

Protocolo de ligação de dados

**Redes de Computadores**

**Mestrado Integrado de Engenharia Informática e Computação**

10 de novembro de 2020

Daniel Garcia Silva, up201806524@fe.up.pt

Mariana Truta, up201806543@fe.up.pt

3ºano, Turma 3, Grupo 5

Índice

[Sumário 2](#_Toc55951037)

[Introdução 2](#_Toc55951038)

[Arquitetura e Estrutura do Código 3](#_Toc55951039)

[protocol 3](#_Toc55951040)

[stateMachines 3](#_Toc55951041)

[appSender 4](#_Toc55951042)

[appReceiver 4](#_Toc55951043)

[datalink 4](#_Toc55951044)

[Casos de uso principais 5](#_Toc55951045)

[Protocolo de Ligação Lógica 5](#_Toc55951046)

[int llwrite(int fd, char \*buffer, int length) 6](#_Toc55951047)

[int llread(int fd, char \*buffer) 6](#_Toc55951048)

[int llclose(int fd, int status) 6](#_Toc55951049)

[Protocolo da Aplicação 7](#_Toc55951050)

[Validação 8](#_Toc55951051)

[Eficiência 8](#_Toc55951052)

[Conclusão 8](#_Toc55951053)

[Anexo 1 – Código Fonte 9](#_Toc55951054)

# Sumário

No âmbito da unidade curricular de *Redes de Computadores*, foi elaborado um projeto que consistia no desenvolvimento de um *software* que permitisse a **transferência** de ficheiros de um computador para o outro, estando estes ligados por um **cabo série**.

Ao longo deste relatório, será explicado como foram **cumpridos** todos os objetivos do projeto, tendo sido concluída uma aplicação **funcional** e sem **perdas de dados**.

# Introdução

Este primeiro projeto tinha dois grandes objetivos: implementar um **protocolo de ligação de dados**, especificado no guião fornecido pelos docentes, e testá-lo com uma **aplicação** simples de transferência de ficheiros. Relativamente ao ambiente de desenvolvimento, o trabalho foi realizado em LINUX, utilizando a linguagem de programação C e portas série RS-232 cuja comunicação é assíncrona.

Neste relatório, pretende-se tornar claro como foi possível a elaboração de um **serviço de comunicação fiável** entre dois computadores por via de uma porta de série assíncrona, apresentando detalhes de toda a **teoria** utilizada. Este relatório está estruturado da seguinte forma:

* **Arquitetura e estrutura de código:** descriçãodosblocos funcionais e interfaces implementadas e apresentação das *APIs*, principais estruturas de dados e funções;
* **Casos de uso principais:** identificação dos casos de uso e sequências de chamadas de funções;
* **Protocolo de ligação de dados:** identificação dos principais aspetos funcionais bem como a descrição da estratégia de implementação dos mesmos, sendo complementada com a apresentação de extratos de código;
* **Protocolo de aplicação:** identificação dos principais aspetos funcionais bem como a descrição da estratégia de implementação dos mesmos, sendo complementada com a apresentação de extratos de código;
* **Validação:** descrição dos testes efetuados com apresentação quantificada dos resultados;
* **Eficiência de protocolo de ligação de dados:** caraterização estatística da eficiência do protocolo, recorrendo a medidas sobre o código desenvolvido;
* **Conclusão:** síntese da informação apresentada nas secções anteriores; reflexão sobre os objetivos de aprendizagem alcançados.

# Arquitetura e Estrutura do Código

O projeto está dividido em duas camadas muito bem definidas: a camada de **protocolo de ligação de dados** e a camada da **aplicação**.

O objetivo do **protocolo de ligação de dados** é fornecer um serviço de comunicação de dados **fiável** entre dois sistemas ligados por um **cabo série**. Esta camada contem, assim, todas as funções necessárias para a **abertura**, **fecho**, **escrita** e **leitura** da porta de série. Para além disso, tem também a seu encargo o controlo de **erros** e **fluxo** e o *stuffing*/*destuffing* de pacotes. Todas estas funcionalidades são asseguradas pelas seguintes funções:

## protocol.c

* ***alarmSenderHandler***/***alarmReceiverHandler*** – são chamadas quando o tempo do alarme do emissor ou do recetor, respetivamente, se esgota;
* ***SandWOpenClose*** - envia uma mensagem com o comando *send* e o endereço *sendAddress* e espera por uma resposta com o comando *receive* e o endereço *recAddress*, usando um mecanismo de *Stop&Wait;*
* ***sendOpenCloseFrame*** – cria e envia uma trama de acordo com o comando (*SET, DISC* ou *UA*) e o endereço passados como argumentos;
* ***sendAckFrame*** - cria e envia uma trama de rejeição ou de aceitação;
* ***receiveOpenCloseFrame*** - lê a mensagem recebida (*SET*, *DISC* ou *UA*) e chama a função *changeStateS* que irá interpretar o byte e mudar de estado de acordo com o mesmo;
* ***receiveAckFrame*** - lê uma trama ACK, chama a função que verifica se é válida ou não, *changeStateAck*, e retorna 1, caso tenha sido rejeitada, ou 0, se for válida;
* ***sendInfoFrame*** - cria e envia uma trama *I* com os dados em *info*, acrescentando a quantidade necessária de *0x00* até ser atingido o valor *IFRAME\_SIZE – 2* e garantindo assim que a *frame* tem sempre um tamanho fixo;
* ***receiveInfoFrame*** - é responsável por ler uma trama *I*, guardando o pacote de controlo ou de dados em *info*, após o *byte destuffing.* O seu valor de retorno depende se a trama foi ignorada, rejeitada ou aceite pela máquina de estados, *changeStateInfo,*ou se o tempo do alarme esgotou.

## stateMachines.c

* ***changeStateS*** - verifica se o byte recebido é o esperado e age de acordo com o mesmo, atualizando o estado atual da trama *SET*, *DISC* ou *UA*;
* ***changeStateInfo*** - verifica se o byte recebido é o esperado e age de acordo com o mesmo, atualizando o estado atual da trama *I*;
* ***changeStateAck*** - verifica se o byte recebido é o esperado e age de acordo com o mesmo, atualizando o estado atual da trama *REJ ou RR*.

Em relação à camada da **aplicação**, estaestá situada acima da camada de ligação de dados, sendo responsável pelo **envio** e **receção** de ficheiros. Tem de permitir enviar e identificar os **pacotes de controlo** bem como **dividir** o ficheiro em vários pacotes, no caso do emissor, ou **concatenar** e **interpretar** toda a informação recebida, no caso do recetor. Nesta camada, as funções principais são:

## appSender.c

* ***main*** -é responsável pela escrita de um ficheiro, sendo o *path* fornecido pelo utilizador.
* ***makeControlPacket*** – cria um pacote de controlo com o campo de controlo *START* ou *END* e com o tamanho e nome do ficheiro passados como argumentos;
* ***makeDataPacket*** - cria um pacote de dados com o número de sequência *N* e os dados *info*.

## appReceiver.c

* ***main*** – é responsável pela leitura de um ficheiro, sendo guardado em *“./images/ToReceive”*;
* ***parseInfo*** - encaminha o pacote de dados para função respetiva, tendo em conta

o seu primeiro byte (*START\_BYTE*, *DATA\_BYTE* e *END\_BYTE*);

* ***parseControlPacket*** - interpreta a informação guardada na *info*, armazenando o nome e o tamanho do ficheiro que irá ser recebido na *struct File*;
* ***checkControlPacket*** - verifica se o pacote de controlo de finalização contém a mesma informação que o pacote de controlo que sinalizou o inicio da transmissão, diferenciando apenas no campo de controlo;
* ***parseDataPacket*** - guarda os dados do ficheiro no campo *data* da *struct File*.

## datalink.c

Neste ficheiro, está contida a **interface Protocolo-Aplicação** que se resume essencialmente a quatro funções que serão descritas pormenorizadamente mais à frente: *llopen*, *llwrite*, *llread* e *llclose*. Estas funções facilitam a **comunicação** entre a camada da aplicação e a camada de ligação de dados, permitindo assim que a arquitetura cumpra o **principio de independência entre camadas**, isto é, nenhuma camada conhece os detalhes da outra.

Para facilitar o armazenamento de informação, foram utilizadas algumas **estruturas de dados definidas** em *dataStructures*.h: *enum* *State* e *enum* *AckState* que permitem guardar o estado atual da respetiva trama, *enum* *Command* que possibilita definir o tipo de comando e a *struct File* que armazena a informação necessária para a escrita do novo ficheiro. Para além disso, em

macros.h, encontram-se todas as **macros** necessárias ao longo do projeto.

# Casos de uso principais

Inicialmente, é necessário **compilar** o programa, executando o comando *make* na pasta *src.* De seguida, é necessário executar *“./sender <porta> <path do ficheiro a enviar>”*, no caso do **emissor**, e *“./receiver <porta>”,* no caso do **recetor**. A porta de série tem de estar no formato *“/dev/ttySX”* sendo X o número da mesma.

A **transmissão**/**receção** dos dados é feita pela seguinte ordem:

|  |  |
| --- | --- |
| no caso do **emissor**,   1. **Estabelecimento** da ligação entre o emissor e recetor na função *llopen*; 2. **Criação** do pacote de controlo *START* e o seu **envio** com *llwrite*; 3. **Criação** de pacotes de dados com os dados do ficheiro e o seu **envio** em *llwrite*; 4. **Criação** do pacote de controlo *END* e o seu **envio** em *llwrite*; 5. **Terminação** da ligação entre o emissor e o recetor na função *llclose.* | no caso do **recetor**,   1. **Estabelecimento** da ligação entre o emissor e recetor na função *llopen*; 2. **Receção** e **análise** do pacote de controlo *START*, enviando uma **resposta**, com auxilio da função *llread*; 3. **Receção** e **análise** dos pacotes de dados, enviando uma **resposta**, com auxilio da função *llread*; 4. **Receção** e **análise** do pacote de controlo *END*, com auxilio da função *llread*; 5. **Escrita** dos dados recebidos num ficheiro com o mesmo nome do ficheiro enviado pelo emissor*;* 6. **Terminação** da ligação entre o emissor e o recetor na função *llclose.* |

# Protocolo de Ligação Lógica

O **protocolo de ligação lógica** é responsável por várias funcionalidades. Como a *API*  da porta de série tem ao seu encargo a **receção** dos dados da camada da aplicação e **estabelecimento** da ligação entre esta e a camada de ligação de dados, é conveniente explicar detalhadamente como é que as funções *llopen*, *llwrite*, *llread* e *llclose* se relacionam com o **protocolo da ligação lógica**. Estas utilizam o mecanismo de ***Stop&Wait***, isto é, envia-se um pacote de cada vez, esperando por uma resposta até se poder enviar outro. Se esta resposta não chegar, demorar a chegar (máximo 3 segundos) ou for uma resposta de erro, é iniciada uma nova **retransmissão** da mensagem enviada até ao limite de 3 retransmissões.

[***int llopen(int port, int status)***](#llopen)

**Estabelece** a ligação entre o emissor e o recetor e **abre** a porta de série.

É responsável por **enviar** uma mensagem *SET* e **esperar** por uma mensagem *UA,* no caso do **emissor**. Esta ação é realizada pela função [*SandWOpenClose*](#SandWOpenClose) da camada de ligação de dados. Por sua vez, no caso do **recetor**, é chamada a função [*receiveOpenCloseFrame*](#receiveOpenCloseFrame) que irá **receber** a mensagem *SET* e posteriormente **envia** uma mensagem *UA* com o auxilio da função [*sendOpenCloseFrame*](#sendOpenCloseFrame).

## [int llwrite(int fd, char \*buffer, int length)](#llwrite)

Esta função **recebe** um buffer que será enviado para a função [*sendInfoFrame*](#sendInfoFrame), onde será **criada** uma **trama de informação** com este *buffer*, após o *byte stuffing* do mesmo, e **enviada** para o recetor. De seguida, **espera** por uma mensagem *ACK*. Se o pacote tiver sido **rejeitado**, é **retransmitido**. Se tiver sido **aceite**, a transmissão do ficheiro **continuará**.

## [int llread(int fd, char \*buffer)](#llread)

Esta função chama [*receiveInfoFrame*](#receiveInfoFrame) que irá **esperar** por uma trama I, analisando o conteúdo do seu cabeçalho à procura de qualquer erro. Posteriormente, é **enviado** um comando *REJ* ***/*** *RR* na função [*sendAckFrame*](#sendAckFrame) caso a trama tenha sido **rejeitada** ou **aceite**, respetivamente. A trama só é rejeitada caso não seja um duplicado e tenha sido detetado um erro no campo de dados pelo respetivo *BCC*.

## [int llclose(int fd, int status)](#llclose)

**Termina** a ligação entre o emissor e o recetor.

O emissor chama a função [*SandWOpenClose*](#SandWOpenClose) que **envia** o comando *DISC* e **espera** pela receção do comando *DISC* enviado pelo recetor. Termina com o **envio** do comando *UA* com o auxílio da função [*sendOpenCloseFrame*](#sendOpenCloseFrame). Por outro lado, o recetor, após **receber** o comando *DISC*, **envia** o comando *DISC* para o emissor na função [*receiveOpenCloseFrame*](#receiveOpenCloseFrame) e **aguarda** pela receção do comando *UA* com o auxilio da função [*SandWOpenClose*](#SandWOpenClose)*.* Em ambos os casos, é **fechada** a porta de série.

# Protocolo da Aplicação

O protocolo da aplicação tem a seu encargo os seguintes aspetos funcionais:

* **Envio de pacotes de controlo que sinalizam o inicio e o fim da transmissão pelo emissor**

Na [*main*](#mainSender) do ficheiro *appSender*, é chamada a função [*makeControlPacket*](#makeControlPacket) que **constrói** um pacote de controlo com o tamanho e o nome do ficheiro a enviar e é posteriormente enviado com o auxilio da função [*llwrite*](#llwrite).

* **Envio de pacotes de dados contendo fragmentos dos dados do ficheiro a enviar pelo emissor**

Na [*main*](#mainSender) do ficheiro *appSender*, são lidos **fragmentos** com tamanho *MAX\_K* do ficheiro até se chegar ao fim do mesmo. A cada fragmento é acrescentado um cabeçalho em [*makeDataPacket*](#makeDataPacket) com o seu **tamanho** e o número de **sequencia** *sequenceN*, sendo posteriormente **enviado** com o auxilio de [*llwrite*](#llwrite).

* **Leitura de pacotes de controlo e de dados pelo recetor**

Na [*main*](#mainReceiver) do ficheiro *appReceiver*, quando se **recebe** um pacote, é analisado o seu primeiro byte na função [*parseInfo*](#parseInfo) e a informação recebida é passada à função respetiva de acordo com esse mesmo byte: no caso de ser o *START\_BYTE*, é chamada a função [*parseControlPacket*](#parseControlPacket) que é responsável por preencher os campos do **tamanho** e **nome** do ficheiro na *struct File* bem como guardar todo o pacote recebido no campo *controlPacket* para futura comparação com o pacote de terminação; no caso de ser o *DATA\_BYTE*, o pacote segue para a função [*parseDataPacket*](#parseDataPacket), onde serão guardados os **dados** no campo *data* da *struct File*; no caso de ser o END\_BYTE, é chamada a função [*checkControlPacket*](#checkControlPacket) tem a seu cargo a **comparação** deste pacote com o pacote que sinalizou o inicio da transmissão. O número de sequência do pacote de dados é armazenado na variável estática *N*.

* **Criação do ficheiro recebido no recetor**

Na [*main*](#mainReceiver) do ficheiro *appReceiver*, após a receção de todos os pacotes, é realizada a **criação** e **escrita** do ficheiro recebido com o tamanho e nome enviados, sendo este guardado na pasta *“./imagesToReceive/”*.

# Validação

O programa foi capaz de transmitir uma imagem de 10 968 bytes e outra de 3 309 702 bytes, com e sem interrupção da porta de série, variando o BAUDRATE (entre 2400 e 38400) e o tamanho da trama I (entre 128 e 8192 bytes).

# Eficiência

Usando uma trama de tamanho 512 bytes, o ficheiro pinguim.gif precisou de 47 packets para ser transferido, ou seja, 192 512 bits foram transferidos. Variando o BAUDRATE, e com uma FER de 5,91% (a probabilidade de erro no cabeçalho e no campo de dados é de 3% em ambos os casos), obtiveram-se os seguintes valores:

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| BAUDRATE | Tempo(s) | R(Bits/s) | S REAL (R/C) |
| 2400 | 104,103 | 1849,246 | 0,770519163 |
| 4800 | 60,85397 | 3163,508 | 0,659064095 |
| 9600 | 35,89102 | 5363,793 | 0,558728432 |
| 19200 | 15,64255 | 12306,94 | 0,64098671 |
| 38400 | 6,72748 | 28615,77 | 0,745202265 |
| 57600 | 13,39685 | 14369,95 | 0,249478215 |
| 115200 | 20,38437 | 9444,099 | 0,081980022 |

Como se pode ver pelo gráfico do Anexo 2, para um tamanho de trama I de 512 bytes, a maior eficiência é observada com o BAUDRATE de 2400 bits/s, decrescendo a partir daí até ao BAUDRATE de 9600, para voltar crescer até a sensivelmente o mesmo valor (cerca de 75%) com um BAUDRATE de 38400, para voltar a decrescer, agora mais acentuadamente, com o aumento do mesmo.

# Conclusão

A implementação deste programa permitiu uma melhor aprendizagem dos conceitos que aplicámos, nomeadamente:

* O protocolo de ligação de dados, neste caso, *Stop&Wait*, bem como a noção de transparência, através do *byte stuffing*;
* A independência entre camadas, de ligação e de aplicação, e a sua interface, através da separação de processamento de pacotes e tramas.

A equipa gostaria ainda de referir que este trabalho prático apresentou algumas dificuldades, causadas principalmente pela dificuldade em testar o programa nos laboratórios.

# Anexo 1 – Código Fonte

### appReceiver.c

#**include** "appReceiver.h"  
  
**static** File \*file;  
**static** **int** N = 0;  
  
**int** **main**(**int** argc, **char** \*\*argv) {  
  
    **if** ((argc != 2) || ((strcmp("/dev/ttyS10", argv[1]) != 0) && (strcmp("/dev/ttyS11", argv[1]) != 0) && (strcmp("/dev/ttyS0", argv[1]) != 0) && (strcmp("/dev/ttyS1", argv[1]) != 0)))  
    {  
        printf("Usage:\t./sender <SerialPort>\n");  
        exit(1);  
    }  
  
    **int** port;  
    **if** (strcmp("/dev/ttyS10", argv[1]) == 0)  
        port = COM10;  
    **if** (strcmp("/dev/ttyS11", argv[1]) == 0)  
        port = COM11;  
    **if** (strcmp("/dev/ttyS0", argv[1]) == 0)  
        port = COM0;  
    **if** (strcmp("/dev/ttyS1", argv[1]) == 0)  
        port = COM1;  
  
    **int** fd = llopen(port, RECEIVER);  
    **if** (fd < 0)  
    {  
        printf("llopen failed\n");  
        exit(1);  
    }  
    **else**   
        printf("\nConnection established with success!\n");  
  
    printConnectionInfo();  
  
    **int** size;  
    **int** packets = 0;  
    **int** finished = FALSE;  
  
    **if** (initFile() < 0){  
        printf("Could not allocate memory for file!\n");  
        **if** (closePort(fd, RECEIVER) < 0) printf("closePort failed\n");  
        **return** -1;  
    }  
  
      
    **time\_t** t;  
    srand((**unsigned**) time(&t));  
  
    **struct** **timeval** **beginTime**, **endTime**;  
    gettimeofday(&beginTime, NULL);  
  
    printf("\nReceiving...\n");  
  
    **while** (!finished)  
    {  
        **unsigned** **char** \*info = (**unsigned** **char** \*)malloc(MAX\_PACKET\_SIZE);  
  
        **if**(info == NULL){  
            free(file->name);  
            free(file);  
            printf("Could not allocate memory for info!\n");  
            **if** (closePort(fd, RECEIVER) < 0) printf("closePort failed\n");  
            **return** -1;  
        }  
  
        size = llread(fd, info);  
  
        **if** (size < 0) {  
            free(info);  
            **continue**;  
        } **else** **if**(size == 0) {  
            printf("Timeout, closing.\n");  
            free(info);  
            freeFile();  
            **if** (closePort(fd, RECEIVER) < 0) printf("closePort failed\n");  
            **return** -1;  
        }  
  
        **int** result = parseInfo(info, size);  
          
        **if** (result == 1)  
            finished = TRUE;  
        **if** (result == -1)  
            **break**;  
  
        packets++;  
  
        free(info);  
    }  
  
    **double** elapsed = 0;  
  
    **if** (!finished){  
        printf("Data reception interrupted!\n");  
        **if** (closePort(fd, RECEIVER) < 0) printf("closePort failed\n");  
        **return** -1;  
    }  
    **else**  
    {  
        gettimeofday(&endTime, NULL);  
      
        elapsed = (endTime.tv\_sec - beginTime.tv\_sec) \* 1e6;  
        elapsed = (elapsed + (endTime.tv\_usec - beginTime.tv\_usec)) \* 1e-6;  
  
        **unsigned** **char**\* filename = (**unsigned** **char**\*)malloc(MAX\_VALUE\_SIZE);  
        sprintf(filename, "./imagesToReceive%s", file->name);  
  
        **int** fileDescriptor = open(filename, O\_RDWR | O\_CREAT, 0777);  
        **if** (fileDescriptor < 0)  
        {  
            free(filename);  
            freeFile();  
            printf("Error opening file!\n");  
            **if** (closePort(fd, RECEIVER) < 0) printf("closePort failed\n");  
            **return** -1;  
        }  
  
        **if** (write(fileDescriptor, file->data, file->size) < 0)  
        {  
            free(filename);  
            freeFile();  
            printf("Error writing to file!\n");  
            **if** (closePort(fd, RECEIVER) < 0) printf("closePort failed\n");  
            **return** -1;  
        }  
  
        **if** (close(fileDescriptor) < 0)  
        {  
            free(filename);  
            freeFile();  
            printf("Error closing file!\n");  
            **if** (closePort(fd, RECEIVER) < 0) printf("closePort failed\n");  
            **return** -1;  
        }  
  
        free(filename);  
    }  
  
    printFileInformation(file->size, file->name);  
  
    freeFile();  
  
    **if** (llclose(fd, RECEIVER) < 0)  
    {  
        printf("llclose failed\n");  
        exit(1);  
    }  
  
    printf("\nElapsed: %.5lf seconds\n", elapsed);  
  
    printf("Received %d packets.\n", packets);  
      
    **return** 0;  
}  
  
**void** **printConnectionInfo**(){  
    printf("\n======= Connection Information ======= \n");  
    printf("I Frame size: %d\n", IFRAME\_SIZE);  
    printf("Retries: %d\n", ATTEMPTS);  
    printf("Timeout: %d\n", 3);  
}  
  
**void** **printFileInformation**(**long** **int** filesize, **unsigned** **char**\* filename){  
  
    printf("\n======= File Information ======= \n");  
    printf("Name: %s\n", filename);  
    printf("Size: %ld\n\n", filesize);  
      
    fflush(stdout);  
}  
  
**int** **initFile**(){  
  
    file = malloc(**sizeof**(File));  
  
    **if**(file == NULL) **return** -1;  
      
    file->size = 0;  
    file->lastIndex = 0;  
  
    file->name = (**unsigned** **char**\*)malloc(MAX\_VALUE\_SIZE);  
    **if**(file->name == NULL){   
        free(file);  
        **return** -1;  
    }  
  
    file->controlPacket = (**unsigned** **char**\*)malloc(MAX\_PACKET\_SIZE);  
    **if**(file->controlPacket == NULL){  
        free(file->name);  
        free(file->data);  
        free(file);  
        **return** -1;  
    }  
  
    **return** 0;  
}  
  
**void** **freeFile**(){  
    free(file->data);  
    free(file->name);  
    free(file->controlPacket);  
    free(file);  
}  
  
**int** **parseInfo**(**unsigned** **char** \*info, **int** size) {  
  
    **unsigned** **char** byte = info[0];  
  
    **switch** (byte)  
    {  
    **case** START\_BYTE:  
        **if** (parseControlPacket(info, size) < 0) **return** -1;  
        **break**;  
  
    **case** DATA\_BYTE:  
        **if** (parseDataPacket(info, size) < 0){  
            freeFile();  
            **return** -1;  
        }  
        N++;  
        N %= 255;  
        **break**;  
  
    **case** END\_BYTE:  
        **if** (checkControlPacket(info, size) < 0)  
        {  
            freeFile();  
            printf("End Control Packet is not correct!\n");  
            **return** -1;  
        }  
        **return** 1;  
        **break**;  
  
    **default**:  
        **break**;  
    }  
  
    **return** 0;  
}  
  
**int** **parseControlPacket**(**unsigned** **char** \*info, **int** size) {  
    **int** i = 1;  
    **int** index = 0;  
    **int** l, j;  
  
    **while**(i < size)  
    {  
        **if** (info[i] == FILESIZE) {  
            file->controlPacket[index++] = info[i++];  
              
            file->controlPacket[index++] = info[i];  
            l = info[i++];  
            j = 0;  
  
            **unsigned** **char**\* sizeString = (**unsigned** **char**\*)malloc(l+1);  
            **if**(sizeString == NULL){  
                printf("Could not allocate memory for size!\n");  
                free(file->name);  
                free(file);  
                **return** -1;  
            }  
  
            **while** (j != l)  
            {  
                file->controlPacket[index++] = info[i];  
                sizeString[j] = info[i++];  
                j++;  
            }  
            sizeString[j] = 0;  
            file->size = atoi(sizeString);  
            free(sizeString);  
  
        } **else** **if** (info[i] == FILENAME) {  
            file->controlPacket[index++] = info[i++];  
  
            file->controlPacket[index++] = info[i];  
            l = info[i++];  
            j = 0;  
  
            **while** (j != l)  
            {  
                file->controlPacket[index++] = info[i];  
                file->name[j++] = info[i++];  
            }  
            file->name[j] = 0;  
            **break**;  
        }  
    }  
      
    **long** **int** dataSize = file->size;  
    file->data = (**unsigned** **char**\*)malloc(file->size);  
    **if**(file->data == NULL){  
        printf("Could not allocate memory for file->data!\n");  
        free(file->name);  
        free(file);  
        **return** -1;  
    }  
  
    **return** 0;  
}  
  
**int** **parseDataPacket**(**unsigned** **char** \*info, **int** size)  
{  
    **int** index = 1;  
    **unsigned** **char** byte = info[index++];  
  
    **if** (byte != N)  
    {  
        printf("Sequence number of data packet is not correct!\n");  
        **return** -1;  
    }  
  
    **int** L2 = info[index++];  
    **int** L1 = info[index++];  
  
    **int** K = 256 \* L2 + L1;  
  
    **for** (**int** i = 0; i < K; i++)  
    {  
        file->data[file->lastIndex++] = info[index++];  
    }  
    **return** 0;  
}  
  
**int** **checkControlPacket**(**unsigned** **char** \*info, **int** size) {  
    **int** i = 1;  
    **int** index = 0;  
    **int** l, j, k = 0;  
  
    **unsigned** **char**\* temp = (**unsigned** **char**\*)malloc(MAX\_PACKET\_SIZE);  
    **if** (temp == NULL) {  
        printf("Could not allocate memory for temp!\n");  
        **return** -1;  
    }  
  
    **while**(i < size)  
    {  
        **if** (info[i] == FILESIZE)  
        {  
            temp[k++] = info[i];  
            i++;  
  
            temp[k++] = info[i];  
            l = info[i++];  
            j = 0;  
  
            **while** (j != l)  
            {  
                temp[k++] = info[i++];  
  
                j++;  
            }  
        }  
        **else** **if** (info[i] == FILENAME)  
        {  
            temp[k++] = info[i];  
            i++;  
              
            temp[k++] = info[i];  
            l = info[i++];  
            j = 0;  
  
            **while** (j != l)  
            {  
                temp[k++] = info[i++];  
                j++;  
            }  
            **break**;  
        }  
    }  
  
    **while** (index < k) {  
        **if** (file->controlPacket[index] != temp[index++]) {  
            free(temp);  
            **return** -1;  
        }  
    }  
  
    free(temp);  
    **return** 0;  
}

## appReceiver.h

#**ifndef** APPRECEIVER\_H  
#**define** APPRECEIVER\_H  
  
#**pragma** once  
  
#**include** <stdio.h>  
#**include** <sys/types.h>  
#**include** <sys/stat.h>  
#**include** <sys/time.h>  
#**include** <fcntl.h>  
#**include** <termios.h>  
#**include** <stdlib.h>  
#**include** <string.h>  
#**include** <unistd.h>  
#**include** "dataLink.h"  
#**include** "macros.h"  
#**include** "dataStructures.h"  
  
/\*\*  
 \* @brief shows the connection information on the screen  
 \*   
 \*/  
**void** **printConnectionInfo**();  
  
/\*\*  
 \* @brief shows the file information on the screen  
 \*   
 \*/  
**void** **printFileInformation**(**long** **int** filesize, **unsigned** **char**\* filename);  
  
/\*\*  
 \* @brief Initializes and allocates memory for the struct File and its members  
 \*   
 \* @return 0 on success; -1 on error  
\*/  
**int** **initFile**();  
  
/\*\*  
 \* @brief Free the memory previously allocated to the struct File   
\*/  
**void** **freeFile**();  
  
/\*\*  
 \* @brief Fowards info and its size to the respective function according to info's first byte  
 \*   
 \* @param info the packet to parse  
 \* @param size the size of the packet to parse  
 \*   
 \* @return 1 if it's an end packet; 0 if it's a start or data packet; -1 on error  
\*/  
**int** **parseInfo**(**unsigned** **char** \*info, **int** size);  
  
/\*\*  
 \* @brief Parses control packet (START), storing the file's information in the struct File  
 \*   
 \* @param info the packet to parse  
 \* @param size the size of the packet to parse  
 \*   
 \* @return 0 on success; -1 on error  
\*/  
**int** **parseControlPacket**(**unsigned** **char** \*info, **int** size);  
  
/\*\*  
 \* @brief Parses data packet, storing the file's information in the struct File  
 \*   
 \* @param info the packet to parse  
 \* @param size the size of the packet to parse  
 \*   
 \* @return 0 on success; -1 on error  
\*/  
**int** **parseDataPacket**(**unsigned** **char** \*info, **int** size);  
  
/\*\*  
 \* @brief Parses control packet (END) and compares it with the initial packet stored in controlPacket of the struct File  
 \*   
 \* @param info the packet to parse  
 \* @param size the size of the packet to parse  
 \*   
 \* @return 0 on success; -1 on error  
\*/  
**int** **checkControlPacket**(**unsigned** **char** \*info, **int** size);  
  
#**endif** /\*APPRECEIVER\_H\*/

### appSender.c

#**include** "appSender.h"  
  
**int** **main**(**int** argc, **char** \*\*argv) {  
  
    **if** ((argc != 3) || ((strcmp("/dev/ttyS10", argv[1]) != 0) && (strcmp("/dev/ttyS11", argv[1]) != 0) && (strcmp("/dev/ttyS0", argv[1]) != 0) && (strcmp("/dev/ttyS1", argv[1]) != 0)))  
    {  
        printf("Usage:\t./sender <SerialPort> <path>\n");  
        exit(1);  
    }  
  
    **int** port;  
    **if** (strcmp("/dev/ttyS10", argv[1]) == 0)  
        port = COM10;  
    **if** (strcmp("/dev/ttyS11", argv[1]) == 0)  
        port = COM11;  
    **if** (strcmp("/dev/ttyS0", argv[1]) == 0)  
        port = COM0;  
    **if** (strcmp("/dev/ttyS1", argv[1]) == 0)  
        port = COM1;  
  
    **int** fd = llopen(port, SENDER);  
    **if** (fd < 0)  
    {  
        printf("llopen failed\n");  
        exit(1);  
    }  
    **else**  
    {  
        printf("\nConnection established with success!\n\n");  
    }  
  
    **unsigned** **char** \*path = argv[2];  
  
    **struct** **stat** **fileInfo**;  
    **if**(stat(path, &fileInfo) < 0){  
        printf("stat failed!\n");  
        **if** (closePort(fd, SENDER) < 0) printf("closePort failed\n");  
        **return** -1;  
    }  
  
    **struct** **timeval** **beginTime**, **endTime**;  
    gettimeofday(&beginTime, NULL);  
  
    **unsigned** **char** \*StartPacket = (**unsigned** **char** \*)malloc(MAX\_PACKET\_SIZE);  
    **if** (StartPacket == NULL)  
    {  
        printf("Could not allocate memory for StartPacket!\n");  
        **if** (closePort(fd, SENDER) < 0) printf("closePort failed\n");  
        **return** -1;  
    }  
  
    **int** packet\_size;  
  
    **unsigned** **char** \*filename = strrchr(path, '/');  
    packet\_size = makeControlPacket(START\_BYTE, fileInfo.st\_size, filename, StartPacket);  
  
    **if** (llwrite(fd, StartPacket, packet\_size) == -1)  
    {  
        free(StartPacket);  
        printf("Could not send Start Packet!\n");  
        **if** (closePort(fd, SENDER) < 0) printf("closePort failed\n");  
        **return** -1;  
    }  
  
    printInformation(fileInfo.st\_size, filename);  
  
    **int** fdFile = open(path, O\_RDONLY);  
    **if** (fdFile == -1)  
    {  
        free(StartPacket);  
        printf("Could not open file!\n");  
        **if** (closePort(fd, SENDER) < 0) printf("closePort failed\n");  
        **return** -1;  
    }  
  
    **int** charactersRead;  
    **long** **int** sequenceN = 0;  
  
    **unsigned** **char** \*fileBuffer = (**unsigned** **char** \*)malloc(MAX\_K);  
    **if** (fileBuffer == NULL)  
    {  
        free(StartPacket);  
        printf("Could not allocate memory for fileBuffer!\n");  
        **if** (closePort(fd, SENDER) < 0) printf("closePort failed\n");  
        **return** -1;  
    }  
  
    **unsigned** **char** \*dataPacket = (**unsigned** **char** \*)malloc(MAX\_PACKET\_SIZE);  
    **if** (dataPacket == NULL)  
    {  
        free(StartPacket);  
        free(fileBuffer);  
        printf("Could not allocate memory for dataPacket!\n");  
        **if** (closePort(fd, SENDER) < 0) printf("closePort failed\n");  
        **return** -1;  
    }  
  
    **int** size = 0;  
    **int** packets = 2;  
      
    printf("Sending...\n");  
  
    **while** (charactersRead = read(fdFile, fileBuffer, MAX\_K))  
    {  
        packet\_size = makeDataPacket(fileBuffer, sequenceN, dataPacket, charactersRead);  
  
        **if** (llwrite(fd, dataPacket, packet\_size) == -1)  
        {  
            free(StartPacket);  
            free(fileBuffer);  
            free(dataPacket);  
            printf("Could not send Data Packet number %ld\n", sequenceN);  
            **if** (closePort(fd, SENDER) < 0) printf("closePort failed\n");  
            **return** -1;  
        }  
  
        sequenceN++;  
        sequenceN %= 255;  
        size += charactersRead;  
        packets++;  
    }  
  
    close(fdFile);  
  
    **unsigned** **char** \*EndPacket = (**unsigned** **char** \*)malloc(MAX\_PACKET\_SIZE);  
    **if** (EndPacket == NULL)  
    {  
        free(StartPacket);  
        free(fileBuffer);  
        free(dataPacket);  
        printf("Could not allocate memory for EndPacket!\n");  
        **if** (closePort(fd, SENDER) < 0) printf("closePort failed\n");  
        **return** -1;  
    }  
  
    packet\_size = makeControlPacket(END\_BYTE, fileInfo.st\_size, filename, EndPacket);  
  
    **if** (llwrite(fd, EndPacket, packet\_size) == -1)  
    {  
        free(StartPacket);  
        free(fileBuffer);  
        free(dataPacket);  
        free(EndPacket);  
        printf("Could not send End Packet!\n");  
        **if** (closePort(fd, SENDER) < 0) printf("closePort failed\n");  
        **return** -1;  
    }  
  
    gettimeofday(&endTime, NULL);  
      
    **double** elapsed = (endTime.tv\_sec - beginTime.tv\_sec) \* 1e6;  
    elapsed = (elapsed + (endTime.tv\_usec - beginTime.tv\_usec)) \* 1e-6;  
      
    free(StartPacket);  
    free(fileBuffer);  
    free(dataPacket);  
    free(EndPacket);  
  
    **if** (llclose(fd, SENDER) < 0)  
    {  
        printf("llclose failed\n");  
        exit(1);  
    }  
  
    printf("\nElapsed: %.5lf seconds\n", elapsed);  
    printf("Send %d packets.\n", packets);  
  
    **return** 0;  
}  
  
**void** **printInformation**(**long** **int** filesize, **unsigned** **char**\* filename){  
      
    printf("======= Connection Information ======= \n");  
    printf("I Frame size: %d\n", IFRAME\_SIZE);  
    printf("Retries: %d\n", ATTEMPTS);  
    printf("Timeout: %d\n", 3);  
  
    printf("======= File Information ======= \n");  
    printf("Name: %s\n", filename);  
    printf("Size: %ld\n\n", filesize);  
      
    fflush(stdout);  
}  
  
**int** **makeControlPacket**(**unsigned** **char** control, **long** **int** fileSize, **unsigned** **char** \*fileName, **unsigned** **char** \*packet)  
{  
    **int** index = 0;  
  
    packet[index++] = control;  
  
    packet[index++] = FILESIZE;  
  
    **unsigned** **char** \*n = (**unsigned** **char** \*)malloc(MAX\_VALUE\_SIZE);  
    sprintf(n, "%ld", fileSize);  
  
    packet[index++] = strlen(n);  
  
    **for** (**int** i = 0; i < packet[2]; i++)  
    {  
        packet[index++] = n[i];  
    }  
      
    free(n);  
  
    packet[index++] = FILENAME;  
    packet[index++] = strlen(fileName);  
  
    **for** (**int** j = 0; j < strlen(fileName); j++)  
    {  
        packet[index++] = fileName[j];  
    }  
  
    **return** index;  
}  
  
**int** **makeDataPacket**(**unsigned** **char** \*info, **int** N, **unsigned** **char** \*packet, **int** length)  
{  
    **int** index = 0;  
  
    packet[index++] = DATA\_BYTE;  
    packet[index++] = N;  
  
    packet[index++] = length / 256;  
    packet[index++] = length % 256;  
  
    **for** (**int** i = 0; i < length; i++)  
    {  
        packet[index++] = info[i];  
    }  
  
    **return** index;  
}

### appSender.h

#**ifndef** APPSENDER\_H  
#**define** APPSENDER\_H  
  
#**pragma** once  
  
#**include** <stdio.h>  
#**include** <sys/types.h>  
#**include** <sys/stat.h>  
#**include** <sys/time.h>  
#**include** <fcntl.h>  
#**include** <stdlib.h>  
#**include** <string.h>  
#**include** <unistd.h>  
#**include** "dataLink.h"  
  
**void** **printInformation**(**long** **int** filesize, **unsigned** **char**\* filename);  
  
/\*\*  
 \* @brief Makes a control packet with all the information passed as arguments and stores it in packet  
 \*   
 \* @param control START\_BYTE/DATA\_BYTE/END\_BYTE  
 \* @param fileSize the size of the file  
 \* @param fileName the name of the file  
 \* @param packet the control packet  
 \*   
 \* @return the number of bytes written in the packet  
 \*   
\*/  
**int** **makeControlPacket**(**unsigned** **char** control, **long** **int** fileSize, **unsigned** **char** \*fileName, **unsigned** **char** \*packet);  
  
/\*\*  
 \* @brief Makes a data packet with all the information passed as arguments and stores it in packet  
 \*   
 \* @param info the info of the file  
 \* @param N the sequence number of the packet  
 \* @param length the number of bytes in info  
 \* @param packet the control packet  
 \*   
 \* @return the number of bytes written in the packet  
 \*   
\*/  
**int** **makeDataPacket**(**unsigned** **char** \*info, **int** N, **unsigned** **char** \*packet, **int** length);  
  
#**endif** /\*APPSENDER\_H\*/

### datalink.c

#include "dataLink.h"  
  
static int senderNS = 0;  
static int receiverNS = 0;  
  
int llopen(int port, int status)  
{  
    struct sigaction newAction, oldAction;  
  
    newAction.sa\_handler = alarmSenderHandler;  
    sigemptyset(&newAction.sa\_mask);  
    newAction.sa\_flags = 0;  
  
    sigaction(SIGALRM, &newAction, &oldAction);  
  
    int fd = initPort(port, 0, 0, status);  
  
    int res;  
  
    **if** (status == SENDER)  
    {  
        res = SandWOpenClose(fd, SET, SEND\_REC, UA, SEND\_REC);  
        **if** (res == 0)  
            **return** fd;  
        **else** **if** (res == -1)  
        {  
            tcflush(fd, TCIFLUSH);  
            printf("Could not receive UA Frame!\n");  
            **return** -1;  
        }  
        tcflush(fd, TCOFLUSH);  
    }  
    **else** **if** (status == RECEIVER)  
    {  
        int recSet = receiveOpenCloseFrame(fd, SET, SEND\_REC);  
  
        **if** (recSet == 0)  
        {  
            res = sendOpenCloseFrame(fd, UA, SEND\_REC);  
            **if** (res == 0)  
            {  
                **return** fd;  
            }  
            **else**  
            {  
                printf("Could not send UA Frame!\n");  
            }  
        }  
        **else** **if** (recSet == -1)  
        {  
            printf("Could not read from port!\n");  
        }  
    }  
    return -1;  
}  
  
int llwrite(int fd, char \*buffer, int length)  
{  
    struct sigaction newAction, oldAction;  
  
    newAction.sa\_handler = alarmSenderHandler;  
    sigemptyset(&newAction.sa\_mask);  
    newAction.sa\_flags = 0;  
  
    sigaction(SIGALRM, &newAction, &oldAction);  
  
    int bytesSent;  
    int response;  
  
    for (int i = 0; i < ATTEMPTS; i++)  
    {  
        bytesSent = sendInfoFrame(fd, senderNS, buffer, length);  
        if (bytesSent == -1)  
        {  
            printf("Could not send I Frame! Attempt number %d\n", i + 1);  
            return -1;  
        }  
  
        alarmSender = 1;  
        alarm(3);  
  
        while (alarmSender)  
        {  
            response = receiveAckFrame(fd, 1 - senderNS);  
            if (response < 0)  
            {  
                printf("Could not read ACK Frame!\n");  
            }  
            else  
            {  
                alarm(0);  
                break;  
            }  
        }  
  
        if (alarmSender && (response == 0))  
        {  
            senderNS = 1 - senderNS;  
            return bytesSent;  
        }  
    }  
  
    return -1;  
}  
  
int llread(int fd, char \*buffer)  
{  
    int receive = receiveInfoFrame(fd, buffer, receiverNS);  
  
    if (receive == 1) {  
        sendAckFrame(fd, REJ, receiverNS);  
        return -1;  
    }  
    else if (receive == 0)  
    {  
        receiverNS = 1 - receiverNS;  
        sendAckFrame(fd, RR, receiverNS);  
        return IFRAME\_SIZE;  
    } else if (receive == -3) {  
        sendAckFrame(fd, RR, receiverNS);  
        return -1;  
    } else if (receive == -2) {  
        return 0;  
    } else return -1;  
  
}  
  
int llclose(int fd, int status)  
{  
    struct sigaction newAction, oldAction;  
  
    newAction.sa\_handler = alarmSenderHandler;  
    sigemptyset(&newAction.sa\_mask);  
    newAction.sa\_flags = 0;  
  
    sigaction(SIGALRM, &newAction, &oldAction);  
  
    int res;  
  
    if (status == SENDER)  
    {  
        res = SandWOpenClose(fd, DISC, SEND\_REC, DISC, REC\_SEND);  
        if (res == 0)  
        {  
            res = sendOpenCloseFrame(fd, UA, REC\_SEND);  
            if (res != 0)  
            {  
                printf("Could not send UA Frame!\n");  
                return -1;  
            }  
        }  
        else if (res == -1)  
        {  
            printf("Could not receive DISC Frame!\n");  
            return -1;  
        }  
    }  
    else if (status == RECEIVER)  
    {  
        int recDISC = receiveOpenCloseFrame(fd, DISC, SEND\_REC);  
  
        if (recDISC == 0)  
        {  
            res = SandWOpenClose(fd, DISC, REC\_SEND, UA, REC\_SEND);  
            if (res == -1)  
            {  
                printf("Could not receive UA Frame!\n");  
                return -1;  
            }  
        }  
        else if (recDISC == -1)  
        {  
            printf("Could not read from port!\n");  
            return -1;  
        }  
    }  
  
    return closePort(fd, status);  
}

### datalink.h

#ifndef DATALINK\_H  
#define DATALINK\_H  
  
#pragma once  
  
#include "protocol.h"  
#include "port.h"  
#include <unistd.h>  
  
/\*\*  
 \* **@brief** Establishes a connection between devices, using a Stop and Wait mechanism.  
 \*   
 \* **@param** port the port to be opened  
 \* **@param** status SENDER/RECEIVER  
 \*   
 \* **@return** the file descriptor to be written on / read from on success, -1 otherwise  
 \*/  
**int** llopen(**int** port, **int** status);  
  
/\*\*  
 \* **@brief** Sends an array of characters to the other device, using a Stop and Wait mechanism  
 \*   
 \* **@param** fd the file descriptor  
 \* **@param** buffer the array to be sent  
 \* **@param** length the array length  
 \*   
 \* **@return** the amount of bytes sent; -1 on error  
 \*/  
**int** llwrite(**int** fd, **char** \*buffer, **int** length);  
  
/\*\*  
 \* **@brief** Receives an array of characters from the other device, using a Stop and Wait mechanism.  
 \*   
 \* **@param** fd the file descriptor  
 \* **@param** buffer the array to store the data received  
 \*   
 \* **@return** the amount of bytes received; -1 on error  
 \*/  
**int** llread(**int** fd, **char** \*buffer);  
  
/\*\*  
 \* **@brief** Closes the connection previously established, using a Stop and Wait mechanism.  
 \*   
 \* **@param** fd the file descriptor to be closed  
 \* **@param** status SENDER/RECEIVER  
 \*   
 \* **@return** 0 on success, -1 otherwise  
 \*/  
**int** llclose(**int** fd, **int** status);  
  
#endif /\*DATALINK\_H\*/

### dataStructures.h

#**ifndef** DATASTRUCTURES\_H  
#**define** DATASTRUCTURES\_H  
  
#**pragma** once  
  
/\*\*  
 \* @brief Struct to save file's information  
\*/  
**typedef** struct File  
{  
    **long** **int** size;   
    **unsigned** **char** \*name;  
    **unsigned** **char** \*controlPacket;   
    **int** lastIndex;  
    **unsigned** **char** \*data;  
} File;  
  
/\*\*  
 \* @brief State of the state machine  
\*/  
**typedef** **enum** State  
{  
    START,  
    FLAG\_RCV,  
    A\_RCV,  
    C\_RCV,  
    BCC\_OK,  
    DATA,  
    C2\_RCV,  
    BCC2\_OK,  
    STOP,  
    IGNORE,  
    REJECTED  
} State;  
  
/\*\*  
 \* @brief state of the ack state machine  
\*/  
**typedef** **enum** AckState  
{  
    START\_ACK,  
    FLAG\_ACK,  
    A\_ACK,  
    ACK\_RCV,  
    BCC\_ACK,  
    STOP\_ACK  
} AckState;  
  
/\*\*  
 \* Type of control command  
\*/  
**typedef** **enum** ControlCommand  
{  
    SET,  
    DISC,  
    UA,  
    RR,  
    REJ  
} ControlCommand;  
  
#**endif** /\*DATASTRUCTURES\_H\*/

### 

### macros.h

#**ifndef** MACROS\_H  
#**define** MACROS\_H  
  
#**pragma** once  
  
#**define** BAUDRATE        B38400  
#**define** MODEMDEVICE     "/dev/ttyS1"  
#**define** \_POSIX\_SOURCE   1 /\* POSIX compliant source \*/  
#**define** \_XOPEN\_SOURCE   700  
#**define** FALSE           0  
#**define** TRUE            1  
#**define** ATTEMPTS        4  
  
//PORTS  
#**define** COM0            0      
#**define** COM1            1  
#**define** COM10           10  
#**define** COM11           11  
  
//STATUS  
#**define** SENDER          0  
#**define** RECEIVER        1  
  
//S or U Frames  
#**define** S\_FRAME\_SIZE    5  
#**define** FLAG            0x7E  
  
#**define** SEND\_REC        0X03 //commands from sender, answers from receiver  
#**define** REC\_SEND        0X01 //commands from receiver, answers from sender  
  
#**define** SET\_COMMAND     0x03  
#**define** DISC\_COMMAND    0x0B  
#**define** UA\_ANSWER       0x07  
#**define** RR\_ANSWER(R)    ((R == 0) ?  0x05 : 0x85)  
#**define** REJ\_ANSWER(R)   ((R == 0) ?  0x01 : 0x81)  
  
//I Frames  
#**define** IFRAME\_SIZE     4096  
#**define** DATA\_MAX\_SIZE   (IFRAME\_SIZE - 6)  
#**define** NS(S)           ((S == 0) ?  0x00 : 0x40)  
#**define** ESCAPE          0x7D  
#**define** STUFF\_BYTE      0x20  
  
//Packet  
#**define** MAX\_PACKET\_SIZE (DATA\_MAX\_SIZE / 2)  
#**define** MAX\_K           (MAX\_PACKET\_SIZE - 4)  
#**define** MAX\_VALUE\_SIZE  255  
  
#**define** FILESIZE        0x00  
#**define** FILENAME        0x01  
  
#**define** DATA\_BYTE       0x01  
#**define** START\_BYTE      0x02  
#**define** END\_BYTE        0x03  
  
#**endif** /\*MACROS\_H\*/

### port.c

#**include** "port.h"  
  
**static** **struct** **termios** **oldtioReceiver**, **oldtioSender**;  
  
**int** **initPort**(**int** portInt, **int** vtime, **int** vmin, **int** status)  
{  
  
    **char** \*port = (**char** \*)malloc(12);  
    **if** (port == NULL)  
    {  
        printf("Could not allocate memory for port!\n");  
        **return** -1;  
    }  
    **struct** **termios** **newtio**;  
  
    sprintf(port, "/dev/ttyS%d", portInt);  
  
    **int** fd = open(port, O\_RDWR | O\_NOCTTY);  
    **if** (fd < 0)  
    {  
        free(port);  
        perror(port);  
        **return** -1;  
    }  
  
    /\*save current port settings\*/  
    **if** ((status == SENDER && (tcgetattr(fd, &oldtioSender) == -1)) || (status == RECEIVER && (tcgetattr(fd, &oldtioReceiver) == -1)))  
    {  
        free(port);  
        perror("tcgetattr");  
        **return** -1;  
    }  
  
    bzero(&newtio, **sizeof**(newtio));  
    newtio.c\_cflag = BAUDRATE | CS8 | CLOCAL | CREAD;  
    newtio.c\_iflag = IGNPAR;  
    newtio.c\_oflag = 0;  
  
    /\* set input mode (non-canonical, no echo,...) \*/  
    newtio.c\_lflag = 0;  
  
    newtio.c\_cc[VTIME] = vtime;  
    newtio.c\_cc[VMIN] = vmin;  
  
    /\*   
    VTIME e VMIN devem ser alterados de forma a proteger com um temporizador a   
    leitura do(s) pr�ximo(s) caracter(es)  
    \*/  
  
    tcflush(fd, TCIOFLUSH);  
  
    **if** (tcsetattr(fd, TCSANOW, &newtio) == -1)  
    {  
        free(port);  
        perror("tcsetattr");  
        **return** -1;  
    }  
  
    printf("New termios structure set\n");  
  
    free(port);  
    **return** fd;  
}  
  
**int** **closePort**(**int** fd, **int** status)  
{  
    sleep(1);  
  
    **if** ((status == SENDER && (tcsetattr(fd, TCSANOW, &oldtioSender) == -1)) || (status == RECEIVER && (tcsetattr(fd, TCSANOW, &oldtioReceiver) == -1)))  
    {  
        perror("tcsetattr");  
        **return** -1;  
    }  
  
    close(fd);  
    printf("Closed Port with success!\n");  
    **return** 0;  
}

### port.h

#**ifndef** PORT\_H  
#**define** PORT\_H  
  
#**pragma** once  
  
#**include** <stdio.h>  
#**include** <stdlib.h>  
#**include** <termios.h>  
#**include** <sys/types.h>  
#**include** <sys/stat.h>  
#**include** <fcntl.h>  
#**include** <unistd.h>  
#**include** <string.h>  
#**include** "macros.h"  
  
/\*\*  
 \* @brief Opens a serial port, saving its attributes in the respective termios static struct  
 \*   
 \* @param portInt the port to be opened is "/dev/ttySX", where X is portInt  
 \* @param vtime the character timer  
 \* @param vmin the minimum number of characters to receive before satisfying the read  
 \* @param status SENDER/RECEIVER  
 \*   
 \* @return file descriptor of port on success; -1 on error  
 \*/  
**int** **initPort**(**int** portInt, **int** vtime, **int** vmin, **int** status);  
  
/\*\*  
 \* @brief Closes a serial port, setting its attributes from the respective termios static struct  
 \*   
 \* @param fd the file descriptor of the port  
 \* @param status SENDER/RECEIVER  
 \*   
 \* @return 0 on success; -1 on error  
 \*/  
**int** **closePort**(**int** fd, **int** status);  
  
#**endif** /\*PORT\_H\*/

### protocol.c

#include "protocol.h"  
  
int alarmSender = 1;  
int alarmReceiver = 1;  
  
void alarmSenderHandler()  
{  
    alarmSender = 0;  
    **return**;  
}  
  
void alarmReceiverHandler()  
{  
    alarmReceiver = 0;  
    **return**;  
}  
  
int SandWOpenClose(int fd, ControlCommand send, char sendAddress, ControlCommand receive, char recAddress)  
{  
    int rec;  
  
    **for** (int i = 0; i < ATTEMPTS; i++)  
    {  
        **if** (sendOpenCloseFrame(fd, send, sendAddress) == -1)  
        {  
            printf("Could not send Frame! Attempt number %d\n", i + 1);  
            **return** -1;  
        }  
  
        alarmSender = 1;  
        alarm(3);  
  
        **while** (alarmSender)  
        {  
            rec = receiveOpenCloseFrame(fd, receive, recAddress);  
            **if** (rec == 0)  
            {  
                alarm(0);  
                **break**;  
            }  
            **else** **if** (rec < 0)  
            {  
                printf("Could not read from port! Code: %d\n", rec);  
                **return** -1;  
            }  
        }  
  
        **if** (alarmSender)  
        {  
            **return** 0;  
        }  
        **else** **if** (i < 3)  
        {  
            printf("Timeout number %d, trying again...\n", i + 1);  
        }  
    }  
    **return** -1;  
}  
  
int sendOpenCloseFrame(int fd, ControlCommand command, int address)  
{  
    int res;  
    unsigned char frame[S\_FRAME\_SIZE];  
  
    frame[0] = FLAG;  
    frame[1] = address;  
    frame[4] = FLAG;  
  
    **switch** (command)  
    {  
    **case** SET:  
        frame[2] = SET\_COMMAND;  
        frame[3] = address ^ SET\_COMMAND;  
        **break**;  
    **case** DISC:  
        frame[2] = DISC\_COMMAND;  
        frame[3] = address ^ DISC\_COMMAND;  
        **break**;  
    **case** UA:  
        frame[2] = UA\_ANSWER;  
        frame[3] = address ^ UA\_ANSWER;  
        **break**;  
  
    **default**:  
        **break**;  
    }  
  
    res = write(fd, frame, S\_FRAME\_SIZE);  
    **if** (res == -1)  
        **return** -1;  
    **return** 0;  
}  
  
int sendAckFrame(int fd, ControlCommand command, int r)  
{  
    int res;  
    unsigned char frame[S\_FRAME\_SIZE];  
  
    frame[0] = FLAG;  
    frame[1] = SEND\_REC;  
    frame[4] = FLAG;  
  
    **switch** (command)  
    {  
    **case** RR:  
        frame[2] = RR\_ANSWER(r);  
        frame[3] = RR\_ANSWER(r) ^ SEND\_REC;  
        **break**;  
    **case** REJ:  
        frame[2] = REJ\_ANSWER(r);  
        frame[3] = REJ\_ANSWER(r) ^ SEND\_REC;  
        **break**;  
    **default**:  
        **break**;  
    }  
  
    res = write(fd, frame, S\_FRAME\_SIZE);  
    **if** (res == -1)  
        **return** -1;  
    **return** 0;  
}  
  
int receiveOpenCloseFrame(int fd, ControlCommand command, int address)  
{  
    unsigned char buf[255];  
    int res;  
  
    State state = START;  
  
    **while** (state != STOP && alarmSender == 1)  
    {  
        res = read(fd, buf, 1);  
        **if** (res == 0)  
            **continue**;  
        **if** (res < 0)  
            **return** -1;  
  
        changeStateS(&state, buf[0], command, address);  
    }  
  
    **return** 0;  
}  
  
int receiveAckFrame(int fd, int ns)  
{  
    unsigned char buf[255];  
    int res;  
    int nr;  
    int acknowledged = -1;  
  
    AckState state = START\_ACK;  
  
    **while** (state != STOP\_ACK && alarmSender == 1)  
    {  
        res = read(fd, buf, 1);  
  
        **if** (res == 0) **continue**;  
        **if** (res < 0) **return** -1;  
  
        nr = changeStateAck(&state, buf[0]);  
  
        **if** (state == ACK\_RCV)  
        {  
            **if** (nr == ns || nr == 1 - ns)  
            {  
                acknowledged = 0;  
            }  
            **else** **if** (nr - 2 == 1 - ns)  
            {  
                acknowledged = 1;  
            }  
        }  
    }  
  
    **return** acknowledged;  
}  
  
int sendInfoFrame(int fd, int ns, unsigned char \*info, int length)  
{  
    int res, index = 0;  
    unsigned char bcc2 = 0x00;  
  
    unsigned char \*infoFrame = (unsigned char \*)malloc(IFRAME\_SIZE);  
    **if** (infoFrame == NULL)  
    {  
        printf("Could not allocate memory for infoFrame!\n");  
        **return** -1;  
    }  
  
    infoFrame[index++] = FLAG;  
    infoFrame[index++] = SEND\_REC;  
    infoFrame[index++] = NS(ns);  
  
    infoFrame[index++] = SEND\_REC ^ NS(ns);  
  
    **for** (int i = 0; i < length; i++)  
    {  
        bcc2 = bcc2 ^ info[i];  
        **if** (info[i] == FLAG || info[i] == ESCAPE)  
        {  
            infoFrame[index++] = ESCAPE;  
            infoFrame[index++] = info[i] ^ STUFF\_BYTE;  
        }  
        **else**  
        {  
            infoFrame[index++] = info[i];  
        }  
    }  
  
    **while** (index < (IFRAME\_SIZE - 2))  
    {  
        infoFrame[index++] = 0x00;  
    }  
  
    infoFrame[index++] = bcc2;  
    infoFrame[index++] = FLAG;  
  
    res = write(fd, infoFrame, index);  
  
    free(infoFrame);  
  
    **if** (res < 1)  
        **return** -1;  
  
    **return** 0;  
}  
  
int receiveInfoFrame(int fd, unsigned char \*info, int expectedNS)  
{  
    struct sigaction newAction, oldAction;  
  
    newAction.sa\_handler = alarmReceiverHandler;  
    sigemptyset(&newAction.sa\_mask);  
    newAction.sa\_flags = 0;  
  
    sigaction(SIGALRM, &newAction, &oldAction);  
  
    unsigned char buf[255];  
    int res;  
    int i = 0;  
    int firstTime = TRUE;  
    int escaped = FALSE;  
    int duplicated = FALSE;  
  
    int random;  
  
    State state = START;  
  
    alarm(300);  
  
    **while** (state != STOP && state != IGNORE && state != REJECTED && alarmReceiver) {  
        res = read(fd, buf, 1);  
  
        **if** (res == 0) **continue**;  
        **if** (res < 0) **return** -1;  
  
        int aux = changeStateInfo(&state, buf[0]);  
        **if** (aux != -1) {  
            **if** (aux != expectedNS) duplicated = TRUE;  
        }  
  
        **if**(state == FLAG\_RCV) {  
            i = 0;  
            firstTime = TRUE;  
        }  
  
        **if** (state == DATA && i < MAX\_PACKET\_SIZE)  
        {  
              
            **if** (firstTime) {  
                **if** (duplicated) **return** -3;  
                firstTime = FALSE;  
                escaped = FALSE;  
            }  
            **else**  
            {  
                **if** (escaped)  
                {  
                    **if** (buf[0] == (FLAG ^ STUFF\_BYTE))  
                    {  
                        info[i++] = FLAG;  
                    }  
                    **else** **if** (buf[0] == (ESCAPE ^ STUFF\_BYTE))  
                    {  
                        info[i++] = ESCAPE;  
                    }  
                    escaped = FALSE;  
                }  
                **else** **if** (buf[0] == ESCAPE)  
                {  
                    escaped = TRUE;  
                }  
                **else** **if** (i < MAX\_PACKET\_SIZE)  
                {  
                    info[i++] = buf[0];  
                }  
            }  
        }  
    }  
  
    **if**(alarmReceiver == 0) **return** -2;  
  
    **if** (state == IGNORE) **return** -1;  
    **else** **if** (state == REJECTED) **return** 1;  
      
    **return** 0;  
}

### protocol.h

#ifndef PROTOCOL\_H  
#define PROTOCOL\_H  
  
#include <signal.h>  
#include <stdio.h>  
#include <stdlib.h>  
#include <time.h>  
#include <string.h>  
#include <unistd.h>  
#include "macros.h"  
#include "dataStructures.h"  
#include "stateMachines.h"  
  
extern **int** alarmSender;  
extern **int** alarmReceiver;  
  
/\*\*  
 \* **@brief** Catches a specific signal and the value of alarmSender becomes 0   
\*/  
void alarmSenderHandler();  
  
/\*\*  
 \* **@brief** Catches a specific signal and the value of alarmReceiver becomes 0   
\*/  
void alarmReceiverHandler();  
  
/\*\*  
 \* **@brief** Sends a message and waits for response, using a Stop and Wait mechanism  
 \*   
 \* **@param** fd the file descriptor of port  
 \* **@param** send the command to be sent  
 \* **@param** sendAddress the address to be sent  
 \* **@param** receive the command to be received  
 \* **@param** recAddress the address to be received  
 \*   
 \* **@return** 0 on success; -1 on error  
 \*/  
**int** SandWOpenClose(**int** fd, ControlCommand send, **char** sendAddress, ControlCommand receive, **char** recAddress);  
  
/\*\*  
 \* **@brief** Creates and sends a frame (SET, DISC or UA)  
 \*   
 \* **@param** fd the file descriptor of port  
 \* **@param** command the command to be sent  
 \* **@param** address the address to be sent  
 \*   
 \* **@return** 0 on success; -1 on error  
 \*/  
**int** sendOpenCloseFrame(**int** fd, ControlCommand command, **int** address);  
  
/\*\*  
 \* **@brief** Creates and sends a frame ACK  
 \*   
 \* **@param** fd the file descriptor of port  
 \* **@param** send the command to be sent  
 \* **@param** r the required message (0/1)  
 \*   
 \* **@return** 0 on success; -1 on error  
 \*/  
**int** sendAckFrame(**int** fd, ControlCommand command, **int** r);  
  
/\*\*  
 \* **@brief** Receives a SET/DISC/UA frame and calls the function with the state machine  
 \*   
 \* **@param** fd the file descriptor of port  
 \* **@param** command the command to be received  
 \* **@param** address the address to be received  
 \*   
 \* **@return** 0 on success; -1 on error  
 \*/  
**int** receiveOpenCloseFrame(**int** fd, ControlCommand command, **int** address);  
  
/\*\*  
 \* **@brief** Receives an ACK frame and calls the function with the state machine  
 \*   
 \* **@param** fd the file descriptor of port  
 \* **@param** ns the expected message (0/1)  
 \*   
 \* **@return** 1 if message was rejected; 0 on success; -1 on error  
 \*/  
**int** receiveAckFrame(**int** fd, **int** ns);  
  
/\*\*  
 \* **@brief** Creates and sends a info frame  
 \*   
 \* **@param** fd the file descriptor of port  
 \* **@param** info the info to be sent  
 \* **@param** length the size of the info to be sent  
 \*   
 \* **@return** 0 on success; -1 on error  
 \*/  
**int** sendInfoFrame(**int** fd, **int** ns, unsigned **char** \*info, **int** length);  
  
/\*\*  
 \* **@brief** Receives an info frame and calls the function with the state machine  
 \*   
 \* **@param** fd the file descriptor of port  
 \* **@param** info the info received  
 \* **@param** expectedNS the expected sequence number   
 \*   
 \* **@return** 1 to send a REJ message; 0 to send a RR message; -1 on error; -2 on timeout; -3 if it's a duplicate  
 \*/  
**int** receiveInfoFrame(**int** fd, unsigned **char** \*info, **int** expectedNS);  
  
#endif /\*PROTOCOL\_H\*/

### stateMachines.c

#**include** "stateMachines.h"  
  
unsigned **char** bcc2Check = 0x00;  
unsigned **char** answer;  
**static** **int** escaped = **FALSE**;  
**static** **int** s = 0;  
**static** **int** dataIndex = 0;  
  
**void** changeStateS(State \*state, unsigned **char** **byte**, ControlCommand command, unsigned **char** address)  
{  
    **int** isCorrect;  
  
    **switch** (\*state)  
    {  
    **case** START:  
        **if** (**byte** == FLAG)  
        {  
            \*state = FLAG\_RCV;  
        }  
        **break**;  
  
    **case** FLAG\_RCV:  
        **if** (**byte** == address)  
        {  
            \*state = A\_RCV;  
        }  
        **else** **if**(**byte** != FLAG)  
        {  
            \*state = START;  
        }  
  
        **break**;  
  
    **case** A\_RCV:  
        isCorrect = **FALSE**;  
  
        **switch** (command)  
        {  
        **case** SET:  
            **if** (**byte** == SET\_COMMAND)  
                isCorrect = **TRUE**;  
            **break**;  
        **case** DISC:  
            **if** (**byte** == DISC\_COMMAND)  
                isCorrect = **TRUE**;  
            **break**;  
        **case** UA:  
            **if** (**byte** == UA\_ANSWER)  
                isCorrect = **TRUE**;  
            **break**;  
        }  
  
        **if** (isCorrect)  
        {  
            \*state = C\_RCV;  
        }  
        **else** **if** (**byte** == FLAG)  
        {  
            \*state = FLAG\_RCV;  
        }  
        **else**  
        {  
            \*state = START;  
        }  
  
        **break**;  
  
    **case** C\_RCV:  
        isCorrect = **FALSE**;  
  
        **switch** (command) {  
        **case** SET:  
            **if** (**byte** == (address ^ SET\_COMMAND))  
                isCorrect = **TRUE**;  
            **break**;  
        **case** DISC:  
            **if** (**byte** == (address ^ DISC\_COMMAND))  
                isCorrect = **TRUE**;  
            **break**;  
        **case** UA:  
            **if** (**byte** == (address ^ UA\_ANSWER))  
                isCorrect = **TRUE**;  
            **break**;  
        }  
  
        **if** (isCorrect)  
        {  
            \*state = BCC\_OK;  
        }  
        **else** **if** (**byte** == FLAG)  
        {  
            \*state = FLAG\_RCV;  
        }  
        **else**  
        {  
            \*state = START;  
        }  
        **break**;  
  
    **case** BCC\_OK:  
        **if** (**byte** == FLAG)  
        {  
            \*state = STOP;  
        }  
        **else**  
        {  
            \*state = START;  
        }  
        **break**;  
    }  
  
}  
  
**int** changeStateInfo(State \*state, unsigned **char** **byte**)  
{  
    **switch** (\*state)  
    {  
    **case** START:  
        **if** (**byte** == FLAG)  
        {  
            \*state = FLAG\_RCV;  
        }  
        **break**;  
  
    **case** FLAG\_RCV:  
        **if** (**byte** == SEND\_REC)  
        {  
            \*state = A\_RCV;  
        }  
        **else** **if**(**byte** != FLAG)  
        {  
            \*state = START;  
        }  
  
        **break**;  
  
    **case** A\_RCV:  
        **if** (**byte** == NS(s))  
        {  
            \*state = C\_RCV;  
            **return** s;  
        }  
        **else** **if** (**byte** == NS(1 - s))  
        {  
            \*state = C\_RCV;  
            s = 1 - s;  
            **return** s;  
        }  
        **else** **if** (**byte** == FLAG)  
        {  
            \*state = FLAG\_RCV;  
        }  
        **else**  
        {  
            \*state = START;  
        }  
  
        **break**;  
  
    **case** C\_RCV:  
        **if** (**byte** == SEND\_REC ^ NS(s))  
        {  
            dataIndex = 0;  
            bcc2Check = 0x00;  
            \*state = DATA;  
        }  
        **else** **if** (**byte** == FLAG)  
        {  
            \*state = FLAG\_RCV;  
        }  
        **else**  
        {  
            \*state = IGNORE;  
        }  
        **break**;  
    **case** DATA:  
        dataIndex++;  
        **if** (dataIndex < DATA\_MAX\_SIZE)  
        {  
            **if** (escaped)  
            {  
                **if** (**byte** == (FLAG ^ STUFF\_BYTE))  
                {  
                    bcc2Check = bcc2Check ^ FLAG;  
                }  
                **else** **if** (**byte** == (ESCAPE ^ STUFF\_BYTE))  
                {  
                    bcc2Check = bcc2Check ^ ESCAPE;  
                }  
                escaped = **FALSE**;  
            }  
            **else** **if** (**byte** == FLAG)  
            {  
                bcc2Check = 0x00;  
                dataIndex = 0;  
                escaped = **FALSE**;  
                \*state = FLAG\_RCV;  
            }  
            **else** **if** (**byte** == ESCAPE)  
            {  
                escaped = **TRUE**;  
            }  
            **else**  
            {  
                bcc2Check = bcc2Check ^ **byte**;  
            }  
        }  
        **else** **if** (**byte** == FLAG)  
        {  
            bcc2Check = 0x00;  
            dataIndex = 0;  
            escaped = **FALSE**;  
            \*state = FLAG\_RCV;  
        }  
        **else**  
        {  
            dataIndex = 0;  
            escaped = **FALSE**;  
            \*state = C2\_RCV;  
        }  
        **break**;  
    **case** C2\_RCV:  
  
        **if** (**byte** == bcc2Check)  
        {  
            \*state = BCC2\_OK;  
        }  
        **else** **if** (**byte** == FLAG)  
        {  
            \*state = FLAG;  
        }  
        **else**  
        {  
            \*state = REJECTED;  
        }  
        **break**;  
    **case** BCC2\_OK:  
        **if** (**byte** == FLAG)  
        {  
            \*state = STOP;  
        }  
        **else**  
        {  
            \*state = START;  
        }  
        **break**;  
    }  
  
    **return** -1;  
}  
  
**int** changeStateAck(AckState \*state, unsigned **char** **byte**)  
{  
    **int** isCorrect;  
    **int** nr = -1;  
  
    **switch** (\*state)  
    {  
    **case** START\_ACK:  
        **if** (**byte** == FLAG) {  
            \*state = FLAG\_ACK;  
        }  
        **break**;  
  
    **case** FLAG\_ACK:  
        **if** (**byte** == SEND\_REC)  
        {  
            \*state = A\_ACK;  
        }  
        **else** **if**(**byte** != FLAG)  
        {  
            \*state = START\_ACK;  
        }  
  
        **break**;  
  
    **case** A\_ACK:  
        isCorrect = **FALSE**;  
  
        **switch** (**byte**)  
        {  
        **case** RR\_ANSWER(0):  
            nr = 0;  
            isCorrect = **TRUE**;  
            **break**;  
        **case** RR\_ANSWER(1):  
            nr = 1;  
            isCorrect = **TRUE**;  
            **break**;  
        **case** REJ\_ANSWER(0):  
            nr = 2;  
            isCorrect = **TRUE**;  
            **break**;  
        **case** REJ\_ANSWER(1):  
            nr = 3;  
            isCorrect = **TRUE**;  
            **break**;  
        }  
  
        **if** (isCorrect)  
        {  
            answer = **byte**;  
            \*state = ACK\_RCV;  
        }  
        **else** **if** (**byte** == FLAG)  
        {  
            \*state = FLAG\_ACK;  
        }  
        **else**  
        {  
            \*state = START\_ACK;  
        }  
  
        **break**;  
  
    **case** ACK\_RCV:  
        **if** (**byte** == (SEND\_REC ^ answer))  
        {  
            \*state = BCC\_ACK;  
        }  
        **else** **if** (**byte** == FLAG)  
        {  
            \*state = FLAG\_ACK;  
        }  
        **else**  
        {  
            \*state = START\_ACK;  
        }  
        **break**;  
  
    **case** BCC\_ACK:  
        **if** (**byte** == FLAG)  
        {  
            \*state = STOP\_ACK;  
        }  
        **else**  
        {  
            \*state = START\_ACK;  
        }  
        **break**;  
    }  
    **return** nr;  
}

### stateMachines.h

#ifndef STATEMACHINES\_H  
#define STATEMACHINES\_H  
  
#include <stdio.h>  
#include <string.h>  
#include "macros.h"  
#include "dataStructures.h"  
  
/\*\*  
 \* @brief Processes a byte of a SET/DISC/UA frame and updates the **state**  
 \*   
 \* @param **state** the **state** of the packet  
 \* @param byte the byte **to** process  
 \* @param command the command of the packet  
 \* @param address the address of the packet  
 \*   
 \*/  
void changeStateS(State \***state**, unsigned char byte, ControlCommand command, unsigned char address);  
  
/\*\*  
 \* @brief Processes a byte of an info frame and updates the **state**  
 \*   
 \* @param **state** the **state** of the packet  
 \* @param byte the byte **to** process  
 \*   
 \* @return the number of the expected message; -1 otherwise  
 \*/  
int changeStateInfo(State \***state**, unsigned char byte);  
  
/\*\*  
 \* @brief Processes a byte of an ACK frame and updates the **state**  
 \*   
 \* @param **state** the **state** of the packet  
 \* @param byte the byte **to** process  
 \*   
 \* @return the number of the expected message; -1 otherwise  
 \*/  
int changeStateAck(AckState \***state**, unsigned char byte);  
  
#endif /\*STATEMACHINES\_H\*/

# Anexo 2 – Gráfico de Eficiência