria do Carmo de Andrade Nono - Conselho de Pós-Graduação (CPG)
Membros:
Dr. Plínio Carlos Alvalá - Centro de Ciência do Sistema Terrestre (CST)
Dr. André de Castro Milone - Coordenação de Ciências Espaciais e Atmosféricas (CEA)
Dra. Carina de Barros Melo - Coordenação de Laboratórios Associados (CTE)
Dr. Evandro Marconi Rocco - Coordenação de Engenharia e Tecnologia Espacial (ETE)
Dr. Hermann Johann Heinrich Kux - Coordenação de Observação da Terra (OBT)
Dr. Marley Cavalcante de Lima Moscati - Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPT)
Silvia Castro Marcelino - Serviço de Informação e Documentação (SID) **BIBLIOTECA DIGITAL:**
Dr. Gerald Jean Francis Banon
Clayton Martins Pereira - Serviço de Informação e Documentação (SID)
REVISÃO E NORMALIZAÇÃO DOCUMENTÁRIA:
Simone Angélica Del Ducca Barbedo - Serviço de Informação e Documentação (SID)
Yolanda Ribeiro da Silva Souza - Serviço de Informação e Documentação (SID)
EDITORAÇÃO ELETRÔNICA:
Marcelo de Castro Pazos - Serviço de Informação e Documentação (SID)
André Luis Dias Fernandes - Serviço de Informação e Documentação (SID)

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

sid.inpe.br/mtc-m21b/2016/11.25.15.43-MAN

DOCUMENTO DE CONTROLE DA INTERFACE DO SUBSISTEMA DE DETERMINAÇÃO E CONTROLE DE ATITUDE DO MODELO DE ENGENHARIA 8U

Alessandra Urbano Rodrigues

Documento de Especificação Técnica do Subsistema de Controle de Atitude do Modelo de Engenharia 8U

URL do documento original:
<http://urlib.net/8JMKD3MGP3W34P/3MS4FAH>

INPE
São José dos Campos
2016

Esta obra foi licenciada sob uma Licença Creative Commons Atribuição-NãoComercial 3.0 Não Adaptada.

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 3.0 Unported License.

DOCUMENTO DE CONTROLE DA INTERFACE DO SUBSISTEMA DE DETERMINAÇÃO E CONTROLE DE ATITUDE DO MODELO DE ENGENHARIA 8U

Documento de Especificação Técnica do Subsistema de Controle de Atitude do Modelo de Engenharia 8U

CNS-SPC-SY-04-001-V01 FEVEREIRO, 2016

Registro de Propriedade do Documento

Autores	Organização	Data	Assinatura
Daniel Marques da Silva	INPE/CNPq	19/02/2016	
Alessandra Urbano Rodrigues	INPE/CNPq		

Aprovação	Organização	Data	Assinatura
Manoel Jozeane Mafra de Carvalho	INPE/CRN	19/02/2016	

Histórico de Modificações

Edição	Data	Modificações	Visto

Conteúdo

1. INTRODUÇÃO 4

2. DESCRIÇÃO FUNCIONAL 4

2.1 MODOS DO ADCS 4
2.2 COMPONENTES PRINCIPAIS 7
2.3 DEFINIÇÃO DOS EIXOS DO SATÉLITE 8

3. INTERFACE ELÉTRICA 10

3.1 ENERGIA 11
3.2 COMUNICAÇÃO 13
3.3 FIAÇÃO PERIFÉRICA 13
3.4 CONEXÕES DE INTERFACE 15
3.5 INTERFACE DE PROGRAMAÇÃO 15
3.6 SENSOR SOLAR 17

4. INTERFACE MECÂNICA 17

4.1 PACOTE PCB DO ADCS 17
4.2 CUBEWHEEL LM 19
4.3 MAGNETÔMETRO 20
4.4 SENSORES SOLARES 21

5. INTERFACE DO SOFTWARE 21

5.1 ESPECIFICAÇÕES DA COMUNICAÇÃO UART 21
5.2 ESPECIFICAÇÕES DA COMUNICAÇÃO I2C 22
5.3 TELECOMANDOS E TELEMETRIAS 23

6. ESPECIFICAÇÕES 28

1. Introdução

Esse documento é uma tradução da documentação sobre o controle da interface do Subsistema de Determinação e Controle de Atitude (ADCS) e apresenta o modo de manusear os equipamentos do ADCS a serem utilizados na missão 8U do projeto CONASAT. Esse pacote consiste em uma solução completa e inclui os atuadores e sensores do ADCS, além dos algoritmos e o software de voo do computador de bordo desse subsistema, com o objetivo de determinar e controlar a atitude do satélite.

2. Descrição funcional

A solução para o ADCS do CONASAT irá usar a combinação das medidas do magnetômetro, de sensores solares e do sensor de velocidade angular microeletromecânico para estimar a atitude atual. O satélite irá utilizar bobinas de torque e uma roda de reação para estabilizar e controlar o satélite.

2.1 Modos do ADCS

O ADCS tem uma quantidade definida de modos de operação. Assim que o computador de bordo do ADCS é ligado, o subsistema está por padrão no Modo Off. Durante esse modo, o computador de bordo irá apenas atualizar o seu contador UNIX uma vez por segundo. O Modo Triggered é usado para executar uma iteração simples no laço do ADCS quando o telecomando de ativação é recebido. Quando o ADCS está no Modo Enabled, o laço do ADCS será repetido a cada segundo. Na Tabela 1 pode-se observar os o resumo do modos do ADCS.

Tabela 1: Modos de operação do ADCS

Modos do ADCS	Efeito
Off	Apenas atualiza o tempo do UNIX
Triggered	Executa o laço do ADCS uma única vez
Enabled	Executa o laço do ADCS de forma contínua

Quando o subsistema se encontra no Modo Triggered ou no Modo Enabled, o ADCS é controlado por modos de controle e estimação. O número de modos de controle e

estimação são definidos para atender aos requerimentos indicados pelos objetivos da missão. Os modos de controle estão resumidos na Tabela 2. Quando o Modo de Controle 0 é ativado, as referências dos atuadores externos podem ser configuradas através de telecomandos. Isso é útil durante os testes funcionais do ADCS para acionar tanto as bobinas de torque quanto a roda de reação para os valores pré-definidos. Os modos de Controle 1 e 2 são utilizados principalmente para atingir uma rotação estável controlada ao redor do eixo de momento de inércia dominante a partir de uma velocidade angular de corpo desconhecida. O satélite absorve a velocidade angular de corpo e atinge a atitude nominal através dos modos de Controle 3 e 4. Nos modos de Controle de 1 a 4 é possivel injetar os dados simulados de sensores de um computador externo durante a execução do software de modelamento. Assim, pode-se checar se os atuadores cumprem o que é esperado deles durante os modos de controle quando o ADCS está no Modo Triggered.

Tabela 2: Modos de controle do ADCS

Modo de controle	Resultado
0	Nenhum controlador de atitude
1	Controlador BDot Detumbling
2	Controlador BDot e Y-Spin
3	Controlador Wheel Spin-Up
4	Controlador Pitch e Controlador Magnetic X-Product

O modo de estimação configura a maneira na qual o ADCS determina a atitude atual do satélite. Esse modo não controla a amostragem do sensor. As medidas cruas do sensor são amostradas durante cada iteração do laço do ADCS enquanto ele está habilitado e o sensor relevante é ligado. Quando o Modo de Estimação 0 é ativado, não há estimação de velocidade angular. No Modo de Estimação 1, as medidas calibradas do sensor de velocidade angular são usadas para estimar a velocidade angular do corpo. O Filtro de Kalman Magnético para Velocidade Angular estima a velocidade angular do satélite usando as medidas com magnetômetro no Modo Estimador 2. No Modo de Estimação 3, o Filtro de Kalman Extendido usa os sensores solares e o magnetômetro para determinar a atitude do satélite. Os modos de estimação estão resumidos na Tabela 3.

Tabela 3: Modos de estimação do ADCS

Modo de estimação	Resultado
0	Não há estimação
1	Estimação por meio do sensor de velocidade angular microeletromecânico
2	Estimação por meio do Filtro de Kalman Magnético para Velocidade Angular
3	Filtro de Kalman Extendido

O ADCS só configura o estimador se as chaves de energia corretas estiverem habilitadas. O modo de controle é ativado apenas quando as chaves de energia estão habilitadas e um modo de estimação válido está ativado. As combinações válidas dos modos de controle e estimação são visualizadas na Tabela 4.

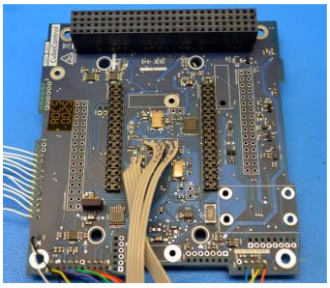
Tabela 4: Combinações de modos válidas

Modo de controle / Modo de estimador	0	1	2	3	4
0					
1					
2					
3					

2.2 Componentes principais

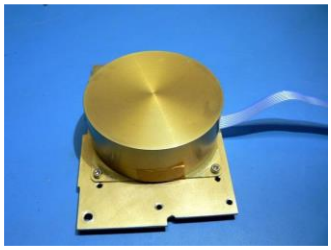
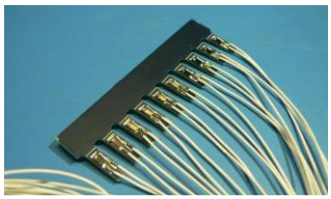
O pacote do ADCS consiste de componentes no padrão PC104 e periféricos. O ADCS PCB é constituído pela bobina de torque de núcelo de ar colocada entre duas placas de formato PC104. Esses componentes estão descritos na Tabela 5.

Tabela 5: Componentes dentro do ADCS PCB

Módulo	Descrição
CubeComputer V3A	Computador de bordo CubeSat genérico. Nessa aplicação será usado para executar os cálculos do ADCS e também como interface entre o ADCS e o computador de bordo principal.
CubeControl V2 	O CubeControl é principalmente utilizado como uma placa de interface direta com os atuadores (roda de reação e bobinas de torque). As duas bobinas de torque de núcleo ferromagnético são anexadas à placa. A placa também faz a interface com a bobina de torque de núcleo de ar, os sensores solares, o sensor de velocidade angular microeletromecânico e o magnetômetro externo.
CubeTorquer Coil	Dispositivo com duas bobinas de toque de núcleo ferromagnético colocadas no CubeControl, de forma a tornar possível o controle magnético em três eixos.

Os periféricos do ADCS que foram montados em outros lugares do satélite estão listados na Tabela 6.

Tabela 6: Periféricos do ADCS

Periférico	Descrição
CubeWheel LM 	O Cube Wheel LM é usado como uma roda de reação. Ele cria um viés de momento angular dentro do satélite, mantendo-o rígido e reduzindo os efeitos de distúrbios externos na atitude do satélite.
Magnetômetro	Mede o campo magnético no entorno do satélite. As medições obtidas são utilizadas para determinar a atitude do satélite e para calcular os comandos a serem enviados para as bobinas de torque.
Sensores solares 	Estão situados em todas as faces do satélite e são utilizados para determinar a direção do sol quando o satélite se encontra na parte iluminada da órbita. As medidas obtidas são utilizadas para determinação de atitude.

2.3 Definição dos eixos do satélite

A distribuição de massa dentro do satélite determina o seu momento de inércia. Para garantir a operação correta do ADCS, um eixo com momento de inércia dominante é requerido, como pode ser observado na Figura 1. A forma externa do satélite é muito simétrica e portanto não resulta em um eixo com momento de inércia dominante, considerando a distribuição da massa dentro do satélite como uniforme. Componentes dentro do satélite devem então ser distribuídos de forma específica e cuidadosa para garantir que o eixo Y seja o de momento de inércia dominante. A definição do sistema de coordenadas para o ADCS é mostrado na Figura 2. Os componentes desse subsistema

devem então ser posicionados de forma a fazer com o que o sistema de coordenadas do ADCS corresponda ao sistema de coordenadas do satélite. O CubeWheel LM deve ser montado de modo a obter a rotação em torno do eixo Y, conforme pode ser observado na Figura 3. O sensor de velocidade microeletromecânico colocado no CubeControl deve ser alinhado com o eixo Y.

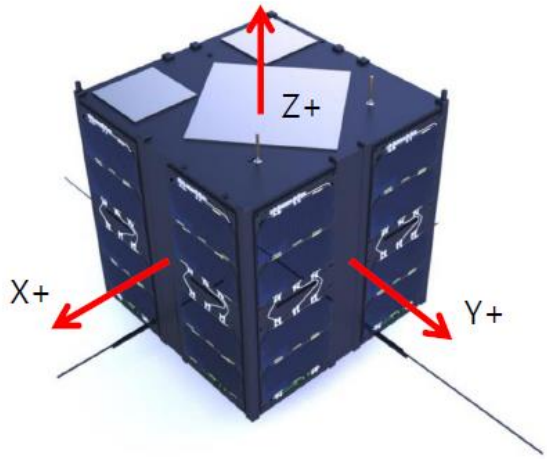


Figura 1: Definição proposta dos eixos do satélite

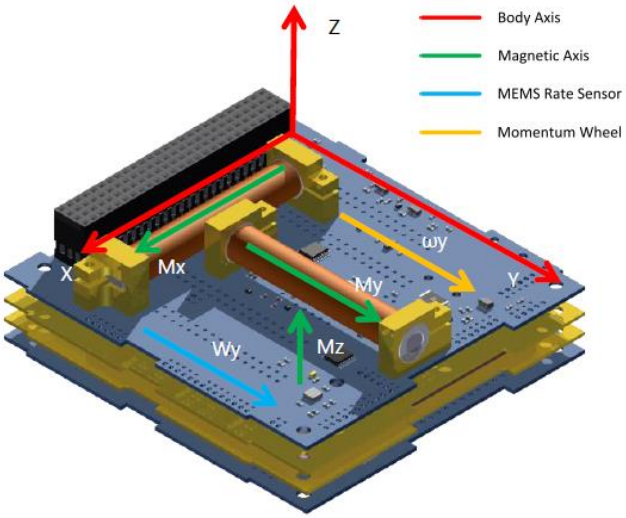


Figura 2: Vista isométrica da pilha com a definição dos eixos

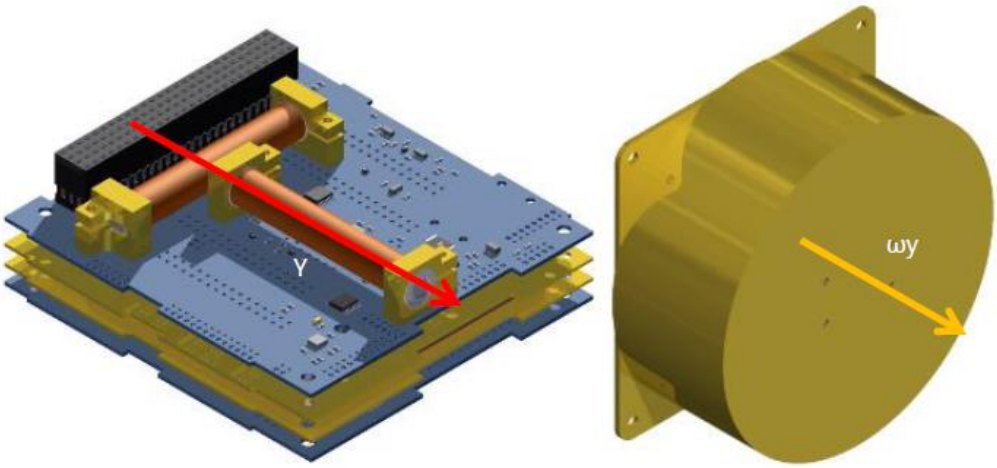


Figura 3: Orientação da roda de reação em relação ao ADCS PCB

3. Interface elétrica

A pilha do ADCS usa o padrão PC104 de empilhamento de cabeçalho para interface elétrica. A definição dos pinos do PC104 usados pelo ADCS está retratada na Tabela 7 e na Tabela 8.

Tabela 7: Definição dos pinos do cabeçalho PC104 usados no ADCS

H2	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40	42	44	46	48	50	52
	1	3	5	7	9	11	13	15	17	19	21	23	25	27	29	31	33	35	37	39	41	43	45	47	49	51
H1	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40	42	44	46	48	50	52
	1	3	5	7	9	11	13	15	17	19	21	23	25	27	29	31	33	35	37	39	41	43	45	47	49	51

Tabela 8: Legenda para definição do cabeçalho PC104

Pinos da interface PC104				
	H1	21	ADCS_I2C_SCL	Clock do ADCS para todos os módulos
	H1	23	ADCS_I2C_SDA	Dados do ADCS para todos os módulos
	H1	41	SYS_I2C_SDA	Dados do sistema I2C para o CubeComputer
	H1	43	SYS_I2C_SCL	Clock do sistema I2C para CubeComputer
	H1	49	+5V_ADCS	Alimentação +5V do ADCS
	H1	50	+3.3V_ADCS	Alimentação +3.3V do ADCS
	H2	27	+3.3V	Alimentação principal de +3.3V

	H2	28	+3.3V	Alimentação principal de +3.3V
	H2	29	GND	Conexão com o GND para todos os módulos
	H2	30	GND	Conexão com o GND para todos os módulos
	H2	32	GND	Conexão com o GND para todos os módulos
	H2	45	V Bat	Barramento da bateria
	H2	46	V Bat	Barramento da bateria

3.1 Energia

A pilha do ADCS requer 3.3V, 5V e a voltagem da bateria. Linhas de energia comutáveis são sugeridas para isolar partes dentro da pilha do ADCS. O CubeComputer V3A e o CubeControl V2 são alimentados pelos 3.3V que vem do H1.50. O CubeControl usa 5V para acionar as bobinas de torque e é conectado ao H.149. A voltagem da bateria é usada para a roda de reação.

O ADCS também requer uma conexão de 3.3V nos pinos H2-27 e H2.-28. Essa alimentação é apenas usada para energizar os buffers do I2C e pode ser conectada às linhas de alimentação não comutáveis (que sempre estão ligadas). A energia que vem dessa linha é mínima.

O consumo de energia dos módulos são determinados pelo modo de controle do ADCS e pela condição inicial. Porém, a média de consumo de energia pode ser estimada pelas linhas de alimentação. As melhores estimativas de consumo de energia dos módulos estão listadas na Tabela 9.

Tabela 9: Corrente utilizado nos módulos (TBC)

Componente	Fonte de corrente	Corrente utilizada	Notas
CubeComputer	3V3	60mA	Média
CubeControl	3V3	60mA	Com magnetômetro e sensores solares
Bobinas de torque de núcleo ferromagnético	5V	80mA	Máximo absoluto. Apenas para 800ms de período de controle de 1s
Bobina de torque de núcleo de ar	5V	143mA	Máximo absoluto. Apenas para 800ms de período de controle de 1s
CubeWheel LM	5V	7mA	Sensores hall

	Bateria	20mA(TBC)	Com bateria de 8V e velocidade angular constante de 2000rpm
		0.858A	Pior caso em termos de aumento de corrente

3.2 Comunicação

Os módulos do ADCS se comunicam através do barramento I2C, o qual é roteado para os pinos H1-21 e H1-23 do cabeçalho PC104. O barramento do ADCS tem dois nós no barramento I2C do ADCS: o CubeComputer é definido como o mestre, enquanto o CubeControl é definido como o escravo. O sistema I2C é conduzido para o H1-41 e o H1-43. Apenas o CubeComputer é conectado ao sistema I2C e é definido como o escravo nesse barramento.

O barramento I2C do ADCS tem resistores pull-up de 3.3 kΩ e resistores não pull-up no sistema I2C. Os resistores pull-up estão localizados na face do topo do CubeComputer.

3.3 Fiação periférica

Existe um número de cabos e comunicações através de fios entre módulos e a partir de periféricos para o CubeControl. Os cabos com fios, as conexões e o número de fios dentro de cada conjunto são mostrados na Figura 4.

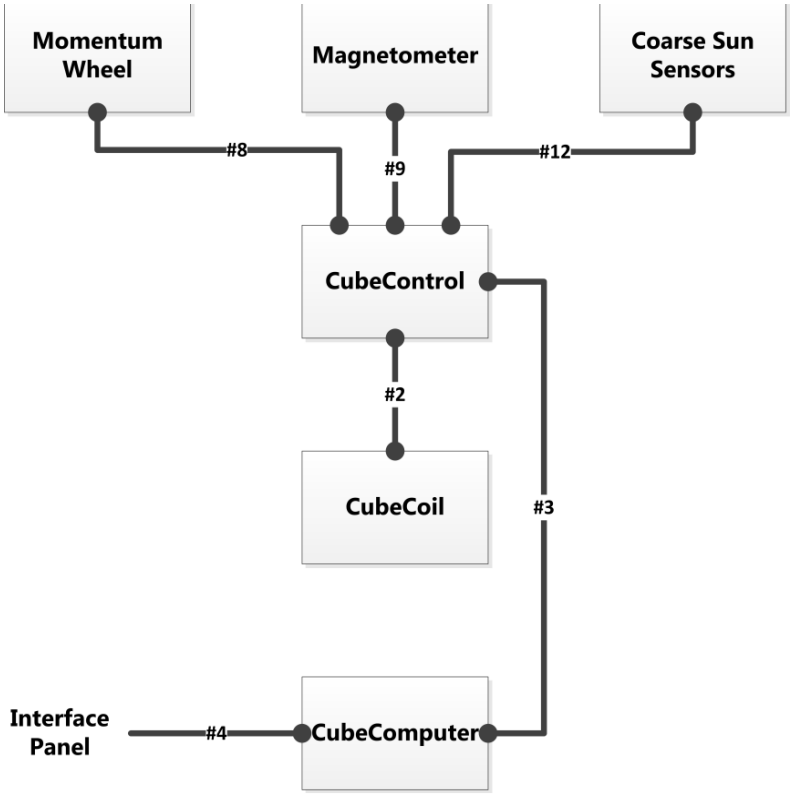


Figura 4: Fiação entre os módulos e os periféricos

A maior parte da fiação elétrica parte do CubeControl para o periférico alvo. Os dois fios da bobina de torque de núcleo de ar são soldados diretamento dentro do CubeControl. A

roda de reação, o magnetômetro e os sensores solares são conectados ao CubeControl por uma série de acasalamentos de conectores in-line, para cada um deles. Um lado do conjunto de conector é soldada dentro do CubeControl e a outra parte é soldada no periférico. Os três sinais entre o CubeComputer e o CubeControl são linhas habilitadas para o controle de diferentes seções do CubeControl. A localização e a definição do sinal das portas no CubeControl são mostradas na Figura 5.

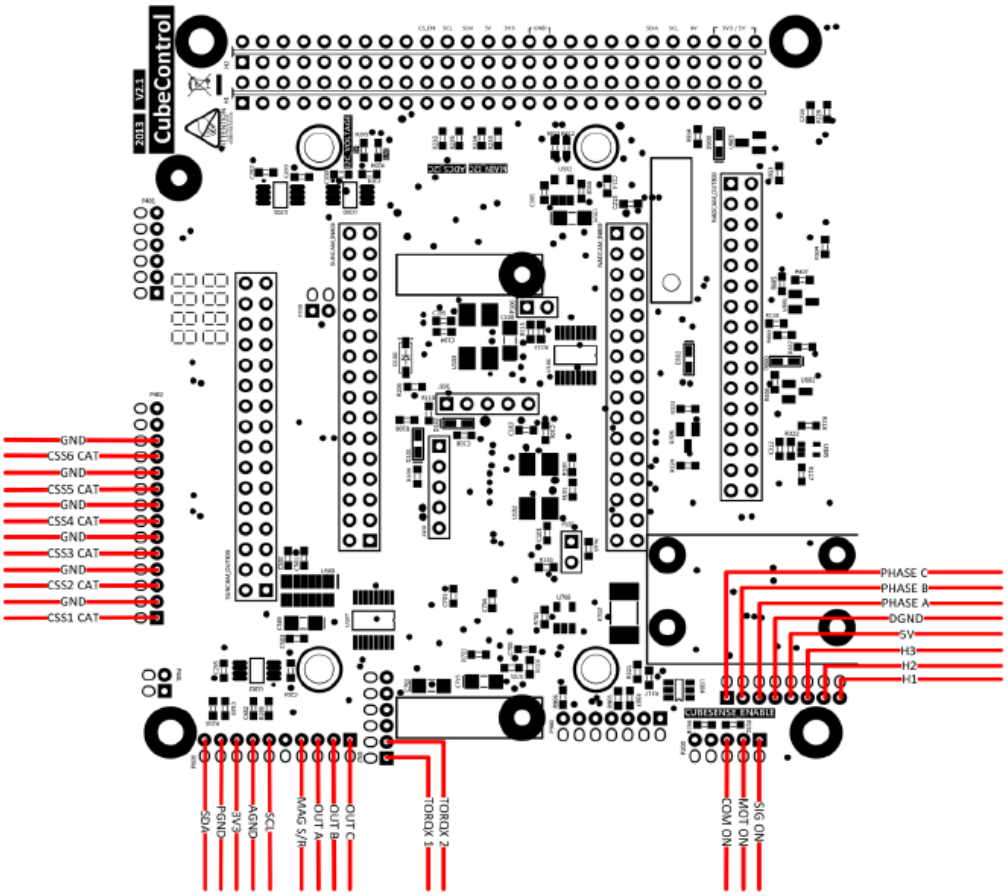


Figura 5: Definição de localização e sinal no CubeControl

O comprimento máximo dos cabos entre os periféricos e o CubeControl é definido na Tabela 10.

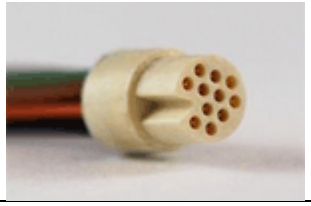
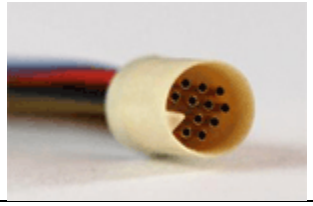
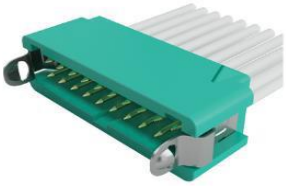
Tabela 10: Comprimento dos cabos

Periférico	CubeControl -> Conector [L1(mm)]	Conector -> Periférico [L2(mm)]
Magnetômetro	50	450
Sensor solar	50	300
Roda de reação	50	450

As diferentes portas e os conectores in-line do CubeControl estão listados na Tabela

11. Se outros conectores forem preferidos, eles devem ser alimentados pelo ESL.

Tabela 11: Conectores no CubeControl

Número da porta	Função	Fabricante	Conector no CubeControl	Conector no periférico
P600	Magnetômetro	Omnetics	NCP-11-WD-18.0-C-32 	NCS-11-WD-18.0-C-32 
P402	Sensores solares	Harwin	G125-FC41205L0-0300L	G125-MC41205L4-0300L 
J300	Roda de reação	Omnetics	PS1-08-WD-18.0-C-LT	SSB-08-WD-18.0-C-LT

3.4 Conexões de interface

Um número de fios são soldados no CubeComputer OBC para conexão com ADCS. O cabeamento é feito contendo o MISC_UART e dois GPIO. O MISC_UART pode ser carregado para enviar telecomandos e telemetria para o software de voo do módulo ADCS ou enviar um novo software de voo. Os pinos GPIO podem ser usados para colocar o computador de bordo do ADCS no modo de voo final através do encurtamento dos dois pinos GPIO por meio de um resistor. Esses fios têm comprimento de 300mm e não tem conector soldado no final.

3.5 Interface de programação

A porta JTAG do CubeComputer é usada para gravar o novo firmware na memória flash interna do controlador. O CubeComputer requer o bootloader antes do cabeçalho JTAG poder ser removido.

O cabeçalho JTAG é localizado no topo do CubeComputer. O padrão é cabeçalho 20-way dual row 2.54mm pitch. Isso conecta por meio de cabos o Energy Micro Starter Kit ou o

programador JLink. A definição de pino do cabeçalho JTAG no CubeComputer é resumida na Tabela 12 e a localização do cabeçalho é mostrada na Figura 6.

Tabela 12: Definição dos pinos do cabeçalho JTAG do CubeComputer

Número do pino	Nome da rede
1	3V3
2, 3, 5, 11, 17, 19	Não conectado
7	DBG_SWDIO
9	DBG_SWCLK
13	DBG_SWO
15	DBG_nReset
4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20	GND

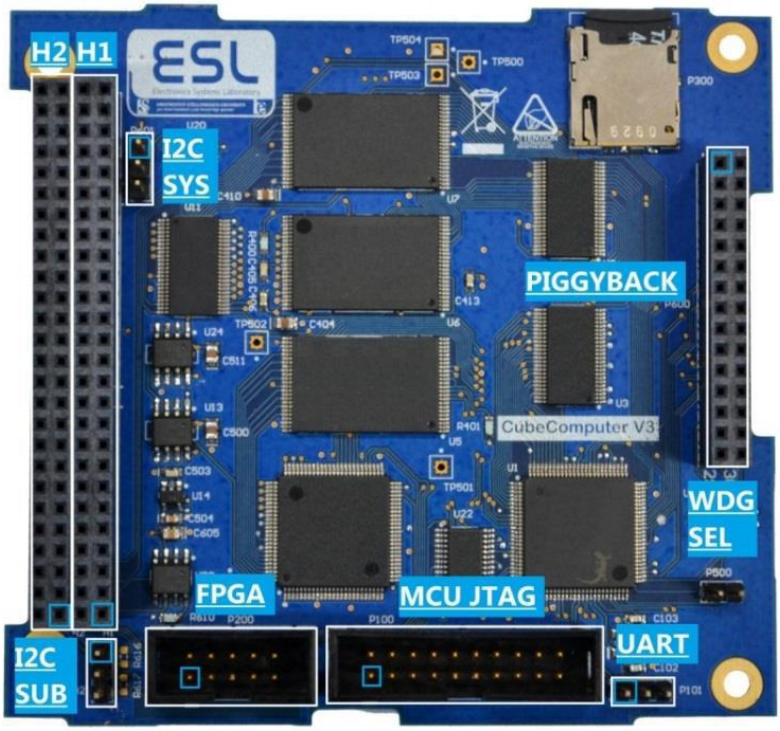


Figura 6: Vista frontal do CubeComputer indicante as definições de posição e pinagem do JTAG

3.6 Sensor solar

O sensor solar utiliza a medição da corrente de curto-circuito do fotodiodo planar SLCD-61N8. A face do topo do sensor é o cátodo e o ponto de solda do topo é o ânodo do fotodiodo. O ânodo é conectado ao GND e o cátodo aos sinais terminais da porta P402 do CubeControl, como pode ser visto na Figura 6. A conexão soldada no ânodo deve ser feita sem criação de um grande obstáculo de solda, o qual poderia obstruir a luz e criar uma banda morta para medida de incidência de luz com ângulos baixos.

4. Interface mecânica

O ADCS é montado em um número de subconjuntos os quais são conectados entre eles no AIT final do modelo de voo do satélite.

4.1 Pacote PCB do ADCS

A Figura 7 mostra o PCB do ADCS, o qual consiste do CubeControl com duas bobinas de reação de núcleo ferro magnético. A bobina de torque de núcleo de ar está entre o CubeControl e o CubeComputer.

Os furos conectando o pacote PCB aos trilhos principais dentro da estrutura têm 3.2mm de diâmetro. As localizações desses furos estão mostradas na Figura 7. O espaçamento entre as placas é definida pelos espaçadores padrão de acetil. O PCB do ADCS é entregue completamente montado e pronto para ser integrado dentro do modelo de voo do satélite.

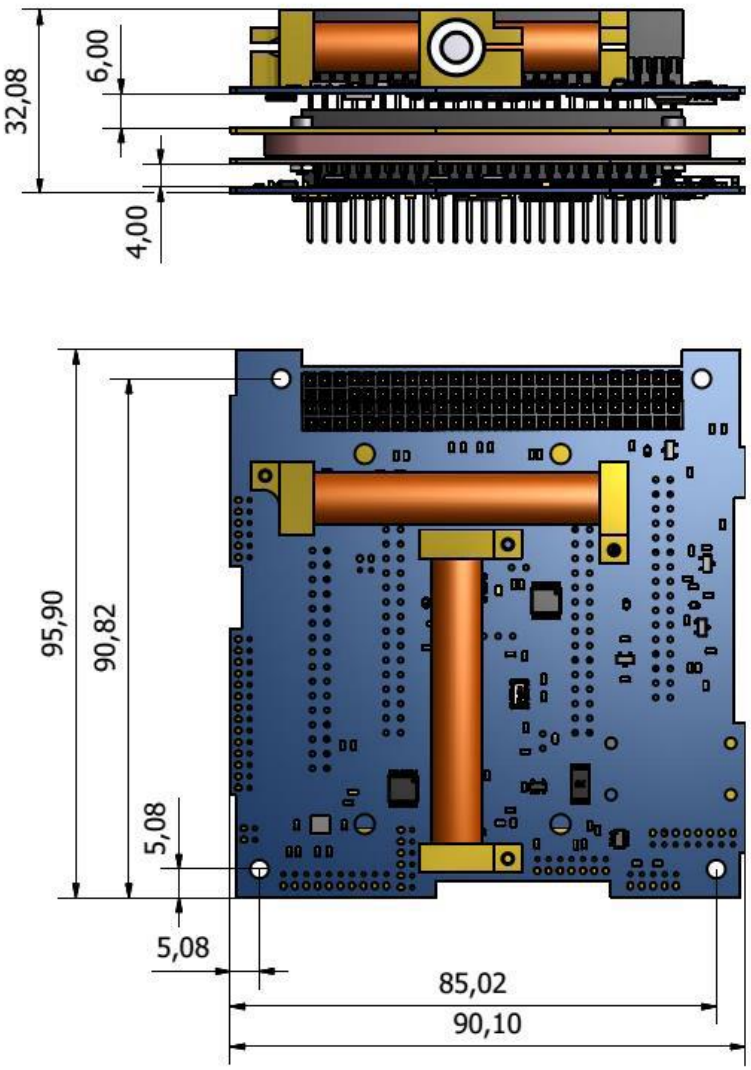


Figura 7: Definição mecânica do ADCS PCB

4.2 CubeWheel LM

A roda de reação é montada dentro do satélite e deve ser conectada ao CubeControl através de cabo (definido na Tabela 11). A montagem deve ser feita de forma a garantir que o momento angular produzido pela roda aponte na direção do eixo Y da referência de corpo do satélite. A base do motor é anexada com quatro furos de 2mm ao satélite.

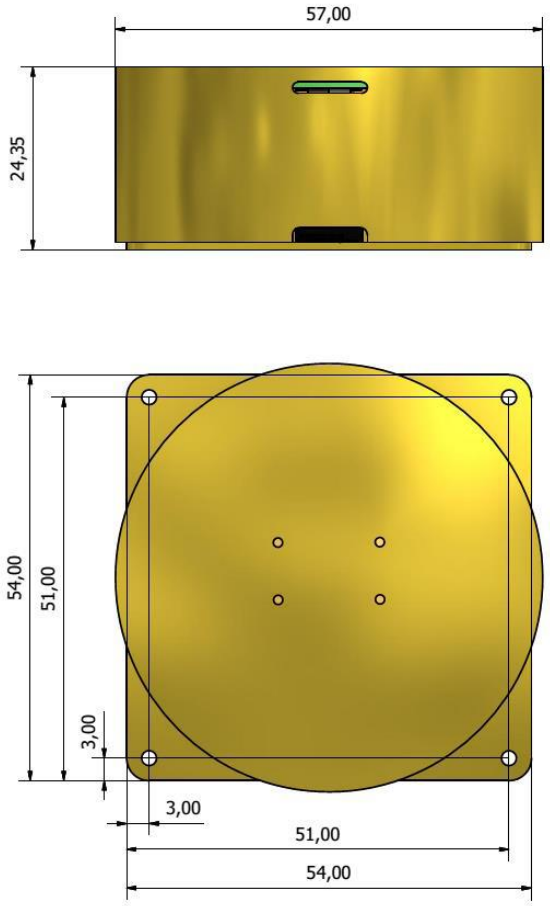


Figura 8: Definição mecânica da CubeWheel LM

4.3 Magnetômetro

O magnetômetro é colocado preferencialmente distante da maioria dos componentes eletrônicos para limitar os distúrbios de campo magnético causados pelas correntes que fluem dentro da estrutura do satélite, de forma a evitar contaminação das leituras do campo magnético da Terra. O magnetômetro é abrigado por uma cobertura de alumínio (ver na Figura 9).

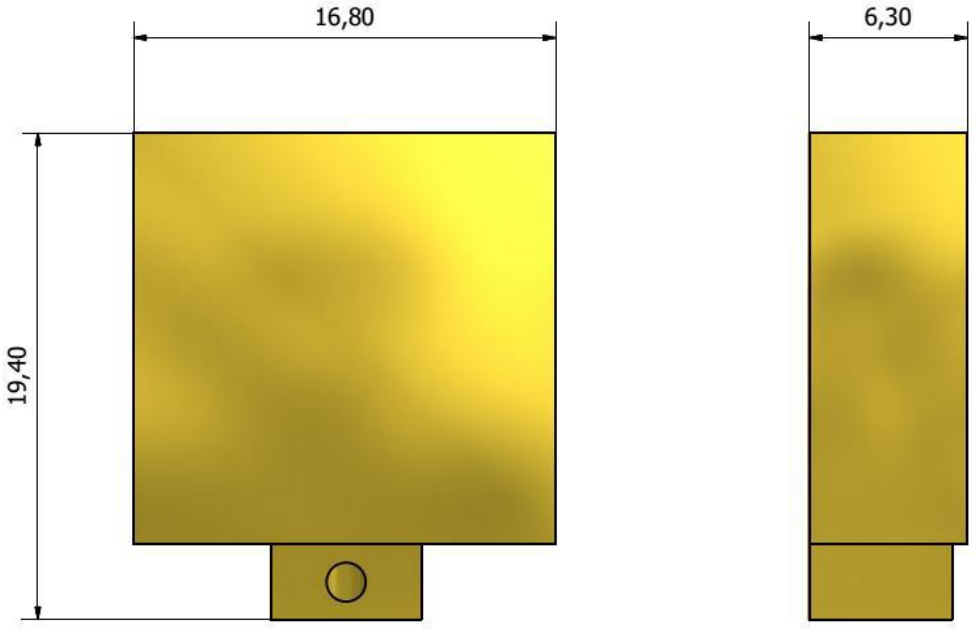


Figura 9: Definição mecânica da cobertura do magnetômetro

4.4 Sensores solares

O CubeControl pode acomodar seis sensores solares. Os sensores solares devem ser colocados em áreas com pouco ou nenhum risco de sombreamento devido à antena deployable.

O sensor fotodiodo (SLCD-61N8) é soldado na superfície com os pontos necessários anexados ao fio do CubeControl. O fotodiodo tem como dimensões externas 1.3mm x 3.4mm x 0.4mm.

5. Interface do software

Dois barramentos para comunicação estão disponíveis para interagir com o ADCS. O primeiro é a conexão UART para o CubeComputer, a qual é conveniente quando há a interface com um computador. O segundo é o sistema I2C para comunicação com o CubeComputer dentro do CubeSat. A comunicação com o CubeComputer funciona com a solicitação da telemetria e a estrutura do telecomando.

As solicitações de telemetria são usadas para requerer dados do CubeComputer. Essa solicitação consiste da ID do requerimento desejado, a qual é transmitida para o CubeComputer, e então o CubeComputer irá responder com os dados. Telecomandos são os comandos enviados para o CubeComputer na forma de comando ID seguido por parâmetros requeridos pelo comando.

A biblioteca de interface de código C é fornecida com o ADCS. Essa biblioteca pode ser usada para ler e formatar os dados recebidos do CubeComputer e dos telecomandos apropriados.

5.1 Especificações da comunicação UART

As especificações para a comunicação através do UART são descritas na Tabela 13.

Tabela 13: Configurações UART para Debug do CubeComputer

Parâmetro	Valor
Taxa de Baud	115200
Bits de dados	8
Paridade	Não possui
Bits de parada	1

A telemetria UART requerida é simplesmente construída enviando a ID da telemetria apropriada para o CubeStar. Um telecomando é enviado ao enviar o número correto de dados de telecomando após o envio de uma ID de telecomando válido.

5.2 Especificações da comunicação I2C

O módulo do CubeComputer age como um nó escravo do I2C com 7 bits de endereçamento no sistema I2C. Os endereços de 8 bits de leitura e escrita do CubeComputer são:

Tabela 14: Endereço I2C do CubeComputer

Endereço	Valor hexadecimal
Endereço de escrita I2C	0x24
Endereço de leitura I2C	0x25

Telemetria é requerida do CubeComputer sobre o barramento I2C realizando uma operação combinada de leitura-escrita. A primeira escrita seguida da condição de início é o endereço do CubeComputer (0x24). Isso é seguido pelo identificador de telemetria e logo após por outra condição de início (sem a condição de parada precedente). Após a segunda condição de início, o endereço é novamente escrito pelo mestre (0x25). O mestre então emite o número de ciclos de leitura dependendo do comprimento do quadro de telemetria. O processo é descrito na Figura 10.

S	0x24	TLM ID	S	0x25	TLM byte 0	...	P
	Mestre escreve o endereço do nó (operação de escrita)	Mestre escreve o quadro de telemetria ID		Mestre escreve o endereço do nó (operação de leitura)	Mestre lê o primeiro byte de dado TLM		

Figura 10: Requerimento de telemetria I2C

Telecomandos são recebidos através da escrita do mestre no módulo. O primeiro byte do dado (depois do endereço do byte) é o telecomando identificador, seguido pelos parâmetros do telecomando. Esse processo é descrito na Figura 11.

S	0x24	TC ID	Dado TC 0	...	P
	Mestre escreve o endereço do nó (operação de escrita)	Mestre escreve o telecomando ID	Mestre escreve os bytes dos dados		

Figura 11: Telecomando I2C

5.3 Telecomandos e telemetrias

A lista de telecomandos e telemetrias para o ADCS são mostradas na Tabela 15 e na Tabela 16. Para maiores detalhes em relação a entrada e saída dos telecomandos e telemetrias, deve-se consultar o manual do usuário.

Tabela 15: Lista de telecomandos

Tcm ID	Nome	Descrição	Comprimento dos parâmetros (bytes)
1	Reset	Reinicia	1
2	Configurar tempo do UNIX	Configura o tempo do UNIX atual	6
3	ADCS Run Mode	Configura o estado habilitado do ADCS & controla o comportamento do laço	1
4	Selected Logged Data	Seleciona quais dados devem ser logados	13
5	Controlar Potência	Controla a potência dos componentes selecionados	5
7	Acionador do laço do ADCS	Aciona o ADCS para executar uma iteração do laço de controle (apenas válido quando o Run Mode do ADCS está ativado)	0
8	Acionador do laço do ADCS com Sensor de Dados Simulados	Aciona o ADCS para executar uma iteração do laço de controle	38

		(apenas válido quando o Run Mode do ADCS está ativado)	
17	Configurar o Modo de Estimação de Atitude	Configura o modo de Estimação de Atitude	1
18	Configurar o Modo de Controle de Atitude	Configura o Modo de Controle de Atitude	4
19	Configurar os ângulos de atitude comandados	Configura os ângulos de atitude comandados	6
32	Configurar a velocidade da roda de reação	Configura a velocidade da Roda de Reação (apenas válido quando não há Modo de Controle)	6
33	Configurar a saída da bobina de torque	Configura a saída da bobina de torque (apenas válido se não há Modo de Controle)	6
64	Configurar os parâmetros de órbita SGP4	Configura os parâmetros de órbita SGP4	64
80	Configuração	Configuração atual	236
81	Configuração da bobina de torque	Configuração de parâmetros da bobina de torque	13
82	Configuração da roda de reação	Configuração de parâmetros da roda de reação	13
83	Configuração do sensor solar coarse (CSS)	Configuração de direção de apontamento e fatores de escala do fotodiodo	14
84	Configuração do sensor solar	Configuração dos parâmetros do sensor solar	17
85	Configuração do sensor Nadir	Configuração dos parâmetros do sensor Nadir	57
86	Configuração do magnetômetro	Configuração dos parâmetros do magnetômetro	30
87	Configuração do sensor de velocidade angular	Configura os parâmetros do sensor de velocidade angular	6
88	Configuração dos parâmetros de controle do Detumbling	Configura os ganhos do controlador e os valores de referência para o modo de controle Detumbling	10

89	Configuração dos parâmetros do Y-Momentum	Configura os ganhos do controlador e os valores de referência para o modo de controle Y-Momentum	26
90	Configuração do momento de inércia	Configura o momento de inércia do satélite	24
91	Configuração dos parâmetros de estimação	Configura a estimação do ruído de covariância e a máscara do sensor	26
100	Salvar configuração	Salva a configuração atual para a memória flash	0
101	Salvar parâmetros da órbita	Salva os parâmetros de órbita atuais para a memória flash	0
102	Salvar modo Start-up	Seleciona se o ACP deve começar o controle Detumbling automaticamente na partida	1
114	Resetar lista de arquivo	Reseta a lista de arquivo	0
115	Avançar índice de lista de arquivo	Avança o índice de lista de arquivo	0
116	Inicializar download de arquivo	Inicializa o download do arquivo	13
117	Avançar ponteiro de leitura de arquivo	Avança o ponteiro de leitura de arquivo	2
118	Apagar arquivo	Apaga o arquivo	13
119	Apagar todos os arquivos	Apaga todos os arquivos	0
120	Configurar índice de boot	Configura o índice do programa de boot atual	1
121	Apagar programa	Apaga programa de índice especificado	1
122	Envio de bloqueio de programa	Envia um bloco de 256 bytes de código de programa para flash	259
123	Finalizar envio de programa	Finaliza envio de programa	71

Tabela 16: Lista de telemetrias

Tlm ID	Nome	Descrição	Comprimento do quadro (bytes)

128	Identificação	Informação de identificação para esse nó	8
130	Status de comunicação	Status de comunicação para o CubeSense. Inclui contadores de comando e telemetria e flags de erro	6
131	Reconhecimento de telecomando	Quadro de telemetria com status de reconhecimento do comando enviado previamente	4
133	Causa do reset	Causa do último reset	1
134	Seleção do controle de potência	Seleção do controle de potência para os componentes do ADCS	5
135	Medidas de energia e temperatura	Medidas de potência e temperatura	18
136	Estado do ADCS	Estado atual do ADCS	48
137	Medidas do ADCS	Medidas calibradas do sensor	36
138	Comandos do atuador	Comandos do atuador	12
139	Medidas do sensor puro	Medidas cruas do sensor	60
140	Dados de estimação	Estimação de dados-meta	42
143	Tempo atual	Tempo unix atual	6
144	Estado atual	Estado atual do processador de controle de atitude	6
145	Ângulos de atitude estimados	Ângulos de atitude estimados	6
146	Velocidades angulares estimadas	Velocidades angulares estimadas relativas ao frame de referência da órbita	6
147	Posição do satélite (LLH)	Posição do satélite do frame de coordenada WGS-84	6
148	Velocidade do satélite (ECI)	Velocidade do satélite no frame ECI	6
149	Vetor do campo magnético	Vetor de campo magnético medido	6
150	Vetor do sensor solar	Vetor de sensor solar medido	6
[redacted]			

153	Velocidades angulares do sensor	Medidas do sensor de velocidade angular	6
154	Velocidade da roda de reação	Medida da velocidade da roda de reação	6
155	Comando da bobina de torque	Comando a bobina de torque	6
156	Comandos da velocidade da roda de reação	Comanda a roda de reação	6
157	Vetor de campo magnético modelado por IGRF	Vetor do campo magnético modelado pelo IGRF (referenciado ao frame da órbita)	6
158	Vetor do sol modelado	Vetor de sol modelado (referenciado ao frame da órbita)	6
159	Viés do giroscópio estimado	Viés do sensor de velocidade angular estimado	6
160	Vetor de inovação de estimação	Estimação do vetor de estimação	6
161	Vetor de erro do quatérnio	Vetor de erro do quatérnio	
162	Covariância do quatérnio	Covariância do quatérnio	6
163	Covariância da velocidade angular	Covariância da velocidade angular	6
[redacted]			
166	Sensor solar cru	Medidas cruas dos sensores solares	6
167	Magnetômetro cru	Medidas cruas do magnetômetro	6
[redacted]			
174	Medição das correntes do CubeControl	Medição das correntes do CubeControl	6
175	Medição de temperatura e corrente dos periféricos	Medição das correntes da roda de reação e das bobinas de torque. Medição da temperatura do MCU e do sensor de velocidade angular	6
189	Estado de execução ACP	Retorna informação sobre o laço ACP	3

190	Tempos de Execução ACP	Retorna informação sobre os tempos de execução das funções ACP	8
191	Parâmetros de órbita SGP4	Parâmetros de órbita atuais SPG4	64
192	Configuração	Configuração de corrente	
193	Contadores Latchup e EDAC	Contadores para SRAM SEUs e latch-up	10
194	Modo Start-up	Comportamento de start-up do ACP	1
[redacted]			
240	Informação de arquivo	Informação de índice do arquivo atual	22
241	Bloqueio de arquivo CRC	Bloqueio de arquivo CRC	6
242	Bloqueio de arquivo de dados	Bloqueio de arquivo de dados	256
250	Status do programa enviado	Status do último bloqueio de programa enviado	3
251	Lista de programas em flash	Recuperar as listas de tamanho, checksums e descrições de todos os programas em flash	497

6. Especificações

Tabela 17: Especificações do ADCS

Especificação	Valor	Notas
Massa		
Pacote PCB do ADCS	210g	Inclui todos os módulos do PCD, bobinas de torque e espaçadores
CubeWheel LM	188g	
Sensores solares	15.43g	10 sensores com arreios e conector
Magnetômetro	4.82g	Sensor com arreio e conector
Dimensões		
Pilha PC104	32.1mm x 90.1mm x 95.9mm	Do topo do suporte da bobina de toque até a superfície do fundo do CubeComputer
CubeWheel		

LM		
CSS	1.7mm x 3.7mm x 10.6mm	Um único sensor
Magnetômetro	4.9mm x 15.6mm x 15.1mm	

Tabela 18: Especificações dos sensores

Especificação	Valor	Notas
Sensores solares		
Precisão	< 5 graus	1σ
Taxa de atualização	1Hz	
Magnetômetro		
Precisão	< 50nT	1σ (por canal X/Y/Z)
Taxa de atualização	1Hz	
Sensor de velocidade angular		
Precisão	< 0.015 graus/seg	1σ, apenas no eixo Y
Taxa de atualização	1Hz	Saída média
Angular Random Walk	0.28 graus/$\sqrt{hr}$	
Instabilidade do viés	24 graus/hr	

Tabela 19: Especificações dos atuadores

Especificação	Valor	Notas
Bobina de torque de núcleo ferromagnético		
Máximo dipolo magnético	0.2Am²	1σ
Resolução do comando PWM	10ms	Para o período de controle de 1Hz
Resistência	30Ω	
Bobina de torque de núcleo de ar		
Máximo dipolo magnético	0.24Am²	
Resolução do comando PWM	10ms	
Resistência	35Ω	
Roda de reação		
Máximo momento armazenado	40mNms	

Velocidade máxima da roda	± 8000rpm	
Torque máximo	2.0mNm	
Potência média	TBD	