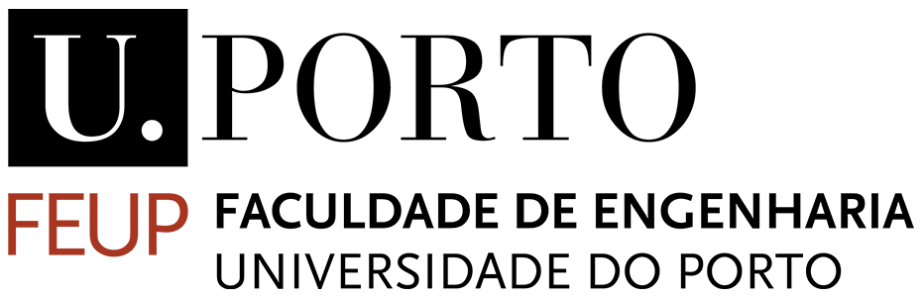
**1º Trabalho Laboratorial**

Relatório



Mestrado Integrado em Engenharia Informática e Computação

Redes de Computadores

**Trabalho realizado por:**

Maria Gonçalves Caldeira (up201704507)

Raul Manuel Fidalgo da Silva Teixeira Viana (up201208089)

18 de outubro de 2020

Índice

[Sumário 3](#_Toc55827933)

[Introdução 3](#_Toc55827934)

[Arquitetura 3](#_Toc55827935)

[Estrutura do código 4](#_Toc55827936)

[Casos de uso principais 5](#_Toc55827937)

[Protocolo de ligação lógica 5](#_Toc55827938)

[Protocolo de aplicação 6](#_Toc55827939)

[Validação 7](#_Toc55827945)

[Eficiência do protocolo de ligação de dados 8](#_Toc55827946)

[Conclusões 10](#_Toc55827952)

[Anexo – código fonte 11](#_Toc55827953)

[Anexo II – cálculos da eficiência da ligação 37](#_Toc55827954)

# **Sumário**

Este relatório foi elaborado no âmbito da unidade curricular de Redes e Computadores, do curso Mestrado Integrado em Engenharia Informática e Computação, para descrever o primeiro trabalho prático, que consistiu no desenvolvimento de uma aplicação capaz de transferir ficheiros de um computador para o outro através de uma porta série.

Assim, é possível afirmar que o trabalho foi concluído com sucesso, visto que o objetivo estabelecido foi cumprido, tendo sido escrita uma aplicação funcional e capaz de transferir ficheiros sem perda de dados.

# **Introdução**

O objetivo principal deste trabalho foi implementar um protocolo de ligação de dados, de acordo com o guião fornecido, testando-o com uma aplicação simples de transferência de ficheiros. A transferência foi efetuada recorrendo a uma porta série do tipo RS-232. Para descrever a forma como a aplicação foi escrita e o seu funcionamento foi desenvolvido este relatório que pretende também relacionar a componente teórica com o trabalho desenvolvido e tem a seguinte estrutura:

**Arquitetura**: Exibição dos blocos funcionais e interfaces presentes;

**Estrutura do código**: demonstração das APIs, principais estruturas de dados, principais funções e sua relação com a arquitetura;

**Casos de uso principais**: identificação destes e demonstração das sequências de chamada de funções;

**Protocolo de ligação lógica**: identificação dos principais aspetos funcionais e descrição da estratégia de implementação dos mesmos com apresentação de extratos de código;

**Protocolo de aplicação**: identificação dos principais aspetos funcionais e descrição da estratégia de implementação dos mesmos com apresentação de extratos de código;

**Validação**: descrição dos testes efetuados com apresentação quantificada dos resultados;

**Eficiência do protocolo de ligação de dados**: caraterização estatística da eficiência do protocolo, feita com recurso a medidas sobre o código desenvolvido;

**Conclusão**: resumo da informação apresentada nas secções anteriores e conclusões finais.

# **Arquitetura**

O trabalho está dividido em dois blocos funcionais, tendo sido criado um emissor e um recetor. Cada um destes blocos incorpora a camada de aplicação. Depois existe um outro bloco comum ao emissor e ao recetor, que incorpora a camada da ligação de dados. Desta forma foi implementada o isolamento entre camadas.

# **Estrutura do código**

O código está dividido em três ficheiros de código principais, correspondentes às funções necessárias para a execução do programa. Assim, existe o ficheiro *send.c* – responsável pelas funções de envio da informação referente ao ficheiro a transferir, o ficheiro *receive.c* – responsável pelas funções de recebimento. Existe ainda um terceiro ficheiro principal: *link\_layer.c*, responsável pelo envio, receção e processamento das tramas inerentes ao protocolo descrito. Existe ainda um header file, *constants.h* no qual estão declaradas as constantes necessárias aos ficheiros *send.c* e *receive.c* e ainda um ficheiro *alarm.c* responsável pela implementação do alarme e os respetivos header files com a declaração de todas as funções.

**Funções principais**:

**Sender**

*- sendControlPacket* – constrói e envia o pacote de controlo que sinaliza o início da transferência dos dados de informação;

*- sendFile* – constrói e envia os pacotes de informação;

*- printStats* – imprime os dados da ligação.

**Receiver**

*- readControlPacket* – recebe e lê o pacote de controlo que sinaliza o início da transmissão de dados;

*- receiveFile* – recebe os pacotes de informação;

*- processData* - guarda em disco o ficheiro recebido e confirma a receção do pacote de controlo que sinaliza o fim da transmissão de dados;

**Link\_layer**

*- llopen* – inicia a ligação e retorna o file descriptor da porta utilizada;

*- llclose* – fecha a ligação;

*- startConnection* – abre a porta de série e guarda a sua configuração;

*- closeConnection* – fecha a porta de séries e volta a colocar as configurações no seu estado inicial;

*- readMessage* – lê a trama de controlo e envia-a para a state machine;

*- COM\_currentMachine* – state machine responsável por validar as tramas de controlo;

*- Data\_currentMachine* – state machine responsável por validar as tramas de informação;

*- llwrite* – responsável por receber o pacote da camada superior, construir a trama, enviá-la para o buffer da placa física e receber a resposta correspondente;

*- sendControl* – envia o pacote de controlo de início da ligação;

*- llread* – responsável por ler a trama recebida pela placa física, processá-la e retornar para a camada superior o pacote de dados;

*- readFrame* – lê a trama da placa física e valida-a através da chamada a *data\_currentMachine*;

*- destuffFrame* – realiza o de-stuff da trama;

*- confirmIntegrity* – confirma se o BCC1 e o BC2 recebidos são iguais ao esperado.

**Variáveis Globais**

- FILENAME – caminho para o ficheiro a transferir

- SENDER PORT – porta para envio´

- RECEIVER\_PORT – porta a receber

- BAUDERATE – capacidade da ligação

- MAX\_CHUNK\_SIZE – tamanho máximo do pacote de dados

- T\_PROP – tempo simulado de propagação adicionado

- fd – file descriptor da placa física

- t0 e t1 – estruturas do tipo timespec para medição do tempo total de envio

# **Casos de uso principais**

  A aplicação foi desenhada como um programa de teste, sem interface de utilizador. Assim, todas as variáveis personalizáveis são definidas no ficheiro *constans.h*. Estas variáveis são as portas a serem utilizadas, o caminho relativo do ficheiro a ser transferido, e as variáveis da própria transmissão como o bauderate, tempos de timeout e número de tentativas repetidas. Deste modo o principal caso de uso da aplicação é a transferência do ficheiro, via porta série, entre dois computadores, o transmissor e o recetor.

A transmissão de dados dá-se com a seguinte sequência:

- Configuração da ligação entre os dois computadores.

- Transmissor abre o ficheiro a enviar.

- Estabelecimento da ligação.

- Transmissor envia dados.

- Recetor recebe os dados.

- Recetor guarda os dados num ficheiro com o mesmo nome do ficheiro enviado pelo emissor.

- Terminação da ligação.

# **Protocolo de ligação lógica**

**LLOPEN** int llopen(int type);

Esta função tem a responsabilidade de estabelecer a ligação entre o emissor e o recetor.

No emissor, esta função envia a trama de controlo SET através da chamada da função ***sendControl*** e ativa o temporizador que é desativado depois de receber resposta (UA). Se não receber resposta dentro de um tempo definido em TIMEOUT, SET é reenviado. Este mecanismo de retransmissão é repetido um número máximo de vezes definido em MAX\_TRIES, se este número for atingido o programa termina.

No recetor, esta função espera pela chegada de uma trama de controlo SET, ao queresponde com uma trama do tipo UA.

Tanto no recetor como no emissor é utilizada a função ***readMessage*** para ler a trama de controlo. A validação é feita por sua vez recorrendo à função ***COM\_currentMachine***.

As escritas são feitas trama a trama, no entanto a leitura é feita carater a carater.

**LLWRITE** int llwrite(int fd, unsigned char packet[], int index);

Esta função é a responsável por enviar tramas do emissor para o recetor. Inicialmente é construída a trama em volta do pacote recebido. É calculado e inserido o bcc1, é feito o stuffing da trama e finalmente calculado e inserido o bcc2. Por fim é enviada a trama, com recurso à função ***readResponse***, e acionado o mecanismo de espera e reenvio em caso de erro.

**LLREAD** int llread(int fd, unsigned char\* packet);

Nesta função, chamada pelo recetor, as tramas são recebidas e processadas. A leitura é feita caracter a caracter, pelo que se torna necessário à sua validação através da função ***data\_currentMachine***. Depois desta validação é chamada a função auxiliar ***destuffFrame*** onde é realizado o processo de destuff. Posteriormente a função ***confirmIntegrity*** efetua o cálculo do bcc1 e do bcc2 e compara-os aos recebidos retornando o resultado. Em caso de não se verificarem erros ***llread*** envia por fim uma trama de confirmação e pedido de nova trama, em caso de deteção de erro envia uma trama de rejeição e pedido de reenvio da trama de informação.

**LLCLOSE** int llclose(int fd, int type);

Esta função termina a ligação entre o emissor e o recetor. No emissor é enviada a trama DISC, e esperada uma trama UA. No recetor é esperada uma trama DISC e enviada de seguida uma trama UA.

Por fim é chamada a função ***closeConnection*** que recoloca os parâmetros iniciais da placa física.

# **Protocolo de aplicação**

O protocolo de aplicação implementado tem as seguintes características:

- Envio de um pacote de controlo START e END, respetivamente no início e no fim do envio dos dados, pacotes entes com as informações do tamanho e nome do ficheiro em transferência;

- A divisão do ficheiro em fragmentos a serem enviados, por parte do emissor e a reconstrução destes por parte do recetor;

- Construção dos pacotes de dados, com introdução de header contendo o número de sequência e o seu tamanho;

- Abertura e leitura do ficheiro a ser enviado e criação e escrita em disco do ficheiro recebido.

Para o correto funcionamento destas funcionalidades foram implementadas as seguintes funções:

sendControlPacket int sendControlPacket(int fd, int control\_type, FileInfo fileInfo)

Esta função recebe um argumento *control\_type* que define qual o tipo de pacote de controlo a enviar, START ou END. Constrói o pacote respetivo e envia-o.

sendFile int sendFile(FileInfo fileInfo)

Esta função recebe como argumento a estrutura *fileInfo* que contém toda a informação do ficheiro e ser enviado. De uma forma consistente vai lendo pedaços do ficheiro, construindo o pacote de dados em volta destes e enviado estes pacotes de dados para a camada de ligação.

readControlPAcket int readControlPacket()

Esta função recebe o pacote de controlo START. Depois de descodificar o tamanho e o nome do ficheiro abre o ficheiro em disco para escrita, com as permissões adequadas.

**reciveFIle** int receiveFile(FileInfo fileInfo)

Esta função recebe de forma consistente pacotes de informação contendo pedaços do ficheiro a receber. Se o pacote não for do tipo de controlo END a função processData é chamada para processar os dados contidos no pacote. Pelo contrário, se o pacote não for de dados, significa que a transmissão de dados acabou, a função retorna depois de fechar o ficheiro em disco.

**processData** int receiveFile(FileInfo fileInfo)

Esta função recebe os dados que estavam contidos no pacote de dados e escreve-os em disco.

# **Validação**

De forma a estudar a aplicação desenvolvida, foram efetuados os seguintes testes:

- Envio de ficheiros de vários tamanhos.

- Geração de curto circuito no cabo enquanto se envia um ficheiro.

- Interrupção da ligação por alguns segundos enquanto se envia um ficheiro.

- Envio do um ficheiro com variação na percentagem de erros simulados.

- Envio do um ficheiro com variação do tamanho de pacotes.

- Envio do um ficheiro com variação das capacidades de ligação (*baudrate*).

- Envio de um ficheiro com variação simulada do tempo de propagação.

Todos os testes foram concluídos com sucesso.

# **Eficiência do protocolo de ligação de dados**

De forma a avaliar a eficiência do protocolo desenvolvido, foram feitos os seguintes quatro testes e elaborados uma tabela e um gráfico. Os testes foram efetuados variando apenas a condição em análise, mantendo os outros parâmetros fixos nos valores descritos na tabela 1 do Anexo II. Todas as tabelas, contendo os cálculos efetuados estão presentes no Anexo II.

Variação do tamanho das tramas de dados

O gráfico seguinte permite concluir que quanto maior o tamanho de cada pacote, mais eficiente é a aplicação. Isto acontece porque é enviada mais informação de uma vez o que faz com menos tramas sejam enviadas e o *overhead* do seu processamento seja menor, logo o programa executa mais rapidamente. Existe um valor, 40 *bytes*, que muito provavelmente corresponde a um desvio significativo, sendo muito provavelmente, um erro de medição.

Variação do tempo de propagação

Foi introduzido um atraso de forma a simular o tempo de propagação e o gráfico seguinte demonstra que o aumento do tempo de propagação diminui de forma significativa a eficiência da ligação.

Variação da capacidade da ligação (C)

Com este gráfico podemos concluir que com o aumento da capacidade de ligação, diminui a eficiência. Se bem que a variação na eficiência da ligação é muito pequena e, portanto, a variação da capacidade da ligação tem um impacto muito pequeno na sua eficiência.

Variação do FER

A geração de erros no *BCC1* e no *BCC2* não tem um impacto muito grande na eficiência do programa, se bem que o seu efeito é consistente. Isto deve-se principalmente ao facto de que quando há erros no *BCC1* ou no *BCC2* é enviado imediatamente um pedido de repetição do envio da trama. Deste modo a diminuição da eficiência da ligação deve-se à maior quantidade de tramas que necessariamente têm de ser enviadas quando a percentagem de erros aumenta.

# **Conclusões**

O tema deste trabalho é o protocolo de ligação de dados, que consiste em fornecer um serviço de comunicação de dados fiável entre dois sistemas ligados por um meio de transmissão, neste caso, um cabo série.

Adicionalmente, foi dado a conhecer o termo **independência entre camadas**, e cada um dos blocos funcionais da arquitetura da aplicação desenvolvida, *writer* e *reader*, cumpre esta independência. Na camada de ligação de dados não é feito qualquer processamento que incida sobre o cabeçalho dos pacotes a transportar em tramas de Informação. Por outro lado, no que respeita à camada de aplicação, esta não conhece os detalhes do protocolo de ligação de dados, mas apenas a forma como este serviço é acedido.

Assim, o trabalho foi concluído com sucesso, tendo-se cumprido todos os objetivos propostos, sendo que a sua elaboração contribuiu para um aprofundamento do conhecimento teórico e prático acerca da temática de transferência de informação digital.

# **Anexo – código fonte**

***contants.h***

|  |
| --- |
|  |
| #pragma once |
|  |  |
|  |  |
|  | /\*\*\*\*\*\*\*\* Alterável \*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*/ |
|  | #define FILENAME "pinguim.gif" // "pinguim.gif" |
|  | #define SENDER\_PORT "/dev/ttyS10" |
|  | #define RECEIVER\_PORT "/dev/ttyS11" |
|  | #define BAUDRATE B9600 |
|  | #define MAX\_CHUNK\_SIZE 100 //tem de caber o nome do ficheiro e o seu tamanho no pacote de controlo |
|  | //para pinguim.gif min = 21; |
|  | #define T\_PROP 5000000L // 500000 nanoseconds -> 500 microsends |
|  | #define TIME\_CORRECTION 200.0 //to seconds |
|  | #define PROB\_ERROR 0 // em percentagem |
|  | /\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*/ |
|  |  |
|  | #define \_POSIX\_SOURCE 1 /\* POSIX compliant source \*/ |
|  |  |
|  | #define MAX\_FRAME\_SIZE 2 \* MAX\_CHUNK\_SIZE |
|  |  |
|  | #define CONTROL\_SIZE 5 |
|  | #define DATA\_PACKET\_SIZE 4 |
|  |  |
|  |  |
|  | #define FALSE 0 |
|  | #define TRUE 1 |
|  |  |
|  | #define FLAG 0x7E |
|  | #define CONTROL\_SET 0x02 |
|  | #define CONTROL\_DISC 0x0b |
|  | #define CONTROL\_UA 0x07 |
|  | #define CONTROL 0x03 |
|  | #define START\_CONTROL 0x02 |
|  | #define END\_CONTROL 0x03 |
|  | #define BCC(X, Y) (X) ^ (Y) |
|  |  |
|  | #define C\_R0 0x05 |
|  | #define C\_R1 0x85 |
|  | #define C\_REJ0 0x81 |
|  | #define C\_REJ1 0x01 |
|  |  |
|  | #define C0 0x00 |
|  | #define C1 0x40 |
|  | #define BYTE\_STUFF 0x20 |
|  | #define ESC 0x7d |
|  |  |
|  | #define FILE\_SIZE\_FIELD 0x00 |
|  | #define FILE\_NAME\_FIELD 0x01 |
|  | #define DATA\_FIELD 0x01 |
|  |  |
|  |  |
|  | #define TIMEOUT 3 |
|  | #define MAX\_TRIES 5 |
|  |  |
|  | #define RECEIVER 2 |
|  | #define SENDER 1 |
|  |  |
|  | extern struct termios oldtio,newtio; |
|  |  |
|  | typedef struct{ |
|  | char\* send\_fileName; |
|  | char\* receive\_fileName; |
|  | int open\_fd; |
|  | int close\_fd; |
|  | int fileSize; |
|  | } FileInfo; |
|  |  |
|  | enum phase{ |
|  | OPENING\_CONNECTION, |
|  | SENDING\_DATA, |
|  | CLOSING\_CONNECTION |
|  | }; |
|  |  |
|  | int fd; |
|  |  |

**send.c**

|  |
| --- |
| #include <sys/types.h> |
|  | #include <sys/stat.h> |
|  | #include <fcntl.h> |
|  | #include <signal.h> |
|  | #include <termios.h> |
|  | #include <stdio.h> |
|  | #include <string.h> |
|  | #include <stdlib.h> |
|  | #include <unistd.h> |
|  | #include <strings.h> |
|  | #include <time.h> |
|  |  |
|  | #include "constants.h" |
|  | #include "link\_layer.h" |
|  | #include "alarm.h" |
|  |  |
|  | extern enum phase link\_phase; |
|  | int fd; |
|  | clock\_t tic, toc; |
|  | int current\_percentage\_error; |
|  |  |
|  |  |
|  | int continueFlag = FALSE; |
|  | int numTries = 0; |
|  |  |
|  | int sendControlPacket(int fd, int control\_type, FileInfo FileInfo); |
|  | int sendFile(FileInfo fileInfo); |
|  | void printStats(); |
|  |  |
|  | int main(int argc, char\*\* argv) |
|  | { |
|  | srand(time(NULL)); |
|  | current\_percentage\_error = rand() % 101; |
|  | int c, res; |
|  | struct termios oldtio,newtio; |
|  |  |
|  | (void) signal(SIGALRM, atende); // instala rotina que atende interrupcao |
|  |  |
|  | printf(" -->SEnder<--\n"); |
|  |  |
|  |  |
|  | link\_phase = OPENING\_CONNECTION; |
|  | fd = llopen(SENDER); |
|  | if(fd == -1){ |
|  | perror("[ERROR] Could not establish connection\n"); |
|  | exit(-1); |
|  | } //else -> Connection online |
|  |  |
|  | printf("[CONNECTION ONLINE]\n"); |
|  |  |
|  |  |
|  | /\* +++++++DATA SEnding+++++++++++++++ \*/ |
|  | FileInfo fileInfo; |
|  | struct stat meta\_data; |
|  | int file\_fd; |
|  |  |
|  | //open file |
|  | file\_fd = open(FILENAME, O\_RDONLY); |
|  | if(file\_fd == -1){ |
|  | perror("[ERROR] Error opening file, aborting\n"); |
|  | return -1; |
|  | } |
|  |  |
|  | if(fstat(file\_fd, &meta\_data) == -1){ |
|  | perror("[ERROR] Error in fstat\n"); |
|  | return -1; |
|  | } |
|  |  |
|  | fileInfo.fileSize = meta\_data.st\_size; |
|  | fileInfo.open\_fd = file\_fd; |
|  | fileInfo.send\_fileName = FILENAME; |
|  |  |
|  |  |
|  | //construct and send opening control packet |
|  | link\_phase = SENDING\_DATA; |
|  | link\_control.N\_s = 1; |
|  | if(sendControlPacket(fd, START\_CONTROL, fileInfo) == -1){ |
|  | perror("[ERROR]\n Error sending start control packet\n"); |
|  | exit(1); |
|  | } |
|  |  |
|  | //send file |
|  | link\_phase = SENDING\_DATA; |
|  | link\_control.N\_s = 1; |
|  | link\_control.framesReceived = 0; |
|  | link\_control.framesSent = 0; |
|  | link\_control.RJreceived =0; |
|  | link\_control.RJsent = 0; |
|  | link\_control.RRreceived =0; |
|  | link\_control.RRsent = 0; |
|  | //start counting time |
|  | tic = clock(); |
|  |  |
|  | if(sendFile(fileInfo) == -1){ |
|  | printf("[ERROR]\n Error in llwrite - ABORTING\n"); |
|  | exit(2); |
|  | } |
|  | //stop counting time |
|  | toc = clock(); |
|  |  |
|  | //construct and send closing control packet |
|  | if(sendControlPacket(fd, END\_CONTROL, fileInfo) == -1){ |
|  | perror("[ERROR]\n Error sending ending control packet\n"); |
|  | exit(-1); |
|  | } |
|  |  |
|  | /\* +++++++++++++++++++++++++++++++++++ \*/ |
|  |  |
|  |  |
|  | llclose(fd, SENDER); |
|  | printf("[CONNECTION CLOSED]\n"); |
|  |  |
|  | printStats(); |
|  |  |
|  | return 0; |
|  | } |
|  |  |
|  | int sendControlPacket(int fd, int control\_type, FileInfo fileInfo){ |
|  | unsigned int index = 0; |
|  |  |
|  | unsigned int file\_size\_length = sizeof(fileInfo.fileSize); |
|  | //[C, T1, L1, ..., T2, L2, ...] = 5 (COntrol Size) |
|  | unsigned char packet[CONTROL\_SIZE + file\_size\_length + strlen(fileInfo.send\_fileName)]; |
|  |  |
|  | packet[index++] = control\_type; |
|  |  |
|  | //insert file size T1, L1 and value |
|  | packet[index++] = FILE\_SIZE\_FIELD; |
|  | packet[index++] = file\_size\_length; |
|  | unsigned char byteArray[file\_size\_length]; |
|  | //transformar int em array de chars |
|  | for (int i = 0; i < file\_size\_length; i++){ |
|  | byteArray[i] = (fileInfo.fileSize >> 8\*(file\_size\_length - 1 - i)); //masking |
|  | } |
|  | //colocar os chars no packet |
|  | for (int i = 0; i < file\_size\_length; i++){ |
|  | packet[index++] = byteArray[i]; |
|  | } |
|  |  |
|  | //insert file name |
|  | packet[index++] = FILE\_NAME\_FIELD; |
|  | packet[index++] = strlen(fileInfo.send\_fileName); |
|  | for (int i = 0; i < strlen(fileInfo.send\_fileName); i++){ |
|  | packet[index++] = fileInfo.send\_fileName[i]; |
|  | } |
|  | int res = llwrite(fd, packet, index); |
|  | if (res == -1){ |
|  | return -1; |
|  | } |
|  |  |
|  |  |
|  | return 0; |
|  | } |
|  |  |
|  | int sendFile(FileInfo fileInfo){ |
|  | unsigned char buffer[MAX\_CHUNK\_SIZE]; |
|  | unsigned int chunks\_sent = 0; |
|  | unsigned int chunks\_to\_send = fileInfo.fileSize / MAX\_CHUNK\_SIZE + (fileInfo.fileSize % MAX\_CHUNK\_SIZE != 0); //se na divisão pelo tamanho máximo sobrarem bytes é necessário adicionar mais um chunk com menos bytes do que o tamanho máximo |
|  |  |
|  | unsigned int byte\_read = 0; |
|  | unsigned int bytes\_written = 0; |
|  | unsigned int total = 0; |
|  |  |
|  | printf("[INFO]\n Sending file %s with %d bytes in %d splited parts\n", FILENAME, fileInfo.fileSize, chunks\_to\_send); |
|  |  |
|  | while(chunks\_sent < chunks\_to\_send){ |
|  | byte\_read = read(fileInfo.open\_fd, &buffer, MAX\_CHUNK\_SIZE); |
|  | unsigned char packet[DATA\_PACKET\_SIZE + byte\_read]; |
|  |  |
|  | //construct packet |
|  | // [C, N, L2, L1, P1, ..., Pk] |
|  | packet[0] = DATA\_FIELD; |
|  | packet[1] = chunks\_sent % 255; |
|  | packet[2] = byte\_read / 256; |
|  | packet[3] = byte\_read % 256; //última posição é 256 \* L2 + L1 |
|  | memcpy(&packet[4], &buffer, byte\_read); //coloca o conteudo do buffer nas posições seguintes do packet |
|  |  |
|  | bytes\_written = llwrite(fd, packet,byte\_read + DATA\_PACKET\_SIZE); |
|  | if(bytes\_written == -1)return -1; |
|  | total += bytes\_written; |
|  | chunks\_sent++; |
|  | } |
|  | printf("[INFO]\n Sent %d data bytes in %d chunks\n", total - DATA\_PACKET\_SIZE \* chunks\_sent,chunks\_sent); |
|  | } |
|  |  |
|  | void printStats(){ |
|  | printf("\n \*\*\*Statistics\*\*\*\n"); |
|  | printf("Number os frames sent: %d\n", link\_control.framesSent); |
|  | printf("Number of RR frames received: %d\n", link\_control.RRreceived); |
|  | printf("Number of REJ frames received: %d\n", link\_control.RJreceived); |
|  | printf(" \*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\n"); |
|  | } |

**receive.c**

|  |
| --- |
| #include "constants.h" |
|  | #include "link\_layer.h" |
|  |  |
|  | #include <sys/types.h> |
|  | #include <sys/stat.h> |
|  | #include <fcntl.h> |
|  | #include <signal.h> |
|  | #include <termios.h> |
|  | #include <stdio.h> |
|  | #include <string.h> |
|  | #include <stdlib.h> |
|  | #include <unistd.h> |
|  | #include <strings.h> |
|  | #include <time.h> |
|  |  |
|  |  |
|  | extern enum phase link\_phase; |
|  | FileInfo fileInfo; |
|  | struct timespec t0, t1; |
|  | int current\_percentage\_error; |
|  |  |
|  | int continueFlag = FALSE; |
|  | int numTries = 0; |
|  |  |
|  | int readControlPacket(); |
|  | int receiveFile(FileInfo fileInfo); |
|  | void processData(unsigned char\* packet, FileInfo fileInfo); |
|  | void printStats(double time\_taken); |
|  |  |
|  | int main(int argc, char\*\* argv) |
|  | { |
|  | srand(time(NULL)); |
|  | current\_percentage\_error = rand() % 101; |
|  | int fd,c, res; |
|  | struct termios oldtio,newtio; |
|  | bzero(&fileInfo, sizeof(fileInfo)); |
|  | unsigned char packet[MAX\_FRAME\_SIZE + DATA\_PACKET\_SIZE]; |
|  |  |
|  | printf(" -->RECEIVER<--\n"); |
|  |  |
|  | link\_phase = OPENING\_CONNECTION; |
|  | fd = llopen(RECEIVER); |
|  | if(fd == -1){ |
|  | perror("[ERROR] Could not establish connection\n"); |
|  | exit(-1); |
|  | } //else -> Connection online |
|  |  |
|  | printf("[CONNECTION ONLINE]\n"); |
|  |  |
|  |  |
|  | /\* +++++++DATA Receiving+++++++++++++++ \*/ |
|  |  |
|  | //receive start control packet |
|  | link\_phase = OPENING\_CONNECTION; |
|  | link\_control.N\_s = 0; |
|  |  |
|  | if(readControlPacket() == -1){ |
|  | perror("[ERROR]\n Error reading start control packet\n"); |
|  | exit(1); |
|  | } |
|  | printf("[INFO]\n Ready to receive data\n"); |
|  | //receive data packets |
|  | link\_phase = SENDING\_DATA; |
|  | link\_control.RJreceived =0; |
|  | link\_control.RJsent = 0; |
|  | link\_control.RRreceived =0; |
|  | link\_control.RRsent = 0; |
|  | link\_control.framesReceived =0; |
|  |  |
|  | clock\_gettime(0, &t0); |
|  |  |
|  | if(receiveFile(fileInfo) == -1){ |
|  | printf("[ERROR]\n Error in llread\n"); |
|  | exit(2); |
|  | } |
|  |  |
|  | clock\_gettime(0, &t1); |
|  | double time\_taken = ((double) t1.tv\_sec - t0.tv\_sec) + ((double)(t1.tv\_nsec - t0.tv\_nsec) /1000000000L); |
|  | /\* +++++++++++++++++++++++++++++++++++ \*/ |
|  |  |
|  | llclose(fd, RECEIVER); |
|  | printf("[CONNECTION CLOSED]\n"); |
|  |  |
|  | printStats(time\_taken); |
|  |  |
|  | return 0; |
|  | } |
|  |  |
|  |  |
|  | int readControlPacket(){ |
|  | unsigned char packet[MAX\_FRAME\_SIZE]; |
|  | int res = llread(fd, packet, OPENING\_CONNECTION); |
|  | if(res == -1){ |
|  | return -1; |
|  | } |
|  |  |
|  | int index = 1; //after flag |
|  | int file\_size = 0; |
|  |  |
|  | if( packet[index] != FILE\_SIZE\_FIELD){ |
|  | return -1; |
|  | } |
|  | else{ |
|  | index++; |
|  | int file\_size\_length = packet[index++]; |
|  | //transforming chars byte into an int again |
|  | for(int i = 0; i < file\_size\_length; i++){ |
|  | file\_size += packet[index++] << 8 \* (file\_size\_length - 1 - i); |
|  | } |
|  | } |
|  | if( packet[index] != FILE\_NAME\_FIELD) return -1; |
|  | else{ |
|  | index++; |
|  | int name\_length = packet[index++]; |
|  | char file\_name[name\_length + 1]; |
|  | for(int i = 0; i < name\_length; i++){ |
|  | file\_name[i] = packet[index++]; |
|  | } |
|  | file\_name[name\_length] = '\0'; |
|  | //testing |
|  | file\_name[0] = '1'; |
|  | // |
|  | fileInfo.receive\_fileName = file\_name; |
|  | remove(fileInfo.receive\_fileName); |
|  | fileInfo.close\_fd = open(fileInfo.receive\_fileName, O\_RDWR | O\_CREAT , 777); |
|  | printf("[INFO]\n Prepared to receive file: %s with size: %d\n", file\_name, file\_size); |
|  | } |
|  | return 0; |
|  | } |
|  |  |
|  | int receiveFile(FileInfo fileInfo){ |
|  | unsigned char max\_buf[MAX\_CHUNK\_SIZE + DATA\_PACKET\_SIZE]; |
|  |  |
|  | unsigned int bytes\_read = 0; |
|  | unsigned int received = 0; |
|  | int aux = 0; |
|  | while(! received){ |
|  | if((aux = llread(fd, max\_buf, SENDING\_DATA)) != 0){ |
|  |  |
|  | printf("[INFO]\n Received packet #%d\n", link\_control.framesReceived); |
|  |  |
|  | bytes\_read += aux; |
|  | if(max\_buf[0] == DATA\_FIELD) { |
|  | processData(max\_buf, fileInfo); |
|  | } |
|  | else if(max\_buf[0] == END\_CONTROL){ |
|  | received = 1; |
|  | } |
|  | } |
|  | } |
|  | close(fileInfo.close\_fd); |
|  | return 0; |
|  | } |
|  |  |
|  |  |
|  | void processData(unsigned char\* packet, FileInfo fileInfo){ |
|  |  |
|  | int dataSize = 256 \* packet[2] + packet[3]; |
|  |  |
|  | int res = write(fileInfo.close\_fd, &packet[4], dataSize); |
|  | } |
|  |  |
|  | void printStats(double time\_taken){ |
|  | printf("\n \*\*\*Statistics\*\*\*\n"); |
|  | printf("Total transfer time: %f seconds\n",time\_taken); |
|  | printf("Number of frames received: %d\n", link\_control.framesReceived); |
|  | printf("Number of RR frames sent: %d\n", link\_control.RRsent); |
|  | printf("Number of REJ frames sent: %d\n", link\_control.RJsent); |
|  | printf(" \*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\n"); |
|  |  |
|  |  |
|  | } |

**Link\_layer.h**

|  |
| --- |
| #pragma once |
|  |  |
|  | #include "constants.h" |
|  |  |
|  |  |
|  | extern int continueFlag; |
|  | extern int numTries; |
|  |  |
|  | #define SENDER 1 |
|  | #define RECEIVER 2 |
|  |  |
|  | enum state { |
|  | START, |
|  | READ\_FLAG, |
|  | READ\_CONTROL, |
|  | READ\_BCC, |
|  | BCC\_OK, |
|  | DATA, |
|  | STOP |
|  | }; |
|  |  |
|  | typedef struct { |
|  | unsigned int N\_s; |
|  | unsigned int framesSent; |
|  | unsigned int framesReceived; |
|  | unsigned int RRsent; |
|  | unsigned int RJsent; |
|  | unsigned int RRreceived; |
|  | unsigned int RJreceived; |
|  | }Link\_control; |
|  |  |
|  | extern Link\_control link\_control; |
|  |  |
|  | int llopen(int type); |
|  |  |
|  | int llclose(int fd, int type); |
|  |  |
|  | int readMessage(int fd, unsigned char commandExpected[]); |
|  |  |
|  | int startConnection(int type); |
|  |  |
|  | int closeConnection(int fd); |
|  |  |
|  | int llwrite(int fd, unsigned char packet[], int index); |
|  |  |
|  | int sendControl(); |
|  |  |
|  | unsigned char COM\_currentMachine(enum state\* current, unsigned char buf); |
|  | void data\_currentMachine(enum state\* current, unsigned char buf); |
|  |  |
|  | int llread(int fd, unsigned char\* packet, int stage); |
|  |  |
|  | int readFrame(int fd, unsigned char\* frame); |
|  |  |
|  | int destuffFrame(unsigned char\* frame, int frame\_length, unsigned char\* final\_frame); |
|  |  |
|  | int readResponse(int fd); |
|  |  |
|  | int confirmIntegrity(unsigned char\* final\_frame, int final\_frame\_length, int stage); |

**Link\_layer.c**

|  |
| --- |
| #include "link\_layer.h" |
|  | #include "constants.h" |
|  | #include "alarm.h" |
|  |  |
|  | #include <stdio.h> |
|  | #include <termios.h> |
|  | #include <sys/types.h> |
|  | #include <sys/stat.h> |
|  | #include <fcntl.h> |
|  | #include <termios.h> |
|  | #include <stdio.h> |
|  | #include <stdlib.h> |
|  | #include <string.h> |
|  | #include <unistd.h> |
|  | #include <signal.h> |
|  | #include <strings.h> |
|  | #include <time.h> |
|  |  |
|  | unsigned char SET[5] = { FLAG, CONTROL, CONTROL\_SET, BCC(CONTROL, CONTROL\_SET), FLAG}; |
|  | unsigned char UA[5] = {FLAG, CONTROL, CONTROL\_UA, BCC(CONTROL, CONTROL\_UA), FLAG}; |
|  | unsigned char DISC[5] = {FLAG, CONTROL, CONTROL\_DISC, BCC(CONTROL, CONTROL\_DISC), FLAG}; |
|  | unsigned char RR1[5] = {FLAG, CONTROL, C\_R1, BCC(CONTROL, C\_R1), FLAG}; |
|  | unsigned char RR0[5] = {FLAG, CONTROL, C\_R0, BCC(CONTROL, C\_R0), FLAG}; |
|  | unsigned char REJ0[5] = {FLAG, CONTROL, C\_REJ1, BCC(CONTROL, C\_REJ1), FLAG}; |
|  | unsigned char REJ1[5] = {FLAG, CONTROL, C\_REJ0, BCC(CONTROL, C\_REJ0), FLAG}; |
|  |  |
|  | struct termios newtio, oldtio; |
|  | enum state current; |
|  | Link\_control link\_control; |
|  | extern int fd; |
|  | extern int current\_percentage\_error; |
|  | int bccFlag = FALSE; |
|  |  |
|  |  |
|  | int llopen(int type){ |
|  |  |
|  | fd = startConnection(type); |
|  | link\_control.N\_s = 0; |
|  | int res; |
|  | //sender |
|  | if(type == SENDER){ |
|  | //send SET |
|  | printf("[STARTING CONNECTION]\n"); |
|  | printf("[SENDING SET]\n"); |
|  |  |
|  | do{ |
|  |  |
|  | res = sendControl(); |
|  | //receive UA |
|  | setAlarm(TIMEOUT); |
|  | continueFlag = 0; // activa alarme |
|  | readMessage(fd, UA); |
|  | cancelAlarm(); |
|  | }while(continueFlag && numTries <= MAX\_TRIES); |
|  | if (numTries >= MAX\_TRIES) return -1; |
|  | else numTries = 1; |
|  | cancelAlarm(); |
|  | } |
|  |  |
|  | //receiver |
|  | else{ |
|  | //receive SET |
|  | readMessage(fd, SET); |
|  | printf("[SET RECEIVED]\n"); |
|  |  |
|  | res = write(fd, UA, sizeof(UA)); |
|  |  |
|  | printf("[UA SENDED]\n"); |
|  | } |
|  |  |
|  | //OK |
|  | return fd; |
|  | } |
|  |  |
|  |  |
|  | int llclose(int fd, int type){ |
|  |  |
|  | //sender |
|  | if(type == SENDER){ |
|  | //send DISC |
|  | printf("[CLOSING CONNECTION]\n[INFO]\n Sending DISC\n"); |
|  |  |
|  | do{ |
|  | write(fd, DISC, sizeof(DISC)); |
|  | //receive UA |
|  | setAlarm(TIMEOUT); |
|  | continueFlag = 0; // activa alarme de 3s |
|  | readMessage(fd, UA); |
|  | cancelAlarm(); |
|  | }while(continueFlag && numTries <= MAX\_TRIES); |
|  | if (numTries >= MAX\_TRIES) return -1; |
|  | else numTries = 1; |
|  | cancelAlarm(); |
|  | printf("[INFO]\n UA received\n"); |
|  | } |
|  | //receiver |
|  | else{ |
|  | //receive DISC |
|  | setAlarm(TIMEOUT); // activa alarme de 3s |
|  | readMessage(fd, DISC); |
|  | cancelAlarm(); |
|  | printf("[INFO]\n DISC received\n"); |
|  | //send UA |
|  | printf("[INFO]\n Sending UA\n"); |
|  | write(fd, UA, sizeof(UA)); |
|  | } |
|  |  |
|  | if(! closeConnection(fd)) return FALSE; |
|  |  |
|  | return TRUE; |
|  | } |
|  |  |
|  |  |
|  | int startConnection(int type){ |
|  |  |
|  | /\* |
|  | \*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\* |
|  | Open serial port device for reading and writing and not as controlling tty |
|  | because we don't want to get killed if linenoise sends CTRL-C. |
|  | \*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\* |
|  | \*/ |
|  | int fd; |
|  | if(type == SENDER) fd = open(SENDER\_PORT, O\_RDWR | O\_NOCTTY ); |
|  | else fd = open(RECEIVER\_PORT, O\_RDWR | O\_NOCTTY ); |
|  |  |
|  | if (fd <0) {perror(SENDER\_PORT); return -1; } |
|  |  |
|  | if ( tcgetattr(fd,&oldtio) == -1) { /\* save current port settings \*/ |
|  | 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] = 0; /\* inter-character timer unused \*/ |
|  | newtio.c\_cc[VMIN] = 1; /\* blocking read until 5 chars received \*/ |
|  |  |
|  | /\* |
|  | 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) { |
|  | perror("tcsetattr"); |
|  | return -1; |
|  | } |
|  | printf("New termios structure is set\n"); |
|  | /\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*\*/ |
|  | return fd; |
|  | } |
|  |  |
|  |  |
|  | int readMessage(int fd, unsigned char commandExpected[]){ |
|  | current = START; |
|  |  |
|  | unsigned char buf[1]; |
|  | int res; |
|  | while (current != STOP){ |
|  | res = read(fd, buf, 1); |
|  | COM\_currentMachine(&current, buf[0]); |
|  | } |
|  | } |
|  |  |
|  |  |
|  | unsigned char COM\_currentMachine(enum state\* current, unsigned char buf){ |
|  | unsigned char control\_byte; |
|  |  |
|  | switch (\*current){ |
|  | case START: |
|  | if (buf==FLAG) \*current = READ\_FLAG; |
|  | else \*current=START; |
|  | break; |
|  |  |
|  | case READ\_FLAG: |
|  | if(buf == CONTROL) \*current = READ\_CONTROL; |
|  | else if(buf==FLAG) |
|  | \*current = READ\_FLAG; |
|  | else |
|  | \*current= START; |
|  | break; |
|  |  |
|  | case READ\_CONTROL: |
|  | if((buf == CONTROL\_SET) || (buf == CONTROL\_UA) || (buf = CONTROL\_DISC) || (buf == C0) || (buf == C1)){ |
|  | control\_byte = buf; |
|  | \*current=READ\_BCC; |
|  | } |
|  | else if(buf==FLAG){ |
|  | \*current=READ\_FLAG; |
|  | } |
|  | else |
|  | \*current=START; |
|  | break; |
|  |  |
|  | case READ\_BCC: |
|  | if(buf == BCC(CONTROL, control\_byte)) \*current=BCC\_OK; |
|  | else if (buf==FLAG) \*current=READ\_FLAG; |
|  | else |
|  | \*current=START; |
|  | break; |
|  |  |
|  | case BCC\_OK: |
|  | if(buf==FLAG){ |
|  | \*current = STOP; |
|  | } |
|  | else \*current = FLAG; |
|  | break; |
|  |  |
|  | } |
|  | return control\_byte; |
|  | } |
|  |  |
|  | void data\_currentMachine(enum state\* current, unsigned char buf) { |
|  | unsigned char control\_byte; |
|  |  |
|  | switch(\*current) { |
|  | case START: |
|  | if(buf == FLAG){ |
|  | \*current = READ\_FLAG; |
|  | } |
|  | else \*current=START; |
|  | break; |
|  | case READ\_FLAG: |
|  | if(buf == CONTROL) \*current = READ\_CONTROL; |
|  | else if(buf==FLAG) |
|  | \*current = READ\_FLAG; |
|  | else |
|  | \*current= START; |
|  | break; |
|  | case READ\_CONTROL: |
|  | if((buf == C0) || (buf == C1)){ |
|  | control\_byte = buf; |
|  | \*current=READ\_BCC; |
|  | } |
|  | else if(buf==FLAG) |
|  |  |
|  | \*current=READ\_FLAG; |
|  | else |
|  | \*current=START; |
|  | break; |
|  | case READ\_BCC: |
|  | if(buf == BCC(CONTROL, control\_byte)) \*current=BCC\_OK; |
|  | else if (buf==FLAG) \*current=READ\_FLAG; |
|  | else |
|  | \*current=START; |
|  | break; |
|  | case BCC\_OK: |
|  | if(buf!=FLAG){ |
|  | \*current = DATA; |
|  | return; |
|  | } |
|  | else \*current=START; |
|  |  |
|  | break; |
|  |  |
|  | case DATA: |
|  | if(buf==FLAG){ |
|  | \*current = STOP; |
|  | return; |
|  | } |
|  | break; |
|  |  |
|  | case STOP: |
|  | break; |
|  | default: |
|  | break; |
|  | } |
|  | } |
|  |  |
|  |  |
|  | int closeConnection(int fd){ |
|  |  |
|  | //Voltar a colocar a estrutura termios no estado inicial |
|  | sleep(2); |
|  | if ( tcsetattr(fd,TCSANOW,&oldtio) == -1) { |
|  | perror("tcsetattr"); |
|  | return FALSE; |
|  | } |
|  | close(fd); |
|  | return TRUE; |
|  | } |
|  |  |
|  |  |
|  | int llwrite(int fd, unsigned char packet[], int packet\_size){ |
|  | if(link\_control.N\_s == 0) link\_control.N\_s = 1; |
|  | else link\_control.N\_s = 0; |
|  |  |
|  | int continueFlag = TRUE; |
|  | int res; |
|  | unsigned int framePosition;; |
|  | unsigned int tries = 0; |
|  | unsigned char frame[2 \* packet\_size + 6]; // 6 = F+A+C+BCC1+BCC2+F || 2\*packet para assegurar que existe espaço suficiente para byte stuffing |
|  |  |
|  |  |
|  |  |
|  | framePosition = 4; |
|  | //compose frame |
|  | //frame: [F, A, C, BCC1, [packet], BCC2, F] |
|  | //frame header |
|  | frame[0] = FLAG; |
|  | frame[1] = CONTROL; |
|  | if(link\_control.N\_s == 0) frame[2] = C0; |
|  | else frame[2] = C1; |
|  | frame[3] = BCC(CONTROL, frame[2]); |
|  |  |
|  | //process data |
|  |  |
|  | unsigned int packetPosition = 0; |
|  | unsigned char current\_packet\_char; |
|  |  |
|  | while(packetPosition < packet\_size){ |
|  | current\_packet\_char = packet[packetPosition++]; |
|  |  |
|  | if(current\_packet\_char == FLAG || current\_packet\_char == ESC){ |
|  | frame[framePosition++] = ESC; |
|  | frame[framePosition++] = current\_packet\_char ^ BYTE\_STUFF; |
|  | } |
|  | else frame[framePosition++] = current\_packet\_char; |
|  |  |
|  | } |
|  | unsigned char bcc2 = 0; |
|  | for (int i = 0; i < packet\_size; i++){//packing packet in frame |
|  | bcc2 ^= packet[i]; |
|  | } |
|  | //frame footer |
|  | if(bcc2 == FLAG || bcc2 == ESC){ |
|  | frame[framePosition++] = ESC; |
|  | frame[framePosition++] = bcc2 ^ BYTE\_STUFF; |
|  | } |
|  | else frame[framePosition++] = bcc2; |
|  | frame[framePosition++] = FLAG; |
|  |  |
|  | do{ |
|  |  |
|  | res = write(fd, frame, framePosition); |
|  |  |
|  | setAlarm(TIMEOUT); |
|  | continueFlag = 0; |
|  |  |
|  | if(readResponse(fd) == -1){ |
|  | cancelAlarm(); |
|  | continueFlag = 1; |
|  | link\_control.RJreceived++; |
|  | printf("[INFO]\n Received REJ #%d\n", link\_control.RJreceived); |
|  | continue; |
|  | } |
|  | }while(continueFlag && numTries <= MAX\_TRIES); |
|  | if (numTries >= MAX\_TRIES) return -1; |
|  | else numTries = 1; |
|  | cancelAlarm(); |
|  |  |
|  | printf("[INFO]\n Sent frame number %d with size %d\n", link\_control.framesSent, framePosition); |
|  | link\_control.framesSent++; |
|  | return res; |
|  | } |
|  |  |
|  |  |
|  | int sendControl(){ |
|  | int res = write(fd, SET, sizeof(SET)); |
|  | return res; |
|  | } |
|  |  |
|  |  |
|  | int llread(int fd, unsigned char\* packet, int stage){ |
|  | unsigned char frame[MAX\_FRAME\_SIZE]; |
|  | unsigned char control\_field = 0x00; |
|  | int done = FALSE; |
|  | int frame\_length = 0; |
|  | int packet\_length = 0; |
|  |  |
|  | while(! done){ |
|  | frame\_length = readFrame(fd, frame); |
|  | if(frame\_length == -1){ |
|  | return -1; |
|  | } |
|  |  |
|  | // destuff frame |
|  | unsigned char final\_frame[frame\_length]; |
|  | int final\_frame\_length = destuffFrame(frame, frame\_length, final\_frame); |
|  |  |
|  | control\_field = frame[2]; |
|  | // //confirm data Integrity |
|  | if(! confirmIntegrity(final\_frame, final\_frame\_length, stage)){ |
|  | printf("[ERROR]\n Packet with error, asking re-emission\n"); |
|  | if(control\_field == C0){ |
|  | write(fd, REJ1, sizeof(REJ1)); |
|  | link\_control.RJsent++; |
|  | printf("[INFO]\n REJ1 sent\n"); |
|  | } |
|  | else if(control\_field == C1){ |
|  | write(fd, REJ0, sizeof(REJ0)); |
|  | link\_control.RJsent++; |
|  | printf("[INFO]\n REJ0 sent\n"); |
|  | } |
|  | return 0; |
|  | } |
|  | else{ |
|  | // //Get the packet from within the frame |
|  |  |
|  | for (int i = 4; i < final\_frame\_length - 2; i++) { |
|  | packet[packet\_length] = final\_frame[i]; |
|  | packet\_length++; |
|  | } |
|  |  |
|  | //simulate propagation time |
|  | nanosleep((const struct timespec[]){{0, T\_PROP}}, NULL); |
|  |  |
|  | // //send proper response() |
|  | if(control\_field == C1){ |
|  | write(fd, RR0, sizeof(RR0)); |
|  | link\_control.RRsent++; |
|  | link\_control.framesReceived++; |
|  | printf("[INFO]\n RR0 sent\n"); |
|  | done == TRUE; |
|  | break; |
|  | } |
|  | else{ |
|  | write(fd, RR1, sizeof(RR1)); |
|  | link\_control.RRsent++; |
|  | link\_control.framesReceived++; |
|  | printf("[INFO]\n RR1 sent\n"); |
|  | done == TRUE; |
|  | break; |
|  | } |
|  | } |
|  | } |
|  | return packet\_length; |
|  | } |
|  |  |
|  |  |
|  | int readFrame(int fd, unsigned char\* frame){ |
|  | enum state current = START; |
|  | unsigned char byte\_read; |
|  | int position = 0; |
|  |  |
|  | while (current != STOP){ |
|  | read(fd, &byte\_read, 1); |
|  | data\_currentMachine(&current, byte\_read); |
|  | frame[position++] = byte\_read; |
|  | } |
|  |  |
|  | return position; |
|  | } |
|  |  |
|  |  |
|  | int destuffFrame(unsigned char\* frame, int frame\_length, unsigned char\* final\_frame){ |
|  |  |
|  | final\_frame[0] = frame[0]; |
|  | final\_frame[1] = frame[1]; |
|  | final\_frame[2] = frame[2]; |
|  | final\_frame[3] = frame[3]; // FLAG, A, C, BCC1 |
|  |  |
|  | int j = 4, i = 4; |
|  |  |
|  | while(i < frame\_length - 1){ |
|  | if(frame[i] != ESC){ |
|  | final\_frame[j++] = frame[i]; |
|  | } |
|  | else{ |
|  | i++; |
|  | if(frame[i] == (FLAG ^ BYTE\_STUFF)) final\_frame[j++] = FLAG; |
|  | else if (frame[i] == (ESC ^ BYTE\_STUFF)) final\_frame[j++] = ESC; |
|  | } |
|  | i++; |
|  | } |
|  |  |
|  | final\_frame[j++] = frame[i++]; |
|  |  |
|  | return j; |
|  | } |
|  |  |
|  | int readResponse(int fd){ |
|  | unsigned char byte\_read, control\_field; |
|  | current = START; |
|  | while(current != STOP && !continueFlag){ |
|  | int res = read(fd, &byte\_read, 1); |
|  | COM\_currentMachine(&current, byte\_read); |
|  | if(current == READ\_BCC){ |
|  | control\_field = byte\_read; |
|  | } |
|  | } |
|  | if(control\_field == C\_R0 && link\_control.N\_s == 1){ |
|  | return 0; |
|  | } |
|  | else if(control\_field == C\_R1 && link\_control.N\_s == 0){ |
|  | return 0; |
|  | } |
|  | else{ |
|  | return -1; |
|  | } |
|  | } |
|  |  |
|  | int confirmIntegrity(unsigned char\* final\_frame, int final\_frame\_length, int stage){ |
|  | unsigned char adress\_field = final\_frame[1]; |
|  | unsigned char control\_field = final\_frame[2]; |
|  | unsigned char BCC1 = final\_frame[3]; |
|  |  |
|  |  |
|  | current\_percentage\_error = rand() % 101; |
|  | if(current\_percentage\_error < PROB\_ERROR && stage == SENDING\_DATA && bccFlag == TRUE){ |
|  | printf("[INFO]\n Forced BCC1 error\n"); |
|  | bccFlag= FALSE; |
|  | return FALSE; |
|  | } |
|  |  |
|  |  |
|  | if((BCC1 == BCC(adress\_field, control\_field)) && (control\_field == C0 || control\_field == C1)){ |
|  | //calculate expected bcc2 ( data packet is between 4 and size - 2 of frame) |
|  | unsigned char expected\_bcc2 = 0; |
|  | for( int i = 4; i < final\_frame\_length - 2; i++){ |
|  | expected\_bcc2 ^= final\_frame[i]; |
|  | } |
|  | unsigned char bcc2 = final\_frame[final\_frame\_length - 2]; |
|  |  |
|  | current\_percentage\_error = rand() % 101; |
|  | if(current\_percentage\_error < PROB\_ERROR && stage == SENDING\_DATA && bccFlag== TRUE){ |
|  | printf("[INFO]\n Forced BCC2 error\n"); |
|  | bccFlag = FALSE; |
|  | return FALSE; |
|  | } |
|  |  |
|  | if(bcc2 != expected\_bcc2){ |
|  | printf("[ERROR]\n Error in bcc2\n"); |
|  | return FALSE; |
|  | } |
|  | } |
|  | else if ((control\_field != C1) || (control\_field != C0)){ |
|  | printf("[ERROR]\n Error in control field received\n"); |
|  | return FALSE; |
|  | } |
|  | bccFlag = TRUE; |
|  | return TRUE; |
|  | } |

**Alarm.h**

|  |
| --- |
| #pragma once |
|  |  |
|  | #include <stdio.h> |
|  | #include <signal.h> |
|  | #include <unistd.h> |
|  |  |
|  | extern int continueFlag; |
|  | extern int numTries; |
|  |  |
|  | void setAlarm(); |
|  |  |
|  | void cancelAlarm(); |
|  |  |
|  | void atende(); |

**Alarm.c**

|  |
| --- |
| #include <stdlib.h> |
|  |  |
|  | #include "alarm.h" |
|  | #include "constants.h" |
|  | #include "link\_layer.h" |
|  |  |
|  |  |
|  | enum phase link\_phase; |
|  |  |
|  | void atende(int signal) { |
|  | if(signal != SIGALRM) |
|  | return; |
|  |  |
|  | printf("[TIMEOUT]\n Alarm #: %d\n", numTries + 1); |
|  | continueFlag = 1; |
|  | numTries++; |
|  | } |
|  |  |
|  | void setAlarm() { |
|  | // set sigaction struct |
|  | struct sigaction sa; |
|  | sa.sa\_handler = &atende; |
|  | sigemptyset(&sa.sa\_mask); |
|  | sa.sa\_flags = 0; |
|  |  |
|  | sigaction(SIGALRM, &sa, NULL); |
|  |  |
|  | continueFlag = 0; |
|  |  |
|  | alarm(TIMEOUT); // install alarm |
|  | } |
|  |  |
|  | void cancelAlarm() { |
|  | // unset sigaction struct |
|  | struct sigaction action; |
|  | action.sa\_handler = NULL; |
|  |  |
|  | sigaction(SIGALRM, &action, NULL); |
|  |  |
|  | alarm(0); // uninstall alarm |
|  | } |

# Anexo II – cálculos da eficiência da ligação

|  |  |
| --- | --- |
| **Valores de referência** |  |
| Total de bytes do ficheiro | 10968 |
| Total de bits do ficheiro | 87744 |
| C (baudrate) | 38400 |
| Tamanho de pacote | 200 |
| Tprop simulado | 0 |

Tabela 1: valores base

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Probabilidade de erro (bcc1 + bcc2)** | **Tempo (s)** | **R (bits/s)** | **S (R/C)** |
| 0 + 0 | 6,63 | 13234,38914 | 0,689291101 |
| 2 + 2 | 6,97 | 12588,80918 | 0,655667145 |
| 4 + 4 | 7,21 | 12169,76422 | 0,633841886 |
| 6 + 6 | 7,455 | 11769,81891 | 0,613011402 |
| 8 + 8 | 7,87 | 11149,17408 | 0,58068615 |
| 10 + 10 | 8,06 | 10886,35236 | 0,566997519 |

Tabela 2: Valores da eficiência da ligação para diferentes quantidades de erro nos bcc

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Tamanho de pacote** | **Tempo (s)** | **R (bits/s)** | **S (R/C)** |
| 20 | 9,98 | 1923,847695 | 0,100200401 |
| 40 | 7,97 | 11009,28482 | 0,573400251 |
| 60 | 7,23 | 12136,09959 | 0,63208852 |
| 80 | 6,87 | 12772,0524 | 0,665211063 |
| 100 | 6,64 | 13214,45783 | 0,688253012 |
| 120 | 6,49 | 13519,87673 | 0,704160247 |
| 140 | 6,39 | 13731,4554 | 0,715179969 |
| 160 | 6,30 | 13927,61905 | 0,725396825 |
| 180 | 6,00 | 14624 | 0,761666667 |
| 200 | 5,90 | 14871,86441 | 0,774576271 |

Tabela 3: eficiência da ligação para diferentes tamanhos do pacote

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **C (baudrate)** | **Tempo (s)** | **R (bits/s)** | **S (R/C)** |
| 600 | 211,78 | 414,3167438 | 0,690527906 |
| 1200 | 105,89 | 828,6334876 | 0,690527906 |
| 1800 | 70,59 | 1243,008925 | 0,690560514 |
| 2400 | 52,95 | 1657,110482 | 0,690462701 |
| 4800 | 26,49 | 3312,344281 | 0,690071725 |
| 9600 | 13,26 | 6617,19457 | 0,689291101 |
| 19200 | 6,64 | 13214,45783 | 0,688253012 |
| 38400 | 3,33 | 26349,54955 | 0,686186186 |

Tabela 4: eficiência da ligação para diferentes capacidades

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Tempo de propagação (ns)** | **Tempo (s)** | **R (bits/s)** | **S (R/C)** |
| 5\*102 | 6,69 | 13115,69507 | 0,683109118 |
| 5\*103 | 7,2 | 2666,666667 | 0,138888889 |
| 5\*104 | 12,90 | 1488,372093 | 0,07751938 |
| 5\*105 | 62,4 | 307,6923077 | 0,016025641 |

Tabela 5: eficiência da ligação para diferentes tempos de propagação