**CXP – Programa Caixa Preta (06/04/2020)**

Versão 1.0, 14/04/2020

São duas as opções principais: Operação e Teste.

**Operação**: Ao ligar, entra normalmente em operação. Permite escolher um tipo de Operação para a Caixa Preta.

**Teste**: Entra em Teste se ligar a Caixa Preta com a tecla SEL acionada. Permite escolher rotinas para testar os diversos dispositivos da Caixa Preta e fazer novos ensaios.

----------------------- Distribuição da SRAM de 256 KB ---------------------------------

SRAM = 256 KB = 262.144

Mensagem GPS = 128 Bytes

Mensagem MPU = 18 bytes

Configuração = 416 bytes

Qtd msg MPU = 12.720 🡪 12.720 \* 18 = 228.960 Bytes (127,2 segundos)

Qtd msg GPS = 256 🡪 256 \* 128 = 32.768 Bytes (256 segundos)

262.144 – (256+32.768 + 228.960) = 160 bytes sobrando

Mapa da SRAM:

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Finalidade** | **Faixa Hexa** | **Bytes** | **Qtd msg** | **Tempo** |
| MPU | 0 0000 🡪 3 7E5F | 228.960 | 12.720 | 127 seg |
| Configuração | 3 7E60 🡪 3 7FFF | 416 | - | - |
| GPS | 3 8000 🡪 3 FFFF | 32.768 | 256 | 256 seg |

#define MPU\_ADR\_INI 0x00000L

#define MPU\_ADR\_FIM 0x37E60L

#define CXP\_ADR\_INI 0x37E60L

#define CXP\_ADR\_FIM 0x38000L

#define GPS\_ADR\_INI 0x38000L

#define GPS\_ADR\_FIM 0x40000L

**CALIBRAÇÃO DE FÁBRICA (CF)**

É armazenada na EEPROM = 4 KB = 4.069 do processador AVR

Por **Calibração de Fábrica** se entendem parâmetros importantes para o funcionamento e que o usuário não vai alterar.

Uma calibração importante é a do erro intrínseco do MPU. Vamos deixá-lo ligado por um longo tempo (10 minutos) em um local estável, perfeitamente na horizontal, e depois fazer 1024 medidas espaçadas de acordo com a frequência da amostragem, calcular o erro intrínseco de cada eixo. Será importante armazenar o local onde foi feita a calibração e a aceleração da gravidade neste local.

Tabela na EEPROM com os dados da Calibração de Fábrica

(Todas strings são terminadas com zero ‘\0’)

(Valores de 16 ou 32 bits, grava-se primeiro o MSB “Big Endian”)

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Bytes** | **Tipo** | **Exemplo** | **Nome** | **Descrição** |
|  |  |  |  | **Local e aceleração da gravidade** |
| 2 | char | SS | CF\_OK | SS = já fez calibração, do contrário não |
| 14 | string | dd/mm/aa | CF\_DATA | Data da configuração |
| 32 | string | Brasilia | CF\_LOCAL | Local da configuração |
| 16 | string | 9,80665 | CFG\_PADRAO | Ac. da gravidade padrão (1g) |
| 16 | string | 9,7808439 | CFG\_LOCAL | Ac. da gravidade (m/s2) no local da configuração |
| 2 | 16 bits | 0x3FFF | CFG\_PADRAO\_BIN | Ac. da gravidade padrão na escala de +/- 2g do MPU |
| 2 | 16 bits | 0x3FD5 | CFG\_LOCAL\_BIN | Ac. da gravidade local na escala de +/- 2g do MPU |
| 2 | 16 bits | 0x75 | CF\_WHO | Resposta ao Who am I |
| 2 | 16 bits | 100 | CF\_FA | Freq de amostragem usada na calibração |
| - | - | - | - | **Médias** |
| 2 | 16 bits |  | CF\_AX | Erro do eixo ax (média) |
| 2 | 16 bits |  | CF\_AY | Erro do eixo ay (média) |
| 2 | 16 bits |  | CF\_AZ | Erro do eixo az (média) – descontado g local |
| 2 | 16 bits |  | CF\_TP | Temperatura média durante o cálculo |
| 2 | 16 bits |  | CF\_GX | Erro do eixo gx (média) |
| 2 | 16 bits |  | CF\_GY | Erro do eixo gy (média) |
| 2 | 16 bits |  | CF\_GZ | Erro do eixo gz (média) |
| - | - | - | - | **Somatórios** |
| 2 | 16 bits |  | CF\_QTD | Quantidade de medidas para calcular a média |
| 4 | 32 bits |  | CF\_AX\_SOMA | Somatório no eixo ax |
| 4 | 32 bits |  | CF\_AY\_SOMA | Somatório no eixo ay |
| 4 | 32 bits |  | CF\_AZ\_SOMA | Somatório no eixo az |
| 4 | 32 bits |  | CF\_TP\_SOMA | Somatório das temperaturas |
| 4 | 32 bits |  | CF\_GX\_SOMA | Somatório no eixo gx |
| 4 | 32 bits |  | CF\_GY\_SOMA | Somatório no eixo gy |
| 4 | 32 bits |  | CF\_GZ\_SOMA | Somatório no eixo gz |
| - | - | - | - | **Primeira e última medidas** |
| 2 | 16 bits |  | CF\_AX\_PRI | Primeira medida no eixo ax |
| 2 | 16 bits |  | CF\_AY\_PRI | Primeira medida no eixo ax |
| 2 | 16 bits |  | CF\_AZ\_ PRI | Primeira medida no eixo ax |
| 2 | 16 bits |  | CF\_TP\_ PRI | Primeira medida de temperatura |
| 2 | 16 bits |  | CF\_GX\_ PRI | Primeira medida no eixo ax |
| 2 | 16 bits |  | CF\_GY\_ PRI | Primeira medida no eixo ax |
| 2 | 16 bits |  | CF\_GZ\_ PRI | Primeira medida no eixo ax |
|  |  |  |  |  |
| 2 | 16 bits |  | CF\_AX\_ULT | Última medida no eixo ax |
| 2 | 16 bits |  | CF\_AY\_ULT | Última medida no eixo ax |
| 2 | 16 bits |  | CF\_AZ\_ ULT | Última medida no eixo ax |
| 2 | 16 bits |  | CF\_TP\_ ULT | Última medida de temperatura |
| 2 | 16 bits |  | CF\_GX\_ ULT | Última medida no eixo ax |
| 2 | 16 bits |  | CF\_GY\_ ULT | Última medida no eixo ax |
| 2 | 16 bits |  | CF\_GZ\_ ULT | Última medida no eixo ax |
| - | - | - | - | **Self Test** |
| 2 | 16 bits |  | CF\_ST\_OK | Passou no Self-test? (TRUE=OK e FALSE=NOK) |
| 2 | 16 bits |  | CF\_ST\_OFF\_AX | Leitura do eixo ax com Self Test desligado |
| 2 | 16 bits |  | CF\_ST\_OFF\_AY | Leitura do eixo ay com Self Test desligado |
| 2 | 16 bits |  | CF\_ST\_OFF\_AZ | Leitura do eixo az com Self Test desligado |
| 2 | 16 bits |  | CF\_ST\_OFF\_GX | Leitura do eixo gx com Self Test desligado |
| 2 | 16 bits |  | CF\_ST\_OFF\_GY | Leitura do eixo gy com Self Test desligado |
| 2 | 16 bits |  | CF\_ST\_OFF\_GZ | Leitura do eixo gz com Self Test desligado |
|  |  |  |  |  |
| 2 | 16 bits |  | CF\_ST\_ON\_AX | Leitura do eixo ax com Self Test ligado |
| 2 | 16 bits |  | CF\_ST\_ON\_AY | Leitura do eixo ay com Self Test ligado |
| 2 | 16 bits |  | CF\_ST\_ON\_AZ | Leitura do eixo az com Self Test ligado |
| 2 | 16 bits |  | CF\_ST\_ON\_GX | Leitura do eixo gx com Self Test ligado |
| 2 | 16 bits |  | CF\_ST\_ON\_GY | Leitura do eixo gy com Self Test ligado |
| 2 | 16 bits |  | CF\_ST\_ON\_GZ | Leitura do eixo gz com Self Test ligado |
|  |  |  |  |  |
| 2 | 16 bits |  | CF\_ST\_REG\_AX | Leitura do Reg de Self Test para ax (8 bits) |
| 2 | 16 bits |  | CF\_ST\_REG\_AY | Leitura do Reg de Self Test para ay (8 bits) |
| 2 | 16 bits |  | CF\_ST\_REG\_AZ | Leitura do Reg de Self Test para az (8 bits) |
| 2 | 16 bits |  | CF\_ST\_REG\_GX | Leitura do Reg de Self Test para gx (8 bits) |
| 2 | 16 bits |  | CF\_ST\_REG\_GY | Leitura do Reg de Self Test para gy (8 bits) |
| 2 | 16 bits |  | CF\_ST\_REG\_GZ | Leitura do Reg de Self Test para gz (8 bits) |
|  |  |  |  |  |
| 2 | 16 bits |  | CF\_ST\_TOL\_AX | Resultado calibração ax, tolerância de 14% |
| 2 | 16 bits |  | CF\_ST\_ TOL \_AY | Resultado calibração ay, tolerância de 14% |
| 2 | 16 bits |  | CF\_ST\_ TOL \_AZ | Resultado calibração az, tolerância de 14% |
| 2 | 16 bits |  | CF\_ST\_ TOL \_GX | Resultado calibração gx, tolerância de 14% |
| 2 | 16 bits |  | CF\_ST\_ TOL \_GY | Resultado calibração gy, tolerância de 14% |
| 2 | 16 bits |  | CF\_ST\_ TOL \_GZ | Resultado calibração gz, tolerância de 14% |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |

Note que as medidas CF\_ST\_REG\_AX, ..., CF\_ST\_REG\_GZ só precisam de 8 bits, mas foram reservados 16 bits para facilitar a leitura e o mapa.

As temperaturas inicial e final permitem ver se houve grande variação de temperatura durante a calibração

**CALIBRAÇÃO AO LIGAR O CARRO**

Toda vez que o carro for ligado, é executada a chamada “Calibração ao ligar o carro”. Ela será guardada na SRAM e copiada para a Flash em caso de acidente. Na SRAM (ou Flash) ocupa o bloco de 416 bytes (0x3 7E60 🡪 0x3 7FFF). Este bloco é marcado com as constantes:

#define CXP\_ADR\_INI 0x37E60L //Início área de config da Caixa Preta (sobram 416 bytes)

#define CXP\_ADR\_FIM 0x38000L //Fim área de conficuração da Caixa Preta

Para simplificar os acessos, os dados gravados nesta área são de 16 bits, 32 bits ou strings terminadas em zero. Mesmo quando a informação é de apenas um byte, usam-se 2 bytes. As duas constantes abaixo padronizam em 16 bits as possibilidades de sim ou não.

#define COD\_SIM 0x5353 //2x ASCII(S) Afirmativo

#define COD\_NAO 0x4E4E //2x ASCII(N) Negativo

Tabela 1. Parâmetros do Setor de Configuração e operação (SRAM e FLASH).

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Offset** | **Bytes** | **Tipo** | **Exemp** | **Nome** | **Descrição** |
| 0 | 2 | 16 bits | NN | OP\_BATEU | (NN) 🡪 pronta, (SS) 🡪 acidentada |
| 2 | 2 | 16 bits | SS | OP\_ST\_OK | Self-Test: (SS) 🡪 OK, (NN) 🡪 NOK |
| 2 | 2 | 16 bits | SS | OP\_CF\_OK | Calib de Fabr: (SS) 🡪 OK, (NN) 🡪 NOK |
| - | - |  |  |  | **Acel e Giro - Calibra ao ligar** |
| 4 | 2 | 16 bits |  | OPC\_QTD\_AG | Qtd de medidas para a média |
| 6 | 2 | 16 bits |  | OPC\_ESC\_AC | MSB=escala acel e LSB=escala giro |
| 6 | 2 | 16 bits |  | OPC\_ESC\_GI | MSB=escala acel e LSB=escala giro |
| 8 | 2 | 16 bits |  | OPC\_AX | Média AX |
| 10 | 2 | 16 bits |  | OPC\_AY | Média AY |
| 12 | 2 | 16 bits |  | OPC\_AZ | Média AZ |
| 14 | 2 | 16 bits |  | OPC\_TP | Média TP |
| 16 | 2 | 16 bits |  | OPC\_GX | Média GX |
| 18 | 2 | 16 bits |  | OPC\_GY | Média GY |
| 20 | 2 | 16 bits |  | OPC\_GZ | Média GZ |
| - | - |  |  |  | **Magnet - Calibra ao ligar** |
| 22 | 2 | 16 bits |  | OPC\_QTD\_MG | Qtd de medidas para a média |
| 24 | 2 | 16 bits |  | OPC\_ESC\_MG | Escala do magnetômetro |
| 26 | 2 | 16 bits |  | OPC\_HX | Média HX |
| 28 | 2 | 16 bits |  | OPC\_HY | Média HY |
| 30 | 2 | 16 bits |  | OPC\_HZ | Média HZ |
| - | - |  |  |  | **Acel, Giro e Mag - Operação** |
| 32 | 2 | 16 bits |  | OP\_FREQ\_AG | Operação: Freq de amostragem |
| 32 | 2 | 16 bits |  | OP\_ESC\_AC | Operação: Escala Acelerômetro |
| 34 | 2 | 16 bits |  | OP\_ESC\_GI | Operação: Escala Giroscópio |
| 36 | 2 | 16 bits |  | OP\_ESC\_MG | Operação: Escala Magnetômetro |
| 38 | 2 | 16 bits |  | OP\_LIM\_AX | Limiar disparo AX (valor absoluto) |
| 40 | 2 | 16 bits |  | OP\_LIM\_AY | Limiar disparo AY (valor absoluto) |
| 44 | 2 | 16 bits |  | OP\_LIM\_AZ | Limiar disparo AZ (valor absoluto) |
| 46 | 2 | 16 bits |  | OP\_LIM\_GX | Limiar disparo GX (valor absoluto) |
| 48 | 2 | 16 bits |  | OP\_LIM\_GY | Limiar disparo GY (valor absoluto) |
| 50 | 2 | 16 bits |  | OP\_LIM\_GZ | Limiar disparo GZ (valor absoluto) |
| - | - |  |  |  | **Quem Disparou ?** |
| 52 | 4 | 32 bits |  | OP\_MPU\_ADR | Endereço MPU na SRAM do disparo |
| 52 | 4 | 32 bits |  | OP\_GPS\_ADR | Endereço GPS na SRAM do disparo |
| 52 | 2 | 16 bits | NN | OP\_DISP\_AX | AX Disparou (SS = sim, NN = não) |
| 54 | 2 | 16 bits | NN | OP\_DISP\_AY | AY Disparou (SS = sim, NN = não) |
| 56 | 2 | 16 bits | NN | OP\_DISP\_AZ | AZ Disparou (SS = sim, NN = não) |
| 58 | 2 | 16 bits | NN | OP\_DISP\_GX | GX Disparou (SS = sim, NN = não) |
| 60 | 2 | 16 bits | NN | OP\_DISP\_GY | GY Disparou (SS = sim, NN = não) |
| 62 | 2 | 16 bits | NN | OP\_DISP\_GZ | GZ Disparou (SS = sim, NN = não) |
| - | - |  |  |  | **Data e Hora acidente (gps\_dados)** |
| 64 | 8 | String |  | OP\_AC\_DATA | Data do acidente: ddmmyy0 |
| 72 | 12 | String |  | OP\_AC\_HORA | Hora do acidente: hhmmss.sss0 |
| 84 | 73 | Char |  |  | 0xFF |
| ... | ... | Char |  |  | 0xFF |
| 415 | 415 | Char |  |  | 0xFF |

Sugestão para comunicação com a Caixa Preta (ainda por fazer)

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Cmdo.** | **Param.** | **Descrição** |
| ? | - | Enviar configuração. |
| I | - | Inverter estado acidentado  (T 🡪 F ou de F🡪T) |
| R | - | Zerar toda a Flash |
| L | - | Ler toda a memória |
| X | n | Limiar acelerômetro eixo X |
| Y | n | Limiar acelerômetro eixo Y |
| Z | n | Limiar acelerômetro eixo Z |
| x | n | Limiar giroscópio eixo X |
| y | n | Limiar giroscópio eixo Y |
| z | n | Limiar giroscópio eixo Z |
|  |  |  |

Funções

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| void | setup | (void) |
| void | loop | (void) |
| byte | sel\_modo | (char \*msg[], byte total) |
|  |  |  |
|  |  |  |

* void **setup** (void)
* void **loop** (void)
* byte **sel\_modo** (char \*msg[], byte total)

Retorna o número da opção selecionada. Recebe um vetor de ponteiros para as mensagens de cada opção e o total de opções. É usada para selecionar o modo de Operação e o tipo de Teste.

**Defs.h**

// TESTE

#define TESTE\_TOT 17 //Modos de teste: 1, 2 , ..., 17

#define TESTE\_0 0 //Não tem

#define TESTE\_1 1 //LEDs

#define TESTE\_2 2 //LCD

#define TESTE\_3 3 //Teclado

#define TESTE\_4 4 //TWI

#define TESTE\_5 5 //Acel e giro

#define TESTE\_6 6 //Magnetometro

#define TESTE\_7 7 //SRAM

#define TESTE\_8 8 //FLAH

#define TESTE\_9 9 //GPS Tudo

#define TESTE\_10 10 //GPS RMC GSA

#define TESTE\_11 11 //GPS U-Center

#define TESTE\_12 12 //MPU-->Matlab

#define TESTE\_13 13 //BlueTooth

#define TESTE\_14 14 //Livre

#define TESTE\_15 15 //Livre

#define TESTE\_16 16 //Livre

#define TESTE\_17 17 //Livre

// OPERA

#define OPERA\_TOT 7 //Modos de teste: 1, 2 , ..., 7

#define OPERA\_0 0 //Não tem

#define OPERA\_1 1 //Livre

#define OPERA\_2 2 //Livre

#define OPERA\_3 3 //Livre

#define OPERA\_4 4 //Livre

#define OPERA\_5 5 //Livre

#define OPERA\_6 6 //Livre

#define OPERA\_7 7 //Livre

**Globs.h**

// TESTE - Mensagens do modo de teste

char \*teste\_msg[]={ "ERRO", //0

"1-LEDs", //1

"2-LCD", //2

"3-Teclado", //3

"4-TWI (I2C)", //4

"5-Acel e giro", //5

"6-Magnetometro", //6

"7-SRAM", //7

"8-FLASH", //8

"9-GPS: Tudo", //9

"10-GPS: RMC GSA", //10

"11-GPS:U-Center", //11

"12-MPU-->MatLab", //12

"13-Blue Tooth", //13

"14-Vazio", //14

"15-Vazio", //15

"16-Vazio", //16

"17-Vazio"}; //17

// OPERA - Mensagens do modo de Operação

char \*opera\_msg[]={ "ERRO", //0

"1-Vazio", //1

"2-Vazio", //2

"3-vazio", //3

"4-Vazio", //4

"5-Vazio", //5

"6-Vazio", //6

"7-Vazio"}; //7

**CXP**

// Selecionar o modo

// Serve selecionar modo de Operação

// Serve selecionar modo de Teste

// A linha 0 é preparada por quem chama

// Usa as linhas 1, 2 e 3

byte sel\_modo(char \*msg[], byte total){

byte prov=total; //provisório = 1, 2, ..., OPERA\_TOT

byte tecla,aux;

while(TRUE){

lcdbx\_apaga\_lin(1);

lcdbx\_apaga\_lin(2);

lcdbx\_apaga\_lin(3);

lcdbx\_str(2,0,"-->");

aux=prov;

lcdbx\_str(1,3,msg[aux++]);

if (aux>total) aux=1;

lcdbx\_str(2,3,msg[aux]);

ser\_str(msg[aux++]); ser\_crlf(1);

if (aux>total) aux=1;

lcdbx\_str(3,3,msg[aux]);

//Esperar tecla

while ( sw\_tira(&tecla) == FALSE);

switch(tecla){

case SW\_SUP: prov--; break;

case SW\_INF: prov++; break;

case SW\_SEL: if (++prov>TESTE\_TOT) prov=1;

return prov;

}

if (prov>total) prov=1;

if (prov==0) prov=total;

}

}

**Ideias sobre o projeto Caixa Preta**

1g = 9,80665 m/s2.

(INMETRO) Aceleração da gravida em Brasília (15°45'43.2"S 47°52'25.3"W) = 9,7808439 m/s2.

<https://www.researchgate.net/publication/282913685_Determinacao_Experimental_da_Aceleracao_da_Gravidade_com_Pendulo_Simples_e_Cameras_Digitais>

Em Brasília estamos com 9,7808439/9,80665 = 99,7369%.

Com MPU na escala de +/- 2g, deveríamos ler: (32.768/2)\*0,997369 = 16.341 = 0x3FD5.