U.PORTO
FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA UNIVERSIDADE DO PORTO

MIEIC 3º Ano

Novembro 2019

Redes de Computadores

1º Trabalho Laboratorial – Ligação de Dados

Turma 7

João Praça - up201704748

Leonor Sousa - up201705377

Sílvia Rocha - up201704684

Prof. Manuel Pereira Ricardo

Prof. Rui Lopes Campos

Sumário

O 1º Projeto Laboratorial foi elaborado no contexto da unidade curricular Redes de Computadores e teve como tema ligação de dados. Deste modo o objetivo do projeto passava em elaborar um programa que simulava um protocolo de ligação de dados e um protocolo de uma aplicação que tinham como objetivo a transferência de dados entre dois computadores via porta de série.

Introdução

Este projeto tinha como **objetivos**:

- Elaborar um protocolo de ligação de dados;
- Elaborar uma aplicação simples que permite a transferência de ficheiros, utilizando o protocolo de ligação de dados previamente elaborado.

O relatório adjacente ao projeto tem como principal objetivo esclarecer a arquitetura, estrutura e a aplicação dos protocolos utilizados no projeto, assim como fazer a validação e a análise da eficiência do código desenvolvido.

Seguidamente, apresentam-se, neste relatório, informações sobre a implementação, casos de uso e resultados deste projeto. Deste modo, o relatório encontra-se estruturada da seguinte forma:

- **Arquitetura e Estrutura do Código** – descrição da arquitetura utilizada e da estruturação do código (APIs, estruturas de dados utilizadas e funções), assim como a relação entre ambas.
- **Casos de Uso Principais** – identificação dos casos de uso mais importantes, assim como da sequência de chamada de funções relacionada com cada um.
- **Protocolos** - descrição dos principais aspetos funcionais e implementação respetiva dos seguintes protocolos:
  - Protocolo de Ligação de Dados
  - Protocolo de Aplicação
- **Validação e Eficiência do Protocolo de Ligação de Dados** – descrição dos testes utilizados e seus respetivos resultados, caracterização estatística da eficiência do protocolo e comparação da mesma com os resultados esperados.

Arquitetura e Estrutura do Código

A arquitetura deste projeto consiste abrange 3 blocos funcionais:

protocol (protocol.h e protocol.c)

Bloco responsável por fazer a criação e processamento de tramas e por fazer a transmissão em si. É também neste bloco que são efetuados os mecanismos de stuffing e destuffing, assim como eventuais retransmissões e verificação da integridade das tramas.

A API deste bloco é constituída pelas seguintes principais funções:

int open_port(char* porta, struct termios *oldtio)	void close_port(int fd, struct termios *oldtio)
void send_set(int fd);	void send_ua_rcv(int fd);
void send_ua_snd(int fd);	void send_disc_rcv(int fd);
void send_disc_snd(int fd);	void send_resp(int fd, char c, char a);
int send_msg(int fd,unsigned char* msg, int length);	
int receive_msg(int fd, unsigned char c, unsigned char a, bool data, unsigned char data_buf[], bool data_resp);	
void receive_set(int fd);	void receive_disc_rcv(int fd);
void receive_disc_snd(int fd);	void receive_ua_rcv(int fd);
void receive_ua_snd(int fd);	bool receive_data_rsp(int fd);
int receive_data(int fd, unsigned char data_buf[]);	

application (application.h e application.c)

Bloco responsável por fazer a divisão do ficheiro em diversas partes e por construir e processar os pacotes (de controlo e de dados).

A API deste bloco é constituída pelas seguintes principais funções:

int llopen(unsigned char *porta, bool transmitter);	int llclose(int fd);
int llwrite(int fd, unsigned char * buffer, int length);	int llreadFile(int fd);
void llopen_image(unsigned char *path, int fd);	

nserial (nserial.c)

Bloco responsável por fazer a interface entre o utilizador e o bloco application. É constituído pela função main e pode ser chamado, via consola, através da instrução:

.\nserial <portaDeSerie> <TRANSMITTER(1)|RECEIVER(0)> <ficheiro>

- <portaDeSerie> é uma string do tipo "/dev/ttySX", em que X é o número da porta de série
- O campo <TRANSMITTER(1)|RECEIVER(0)> deverá ser 1 se se tratar do transmissor e 0 se se tratar do receptor
- O campo <ficheiro> só deverá existir caso se trato do transmissor e representa o ficheiro que deve ser enviado.

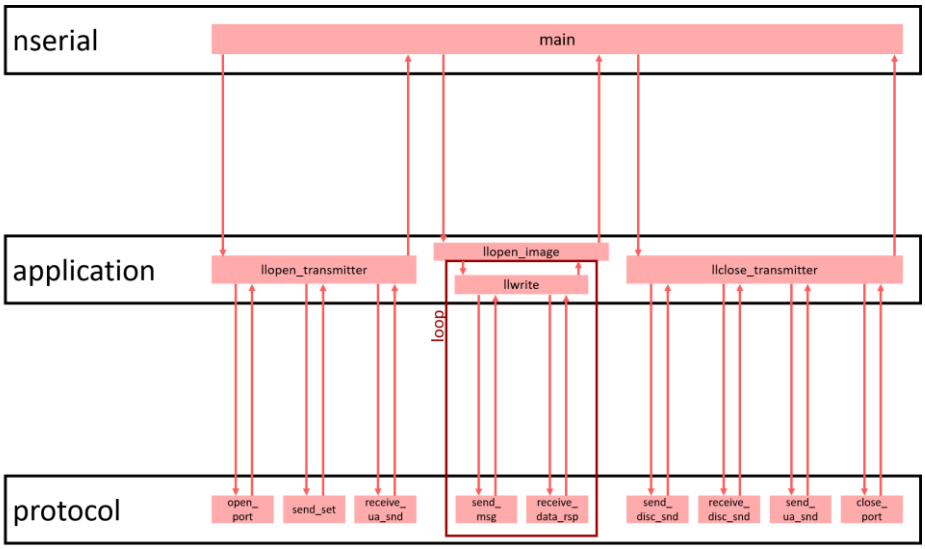
Casos de Uso Principais

O principal caso de uso deste programa é a transmissão de ficheiros via porta de série. Desta forma, podemos subdividir este caso em dois subcasos:

Envio de um Ficheiro

O envio de um ficheiro pode ser feito, através da linha de comandos, usando a instrução: ./nserial <portaDeSerie> 1 <ficheiro>.

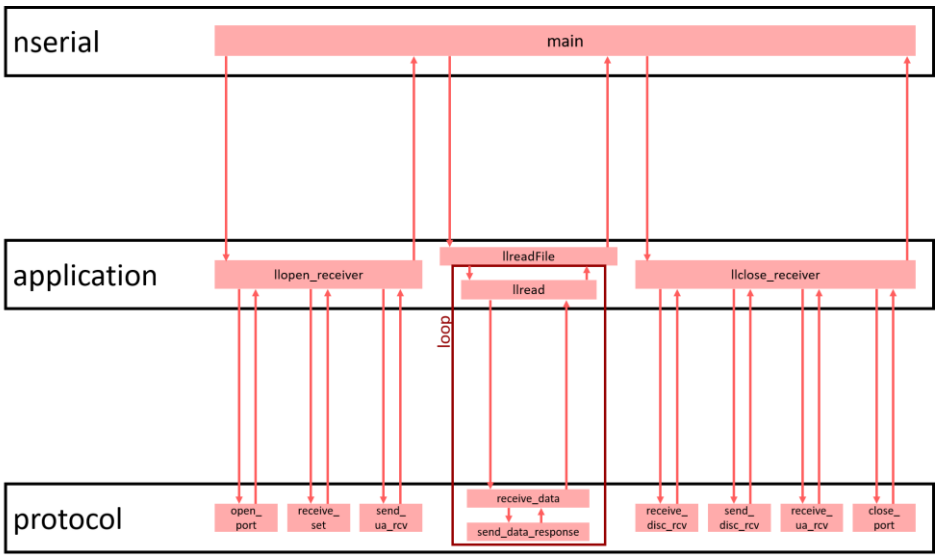
Esta instrução aciona a seguinte sequência de chamada de funções:



Receção de um Ficheiro

A receção de um ficheiro pode ser feito, através da linha de comandos, usando a instrução: .\nserial <portaDeSerie> 0.

Esta instrução aciona a seguinte sequência de chamada de funções:



Protocolos

Protocolo de Ligação Lógica

Uma das principais funcionalidades do protocolo de ligação lógico é a criação e o processamento de tramas do tipo I e de tramas de dados. Estas tramas têm um formato já especificado à priori. O seu processamento é efetuado recorrendo à função receive_msg(), onde é implementada uma máquina de estados. A sua criação é efetuada nas funções send_msg() (tramas de dados) e send_resp (tramas do tipo I).

A estas tramas é aplicado byte stuffing (no envio de dados) e byte destuffing (na receção de dados). Este mecanismo é aplicado recorrendo ao octeto escape (0x7D). Desta forma, sempre que se quer enviar o byte 0x7E, são enviados os bytes 0x7D e 0x5E e, sempre que se quer enviar o byte 0x7D, são enviados os bytes 0x7D e 0x5D. Na leitura faz-se o processamento inverso.

O protocolo de ligação de dados faz também a verificação da integridade das tramas, a partir da análise do BCC e do BCC2, no caso de tramas de dados.

No caso de ocorrer um timeout na receção da resposta ao envio da trama, a trama é reenviada. Este mecanismo é efetuado recorrendo a sinais do tipo ALARM.

```c
int cnt=0;
for (int i = 0; i < length; i++)
{
    if (msg[i] == 0x7E)
    {
        buf2[4+i+cnt]=0x7D;
        cnt++;
        buf2[4 + i+cnt] = 0x5E;
    }
    else if (msg[i] == 0x7D)
    {
        buf2[4 + i + cnt] = 0x7D;
        cnt++;
        buf2[4 + i + cnt] = 0x5D;
    }
    else
        buf2[4 + i + cnt] = msg[i];
}
```

3. Stuffing

```c
if (escape)
{
    if (msg == ESC1)
    {
        data_buf[cnt]=0x7E;
        cnt++;
    }
    else if (msg == ESC2)
    {
        data_buf[cnt]=0x7D;
        cnt++;
    }
    else
        state = START; //ERRO
    escape = false;
    break;
}
if (msg == ESC){
    escape = true;
    break;
}
char msg_string[255];
sprintf(msg_string, "%c", msg);
data_buf[cnt]=msg_string[0];
cnt++;
```

2. Destuffing

```c
char bcc_rcv = data_buf[cnt];
char bcc_real = data_buf[0];
for (int i = 1; i < cnt; i++)
    bcc_real = bcc_real ^ data_buf[i];
if (bcc_real == bcc_rcv)
{
    previous_s = even_bit;
    send_data_response(fd, false, false);
}
else
{
    even_bit = !even_bit;
    send_data_response(fd, true, false);
}
```

4. Verificação da Integridade

```c
void alarmSet()
{
  if (ua_received)
    return;
  if (num_retr_set < MAX_RETR)
  {
    send_set(fdG);
    num_retr_set++;
  }
  else
  {
    exit(1);
  }
}
```

1. Retransmissão

Protocolo de Aplicação

O protocolo de aplicação é responsável por fazer a construção e o processamento dos pacotes (de dados e de controlo), não tendo qualquer conhecimento da estrutura das tramas e de todos os outros pormenores que fazem parte do protocolo de ligação de lógica. Na construção e desconstrução dos pacotes deve ser efetuada uma numeração correta dos pacotes.

Validação

Para garantir a validade do protocolo desenvolvido foram efetuados os seguintes testes:

- Envio de ficheiros de vários tamanhos e tipo.
  - Todos os ficheiros
- Interrupção da ligação múltiplas vezes durante o envio de um ficheiro.
  - Em cada uma das medições, do lado do *sender,* o alarme instalado para o envio de dados foi acionado e os dados foram reenviados.
- Geração de interferência durante o envio de um ficheiro.
  - Do lado do *receiver,* os dados incorretos foram descartados .
  - Do lado do *sender*, os dados foram reenviados.
- Variação na percentagem de erros simulados no envio de um ficheiro.
- Variação do tamanho de pacotes de dados no envio de um ficheiro.
- Variação da capacidade de ligação (*baudrate*) no envio de um ficheiro.

Todos estes testes foram bem sucedidos. Os três últimos testes serão abordados com maior pormenor na secção seguinte.

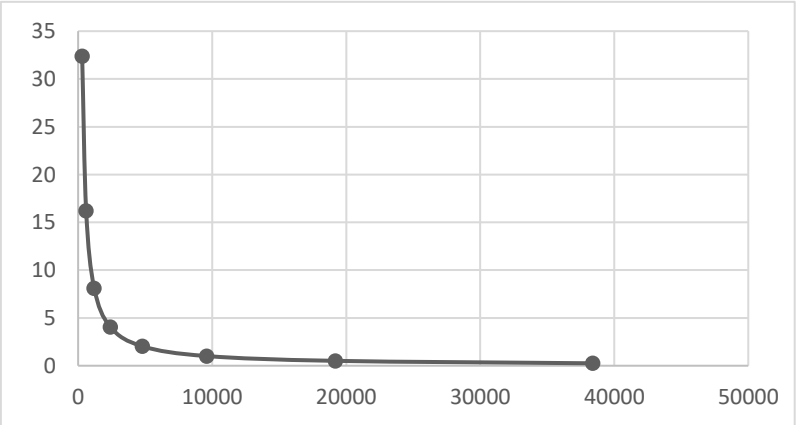
Eficiência do protocolo de ligação de dados

Todas as medições de eficiência apresentadas nesta secção foram efetuadas usando como ficheiro de envio o que nos foi fornecido (pinguim.gif) e recorrendo a duas máquinas virtuais. Os valores obtidos em todas as medições e que originaram os gráficos que se seguem encontram-se na secção correspondente aos anexos.

Variação da Capacidade de Ligação (*baudrate*)

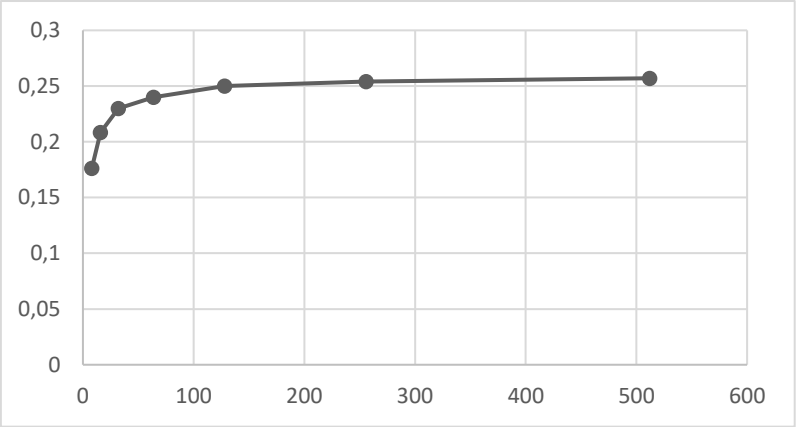
Ao testar o comportamento do protocolo aquando da variação da capacidade de ligação, as alterações do tempo de execução detetadas foram muito reduzidas. Deste modo, recorrendo à fórmula em que S=R/C e R=<fileSize>/<tempo de execução>, as variações no valor de S são bastante acentuadas e os valores são, em geral, desadequados.

Apesar disto, conseguimos concluir que a eficiência do protocolo diminui com o aumento da *baudrate*.



Variação do tamanho dos Pacotes de Dados

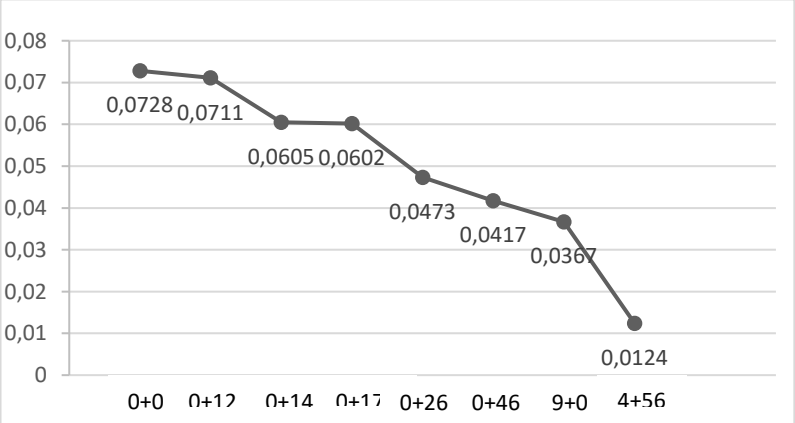
Ao testar o comportamento do protocolo aquando da variação do tamanho dos pacotes de dados, verifica-se que a eficiência do mesmo aumenta com o aumento desse tamanho.



Variação do FER

Ao testar o comportamento do protocolo aquando da variação da probabilidade de erros simulados e, consequentemente, o número de erros gerados, é possível concluir que os erros quer ao nível do cabeçalho quer ao nível de dados afetam a eficiência do protocolo. É ainda visível que os erros associados ao bcc1 têm um impacto maior que o bcc2. Este facto é facilmente explicável pelo facto de que aquando de um erro no bcc1, o *sender* irá recorrer ao alarm instalado pelo que será necessário atingir o TIMEOUT para que volte a enviar a mesma trama. Já no bcc2, aquando de um erro, as informações são simplesmente descartadas e a nova trama é enviada imediatamente.

No gráfico seguinte <num>+<num> representa o número de erros no bcc1 e bcc2, respetivamente.



Este protocolo recorre ao mecanismo *Stop & Wait* para controlo de erros. Este mecanismo, permite a retransmissão dos dados em caso de erro.

Após a transmissão de um *packet* de informação, o emissor espera por uma confirmação positiva por parte do recetor, denominada por *acknowledgment*, **ACK**. Quando o recetor recebe o *packet*, caso não tenha nenhum erro, confirma com **ACK**, caso tenha erro, envia **NACK**. Assim que o emissor recebe a resposta do recetor, no caso de **ACK**, continua e envia um novo *packet*, mas no caso de **NACK**, volta a enviar o mesmo *packet*.

Na nossa aplicação, quando o emissor manda qualquer tipo de tramas (U, S ou I) espera uma resposta. Essa resposta é **RR** caso o recetor receba os dados sem erros, e **REJ** caso contrário. Assim, o emissor sabe se deve mandar uma nova trama ou reenviar a mesma. Para que seja possível identificar se uma trama é nova ou duplicada, varia-se o *Nr* destas tramas de resposta de acordo com a trama de *Ns* 0 ou 1 enviada pelo emissor.

Conclusões

Consideramos que os objetivos principais do projeto foram alcançados com sucesso: o programa lê corretamente um ficheiro, divide-o em pacotes numerados, cria tramas, envia-as através da porta de série (transmissão série assíncrona), recebe-as, escreve o ficheiro no computador recetor, e deteta e corrige eventuais erros nas tramas transmitidas. O código está organizado em camadas independentes (nserial, application e protocol), de forma a que haja abstração.

Para além disso, este projeto ajudou-nos a aprofundar os conhecimentos abordados nas aulas teóricas, nomeadamente a transmissão assíncrona de dados e a sua eficiência, a consolidar conhecimentos em C e na coordenação enquanto grupo.

Anexo I

nserial.c

```
#include "application.h"

int main(int argc, char **argv)
{
    int fd;
    struct termios oldtio;

    if ((argc != 3 && argc != 4) ||
        ((strcmp("/dev/ttyS0", argv[1]) != 0) &&
         (strcmp("/dev/ttyS1", argv[1]) != 0) &&
         (strcmp("/dev/ttyS2", argv[1]) != 0)))
    {
        printf("Usage:\tnserial SerialPort TRANSMITTER(1)|RECEIVER(0)\n\t
ex: nserial /dev/ttyS1 1\n");
        exit(1);
    }

    if(atoi(argv[2]) == RECEIVER){
        fd = llopen(argv[1], RECEIVER);

        int size;
        size = llreadFile(fd);

        llclose(fd);
    }
    else if (atoi(argv[2]) == TRANSMITTER){
        fd = llopen(argv[1], TRANSMITTER);

        llopen_image(argv[3], fd);
        llclose(fd);
    }
    else{
        printf("Usage:\tnserial SerialPort TRANSMITTER(1)|RECEIVER(0)\n\t
ex: nserial /dev/ttyS1 1\n");
        exit(1);
    }
    return 0;
}
```

Application.h

```
#include <sys/types.h>
#include <sys/stat.h>
#include <fcntl.h>
```

```c
#include <termios.h>
#include <stdio.h>
#include <stdbool.h>
#include <stdlib.h>
#include <unistd.h>
#include <string.h>
#include <time.h>

#define TRANSMITTER 1
#define RECEIVER 0

void send_file();

int llopen(unsigned char *porta, bool transmitter);

int llreadFile(int fd);

int llwrite(int fd, unsigned char * buffer, int length);

int llclose(int fd);

void llopen_image(unsigned char *path, int fd);
```

application.c

```c
#include "application.h"
#include "protocol.h"

#define PACKAGE_SIZE 256
struct termios oldtio;
bool trans;

void createDataPackage(unsigned char *package, int indice, int num)
{
    unsigned char* buffer;
    buffer = malloc(sizeof(unsigned char)*(num + 5));
    unsigned char aux[2];
    buffer[0]='1';
    sprintf(aux, "%1x", indice%255);
    buffer[1]=aux[0];
    sprintf(aux, "%d", num/8);
    buffer[2]=aux[0];
    sprintf(aux, "%d", num%8);
    buffer[3]=aux[0];
    for (int i=0; i<num; i++)
        buffer[4+i]=package[i];
    for (int i=0; i<num+4; i++)
```

```
        package[i]=buffer[i];
    free(buffer);
}

void createControlPackage(unsigned char *buffer, int controlCamp, int fil
eSize, unsigned char *path)
{
    unsigned char aux[2];
    sprintf(aux, "%d",controlCamp);
    buffer[0]=aux[0];
    buffer[1]='0';
    buffer[2]='1';
    buffer[3]=fileSize;
    buffer[4]='1';
    sprintf(aux, "%d",strlen(path));
    buffer[5]=aux[0];
    buffer[6]='\0';
    strcat(buffer, path);
}

void llopen_image(unsigned char *path, int fd)
{
    FILE* file;
    file = fopen(path, "r");

    if(file==NULL){
        perror("File opening failed ");
        exit(1);
    }
    fseek(file, 0L, SEEK_END);
    int size = ftell(file);
    fseek(file,0L, SEEK_SET);
    unsigned char packageControl[5 + strlen(path)];
    createControlPackage(packageControl, 0x02, size, path);
    llwrite(fd,packageControl, strlen(packageControl));
    int num, i=0;
    do{
        unsigned char *packageBuf;
        packageBuf = malloc(sizeof(unsigned char) * (PACKAGE_SIZE + 4));

        num = fread(packageBuf, sizeof(unsigned char), PACKAGE_SIZE, file
);
        packageBuf[num] = '\0';
        createDataPackage(packageBuf, i, num);
        llwrite(fd, packageBuf, num+4);
        i++;
        free(packageBuf);
    } while(num == PACKAGE_SIZE);
    createControlPackage(packageControl,3, size, path);
```

```
    llwrite(fd,packageControl, strlen(packageControl));
}

int llopen_transmitter(unsigned char *porta)
{
    int fd=open_port(porta, &oldtio);
    send_set(fd);
    receive_ua_snd(fd);
    return fd;
}

int llopen_receiver(unsigned char *porta)
{
    int fd=open_port(porta, &oldtio);
    receive_set(fd);
    send_ua_rcv(fd);
    return fd;
}

int llopen(unsigned char *porta, bool transmitter)
{
    trans=transmitter;
    if (transmitter)
        llopen_transmitter(porta);
    else
        llopen_receiver(porta);
}

int llwrite(int fd, unsigned char * buffer, int length){
    int num;
    do{
        num=send_msg(fd, buffer, length);
    } while(!receive_data_rsp(fd));

    return num;
}

int processPackage(unsigned char *buffer, unsigned char *filename, int se
quenceNumber)
{
    switch(buffer[0]){
        case '1':{
            unsigned char aux[2];
            sprintf(aux, "%x", sequenceNumber);
            if (buffer[1] == aux[0])
            {
                int k = (int)buffer[2] + (int)buffer[3] * 8;
                unsigned char aux2[PACKAGE_SIZE+4];
                for (int i=0; i < PACKAGE_SIZE+4; i++)
```

```
                    aux2[i] = buffer[i];
                for (int i=0; i<k; i++)
                    buffer[i] = aux2[i+4];
            }
            return 1;
        }

        case '2':
            if(buffer[4]=='1'){
                strncpy(filename, &buffer[6], (int)buffer[5]);
            }
            return 2;
        case '3':
            return 3;
        default:
            return -1;
    }
}

int llread(int fd, unsigned char *buffer){
    int num = receive_data(fd, buffer);
    return num;
}

int llreadFile(int fd ){
    unsigned char filename[128];
    unsigned char buf[1024];
    llread(fd, buf);
    processPackage(buf, filename, -1);
    FILE *file;
    filename[0]='z';
    file = fopen(filename, "w");

    unsigned char *aux;
    int num, sequenceNumber = 0;
    int ret;
    do{
        unsigned char buf[1024];
        num = llread(fd, buf);
        ret = processPackage(buf, filename, sequenceNumber);
        if(ret==1){
            fwrite(buf, sizeof(unsigned char), num-4, file);
            sequenceNumber++;
            sequenceNumber %= 255;
        }
    }  while(ret != 3);

    fclose(file);
```

```
    return num;
}

int llclose_transmitter(int fd){
    send_disc_snd(fd);
    receive_disc_snd(fd);
    send_ua_snd(fd);
    close_port(fd, &oldtio);
    return 0;
}

int llclose_receiver(int fd){
    receive_disc_rcv(fd);
    send_disc_rcv(fd);
    receive_ua_rcv(fd);
    close_port(fd, &oldtio);
    return 0;
}

int llclose(int fd){
    if (trans)
        return llclose_transmitter(fd);
    else
        return llclose_receiver(fd);
}
```

Protocol.h

```
#include <sys/types.h>
#include <sys/stat.h>
#include <fcntl.h>
#include <termios.h>
#include <stdio.h>
#include <stdbool.h>
#include <stdlib.h>
#include <unistd.h>
#include <string.h>
#include <signal.h>
#include <time.h>

int open_port(char* porta, struct termios *oldtio);

void close_port(int fd, struct termios *oldtio);

void send_set(int fd);

void send_ua_rcv(int fd);
```

```
void send_ua_snd(int fd);

void send_disc_rcv(int fd);

void send_disc_snd(int fd);

void send_resp(int fd, char c, char a);

int send_msg(int fd,unsigned char* msg, int length);

int receive_msg(int fd, unsigned char c, unsigned char a, bool data, unsi
gned char data_buf[], bool data_resp);

void receive_set(int fd);

void receive_disc_rcv(int fd);

void receive_disc_snd(int fd);

void receive_ua_rcv(int fd);

void receive_ua_snd(int fd);

int receive_data(int fd, unsigned char data_buf[]);

bool receive_data_rsp(int fd);
```

protocol.c

```
/*Non-Canonical Input Processing*/

#include "protocol.h"

#define BAUDRATE B38400
#define _POSIX_SOURCE 1 /* POSIX compliant source */
#define FALSE 0
#define TRUE 1

#define START 0
#define FLAG_RCV 1
#define A_RCV 2
#define C_RCV 3
#define BCC_OK 4
#define RCV_DATA 5
#define BCC2_OK 6
#define STOPS 7
```

```c
#define FLAG 0x7E
#define A_RCV_RSP 0x03
#define A_RCV_CMD 0x01
#define A_SND_CMD 0x03
#define A_SND_RSP 0x01
#define SET 0x03
#define UA 0x07
#define DISC 0x0B
#define ESC 0x7D
#define ESC1 0x5E
#define ESC2 0x5D
#define RR_R1 0x85
#define RR_R0 0x05
#define REJ_R1 0x81
#define REJ_R0 0x01
#define C_DATA_S0 0x00
#define C_DATA_S1 0x40

#define MAX_RETR 6
#define TIMEOUT 3

volatile int STOP = FALSE;
bool even_bit = 0;
bool previous_s = 0;
static int num_retr_set = 0;
static int num_retr_disc = 0;
static int num_retr_data = 0;
int fdG;
unsigned char msgG[1024];
int lengthG;
int state;

bool ua_received=false;
bool data_received=false;
bool disc_received=false;

static int erro_cab = 0;
static int erro_dados = 0;

void alarmSet()
{
  if (ua_received)
    return;
  if (num_retr_set < MAX_RETR)
  {
    printf("alarmSet %d \n", num_retr_set);
    send_set(fdG);
    num_retr_set++;
  }
```

```
  else
  {
    exit(1);
  }
}

void alarmDisc()
{
 if (disc_received)
    return;
  if (num_retr_disc < MAX_RETR)
  {
    printf("alarmDisc %d \n", num_retr_disc);
    send_disc_snd(fdG);
    num_retr_disc++;
  }
  else
  {
    exit(1);
  }
}

void alarmData()
{
  if (data_received)
    return;
  if (num_retr_data < MAX_RETR)
  {
    printf("alarmData %d \n", num_retr_data);
    send_msg(fdG, msgG, lengthG);
    num_retr_data++;
  }
  else
  {
    exit(1);
  }
}

int open_port(char* porta, struct termios *oldtio)
{
    int fd;
    struct termios newtio;

    /*
        Open serial port device for reading and writing and not as contro
lling tty
        because we don't want to get killed if linenoise sends CTRL-C.
    */
```

```
    fd = open(porta, O_RDWR | O_NOCTTY);
    if (fd < 0)
    {
        perror(porta);
        exit(-1);
    }

    if (tcgetattr(fd, oldtio) == -1)
    { /* save current port settings */
        perror("tcgetattr");
        exit(-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 1 chars received */

    /*
        VTIME e VMIN devem ser alterados de forma a proteger com um tempo
rizador a
        leitura do(s) pr?ximo(s) caracter(es)
    */

    tcflush(fd, TCIOFLUSH);

    if (tcsetattr(fd, TCSANOW, &newtio) == -1)
    {
        perror("tcsetattr");
        exit(-1);
    }

    printf("New termios structure set\n");

    return fd;
}

void close_port(int fd, struct termios *oldtio)
{
    sleep(1);
    tcsetattr(fd, TCSANOW, oldtio);
    close(fd);
```

```
    printf("erros cabeçalho: %d\n", erro_cab);
    printf("erros dados: %d\n", erro_dados);
}

void send_resp(int fd, char c, char a)
{
    unsigned char buf2[5];
    buf2[0] = FLAG;
    buf2[1] = a;
    buf2[2] = c;
    buf2[3] = a ^ c;
    buf2[4] = FLAG;
    write(fd, buf2, 5);
}

void send_set(int fd)
{
    if(num_retr_set == 0)
        signal(SIGALRM, alarmSet);
    alarm(TIMEOUT);
    send_resp(fd, SET, A_SND_CMD);
}

void send_ua_rcv(int fd)
{
    send_resp(fd, UA, A_RCV_RSP);
}

void send_ua_snd(int fd)
{
    send_resp(fd, UA, A_SND_RSP);
}

void send_disc_rcv(int fd)
{
    send_resp(fd, DISC, A_RCV_CMD);
}

void send_disc_snd(int fd)
{
    if(num_retr_disc == 0)
        signal(SIGALRM, alarmDisc);
    alarm(TIMEOUT);
    send_resp(fd, DISC, A_SND_CMD);
}

void send_data_response(int fd, bool reject, bool duplicated)
{
    if (reject && duplicated && even_bit)
```

```
        send_resp(fd, RR_R1, A_RCV_RSP);
    else if (reject && duplicated && !even_bit)
        send_resp(fd, RR_R0, A_RCV_RSP);
    else if (reject && even_bit)
        send_resp(fd, REJ_R1, A_RCV_RSP);
    else if (reject && !even_bit)
        send_resp(fd, REJ_R0, A_RCV_RSP);
    else if (!reject && even_bit)
        send_resp(fd, RR_R1, A_RCV_RSP);
    else
        send_resp(fd, RR_R0, A_RCV_RSP);
}

int send_msg(int fd, unsigned char* msg, int length)
{
    if(num_retr_data==0){
        signal(SIGALRM, alarmData);
        fdG=fd;
        for(int i=0; i<length;i++){
            msgG[i]=msg[i];
        }
        lengthG=length;
    }

    alarm(TIMEOUT);
    unsigned char buf2[7 + length*2];
    buf2[0] = FLAG;
    buf2[1] = A_SND_CMD;
    if (even_bit)
        buf2[2] = C_DATA_S0;
    else
        buf2[2] = C_DATA_S1;
    buf2[3] = (A_SND_CMD ^ buf2[2]);

    unsigned char bcc2 = msg[0];
    for (int i = 1; i < length; i++)
        bcc2 = (bcc2 ^ msg[i]);

    int cnt=0;
    for (int i = 0; i < length; i++)
    {
        if (msg[i] == 0x7E)
        {
            buf2[4+i+cnt]=0x7D;
            cnt++;
            buf2[4 + i+cnt] = 0x5E;
        }
        else if (msg[i] == 0x7D)
        {
```

```
            buf2[4 + i + cnt] = 0x7D;
            cnt++;
            buf2[4 + i + cnt] = 0x5D;
        }
        else
            buf2[4 + i + cnt] = msg[i];
    }

    if (bcc2 == 0x7E)
    {
        buf2[4 + length + cnt] = 0x7D;
        cnt++;
        buf2[4 + length + cnt] = 0x5E;
    }
    else if (bcc2 == 0x7D)
    {
        buf2[4 + length + cnt] = 0x7D;
        cnt++;
        buf2[4 + length + cnt] = 0x5D;
    }
    else
        buf2[4 + length + cnt] = bcc2;

    buf2[5 + length +cnt] = FLAG;
    buf2[6 + length +cnt] = '\0';
    return write(fd, buf2, 6 + length+cnt);
}

int receive_msg(int fd, unsigned char c, unsigned char a, bool data, unsi
gned char* data_buf, bool data_resp)
{
    state = START;
    int res;
    bool escape = false;
    int cnt = 0;
    int random1, random2;
    while (state != STOPS)
    { /* loop for input */
        unsigned char buf[2];
        res = read(fd, buf, 1); /* returns after 1 char have been input *
/
        buf[1]='\0';
        unsigned char msg = buf[0];
        srand(time(0));
        random1 = (rand() % (10 - 1 + 1)) + 1;
        srand(time(0));
        random2 = (rand() % (1000 - 1 + 1)) + 1;
        switch (state)
        {
```

```
        case START:
            if (msg == FLAG){
                state = FLAG_RCV;
            }
            break;
        case FLAG_RCV:
            if (random1 == 1 && data)
            {
                msg = 0x00;
                a = 0x00;
            }
            if (msg == a)
                state = A_RCV;
            else if (msg != FLAG){
               state = START;
                break;
            }
            break;

        case A_RCV:
            if (!data && !data_resp && msg == c)
                state = C_RCV;
            else if (!data && !data_resp)
                state = START;
            else if (data_resp)
            {
                if ((int)msg == RR_R1 || (int)msg == RR_R0 || (int)msg ==
REJ_R1 || (int)msg == REJ_R0)
                {
                    data_buf[0] = msg;
                    state = C_RCV;
                    c=msg;
                }
                else
                    state = START;
            }

            else if (msg == C_DATA_S0 || msg == C_DATA_S1)
            {
                if (((bool)msg) != previous_s)
                {
                    even_bit = !(bool)msg;
                    state = C_RCV;
                    c=msg;
                }
                else
                {
                    even_bit = (bool)msg;
```

```
                    send_data_response(fd, true, (((bool)msg) == previous
_s));
                    state = START;
                }
            }
            else
            {
                state=START;
            }

            break;
        case C_RCV:
            if (msg == (a^c)){
                state = BCC_OK;
            }
            else
            {
                state = START;
                erro_cab++;
                send_data_response(fd, true, false);
                return 0;
            }
            break;
        case BCC_OK:
            if (random2 == 1 && data)
            {
                msg = 0;
            }
            if (msg == FLAG)
            {
                state = STOPS;
            }
            else if (data)
            {
                state = RCV_DATA;
                if (msg == ESC)
                    escape = true;
                else {
                    char msg_string[255];
                    sprintf(msg_string, "%c", msg);
                    data_buf[cnt]=msg_string[0];
                    cnt++;
                }
            }
            else{
                state = START;
            }
            break;
        case RCV_DATA:
```

```
            if (random2 == 1 && data)
            {
                msg = 0;
            }
            if (msg == FLAG)
            {
                cnt--;
                char bcc_rcv = data_buf[cnt];
                char bcc_real = data_buf[0];
                for (int i = 1; i < cnt; i++)
                    bcc_real = bcc_real ^ data_buf[i];
                if (bcc_real == bcc_rcv)
                {
                    previous_s = !even_bit;
                    send_data_response(fd, false, false);
                }
                else
                {
                    data_buf[0] = '\0';
                    even_bit = !even_bit;
                    erro_dados++;
                    send_data_response(fd, true, false);
                }
                data_buf[cnt] = '\0';
                state = STOPS;
                break;
            }
            if (escape)
            {
                if (msg == ESC1)
                {
                    data_buf[cnt]=0x7E;
                    cnt++;
                }
                else if (msg == ESC2)
                {
                    data_buf[cnt]=0x7D;
                    cnt++;
                }
                else
                    state = START; //ERRO
                escape = false;
                break;
            }
            if (msg == ESC){
                escape = true;
                break;
            }
            char msg_string[255];
```

```
            sprintf(msg_string, "%c", msg);
            data_buf[cnt]=msg_string[0];
            cnt++;
            break;
        default:
            state = START;
            break;
        }
    }
    return cnt;
}

void receive_set(int fd)
{
    ua_received=false;
    num_retr_set=0;
    receive_msg(fd, SET, A_RCV_RSP, false, NULL, false);
}

void receive_disc_rcv(int fd)
{
    receive_msg(fd, DISC, A_SND_CMD, false, NULL, false);
}

void receive_disc_snd(int fd)
{
    receive_msg(fd, DISC, A_RCV_CMD, false, NULL, false);
    disc_received = true;
}

void receive_ua_rcv(int fd)
{
    receive_msg(fd, UA, A_SND_RSP, false, NULL, false);
}

void receive_ua_snd(int fd)
{
    receive_msg(fd, UA, A_RCV_RSP, false, NULL, false);
    ua_received=true;
}

int receive_data(int fd, unsigned char* data_buf)
{
    int size;
    if (previous_s == 0)
        size= receive_msg(fd, C_DATA_S1, A_SND_CMD, true, data_buf, false
);
    else
```

```
        size = receive_msg(fd, C_DATA_S0, A_SND_CMD, true, data_buf, fals
e);
    return size;
}

bool receive_data_rsp(int fd)
{
    data_received=false;
    num_retr_data=0;
    unsigned char buf[1024];
    receive_msg(fd, RR_R0, A_RCV_RSP, false, buf, true);
    if(buf[0]==REJ_R0 || buf[0] == REJ_R1)
        return false;
    data_received = true;
    even_bit = !even_bit;
  return true;
}
```

Anexo 2

Medição tempo de execução

Baudrate	Tempo					Tempo Médio	R	S
300	1,135	1,133	1,131	1,125	1,117	1,1282	9721,68	32,4
600	1,132	1,132	1,116	1,120	1,139	1,1278	9725,13	16,2
1200	1,121	1,125	1,118	1,127	1,136	1,1254	9745,87	8,12
2400	1,126	1,124	1,125	1,126	1,122	1,1246	9752,80	4,06
4800	1,116	1,128	1,124	1,138	1,127	1,1266	9735,49	2,03
9600	1,126	1,135	1,151	1,124	1,119	1,131	9697,61	1,01
19200	1,126	1,128	1,122	1,128	1,126	1,126	9740,67	0,51
38400	1,134	1,133	1,121	1,127	1,132	1,1294	9711,35	0,25

Tamanho	Tempo			Tempo Médio	R	S
8	1,675	1,625	1,564	1,621	6764,803	0,176
16	1,373	1,353	1,385	1,370	8003,892	0,208
32	1,25	1,243	1,233	1,242	8830,918	0,230
64	1,182	1,179	1,209	1,190	9216,807	0,240
128	1,138	1,129	1,158	1,142	9607,007	0,250
256	1,125	1,125	1,123	1,124	9755,114	0,254
512	1,116	1,116	1,102	1,111	9869,226	0,257

Erros BCC1	Erros BCC2	Tempo	R	S
0	0	3,922	2796,532	0,072826
0	12	4,017	2730,396	0,071104
0	14	4,721	2323,237	0,060501
0	17	4,741	2313,436	0,060246
0	26	6,037	1816,796	0,047312
0	46	6,856	1599,767	0,041661
9	0	7,79	1407,959	0,036667
4	56	23,111	474,5792	0,012359