RCOM

FEUP-MIEIC

Protocolo de Ligação de Dados

Autor:
Mariana Costa
Pedro Silva
Tiago Castro

Numero de estudante:
up201604414
up201604470
up201606186

Contents

1 Sumário

Para o 1º trabalho laboratorial foi-nos proposta a implementação de um protocolo de ligação de dados. Este protocolo deve atuar através da implementação de duas camadas, a Camada de Aplicação (Application Layer) e a Camada de Ligação de Dados (Data Link Layer).

O objetivo final do projeto é conseguir transferir um ficheiro entre dois computadores, através de uma porta de serie assíncrona, onde ambos conhecem o protocolo e seguem-no de modo a evitar erros de bits (interferência) e corte total da comunicação.

2 Introdução

O objetivo do projeto realizado é permitir a transferência de ficheiros entre dois computadores através de um protocolo de ligação de dados. Este protocolo foi devidamente especificado no 'Guião do trabalho', bem como no decorrer das aulas práticas. Este relatório tem como objetivo principal explicar o funcionamento do protocolo, a sua lógica e estruturação. Todo o codigo encontra-se no Anexo IV.

- Arquitetura – Blocos funcionais e interfaces;
- Estrutura do código – APIs, principais estruturas de dados, principais funções e relação com arquitetura;
- Casos de uso principais – Casos de uso e sequência de funções usadas;
- Protocolo de ligação lógica – Principais aspetos funcionais, descrição estratégica de implementação;
- Protocolo de aplicação – Principais aspetos funcionais, descrição estratégica de implementação;
- Validação – Métodos de validação da implementação do protocolo;
- Eficiência do protocolo de ligação de dados – Estatística da eficiência do protocolo. Caracterização teórica de um protocolo Stop-and-Wait e comparação com o usado;
- Conclusão – Síntese da informação apresentada no relatório e reflexão dos objetivos alcançados.

3 Arquitetura

O trabalho está fragmentado em duas camadas (layers) com funções muito específicas, sendo que sua diferença reside maioritariamente nas responsabilidades que tem de acordo com o seu grau de abstração.

3.1 Camada de Aplicação

É a camada de mais alto nível que envia, através do link layer, fragmentos do ficheiro escolhido pelo utilizador para que o recetor possa receber esses mesmo fragmentos também do link layer e reconstruir o ficheiro.

É considerada dependente da Camada de Ligação de Dados porque a sua função é servir esta com a informação a ser enviada.

3.2 Camada de Ligação de Dados

Esta camada garante a comunicação sem erros entre os dois computadores, a um nível de abstração muito baixa, visto que implementa, como referido anteriormente, as funções usadas pela Camada de Aplicação como o llread e o llwrite.

No entanto, é considerada independente da camada superior pois ela não interpreta os valores passados, apenas os trata como válidos e garante que eles cheguem ao outro computador exatamente como pedido. Para além disso também é responsável pela gestão a um mais baixo nível da porta de série, tanto a abertura como as propriedades da mesma.

4 Estrutura do código

4.1 Camada da Aplicação

Funções Comuns

Em ambos os casos, são usadas funções, implementadas na Camada de Ligação de Dados, que permitem a comunicação entre os dois computadores.

- **llopen** – Estabelece ligação pela porta de serie e verifica se a ligação é feita com sucesso;
- **llclose** – Fecha a porta de serie e verifica se o mesmo é feito com sucesso;
- **llwrite** – Escreve na porta de série;
- **llread** – Lê da porta de série.

Transmissor

```
1 unsigned char * openFile(unsigned char * file, int * fileSize);
2 int sendFile(int fd, unsigned char * fileName, int fileNameSize);
```

A função openFile recebe o nome do ficheiro e o seu tamanho e abre-o, guarda-o num array de bytes e retorna-o.

A função sendFile recebe o file descriptor, o descritor da porta série, o conteúdo do file e o seu nome. Tem como objetivo repartir e enviar o ficheiro em questão para o link layer.

Recetor

```
struct FileInfo{
  unsigned int size;
  unsigned char* name;
  unsigned char* content;
};
```

A struct FileInfo tem como objetivo gerir as informações do ficheiro que vai receber, o seu tamanho, nome e conteúdo.

```
int getFileInfo(unsigned char* start);
```

A função getFileInfo preenche size e name de FileInfo com a trama que contém essa informação.

```
void readContent(int fd, unsigned char* start, unsigned int startSize);
```

A função readContent preenche content de FileInfo.

```
void createFile();
```

A função createFile cria um ficheiro com os valores guardados na struct FileInfo.

4.2 Camada de Ligação de Dados

Funções em Comum

```
void writeControlMessage(int fd, unsigned char control);
```

A função writeControlMessage envia uma mensagem de controlo com o carater passado por argumento.

Transmissor

```
int stopAndWaitControl(int fd, unsigned char control_sent, unsigned char
    control_expecting);
int stopAndWaitData(int fd, unsigned char * buffer, int length);
```

Seguindo o princípio de controlo de erro Stop-and-Wait foram criadas as funções acima declaradas. Estas funções vão enviando uma mensagem de controlo/informação ciclicamente até receber uma resposta de confirmação de envio ou sair por timeout (caso o recetor não responda ou demorar demasiado tempo).

A função stopAndWaitControl gere o envio de mensagens de controlo, enquanto que a stopAndWaitData gere o envio de mensagens de informação.

Recetor

```
void readControlMessage(int fd, unsigned char control);
unsigned int readPacket(int fd, unsigned char* buffer);
```

A função readControlMessage recebe e verifica se recebe uma mensagem de controlo em particular. O transmissor também utiliza esta função indiretamente durante as funções stopAndWait.

A função readPacket recebe e verifica uma mensagem de informação. Após a realização da operação de destuffing e a verificação do BCC2, retorna a trama de informação juntamente com o header. Caso o bcc2 não estiver correto, ou a trama não ser a esperada, envia o sinal REJ, esperando então o reenvio do packet. Em caso contrário, envia RR.

5 Casos de Uso Principais

Esta aplicação tem como principal caso de uso a chamada ao programa, que permite ao transmissor a escolha de que ficheiro pretende enviar ao recetor. Para além disso, tanto o transmissor como o recetor, devem explicitar qual a porta de série a ser utilizada.

Exemplo das chamadas em caso de envio de um ficheiro chamado pinguim.gif:

- Transmitter: gcc transmitter.c -o transmitter -Wall -Wextra
  - ./transmitter /dev/ttyS0 pinguim.gif
- Receiver: gcc receiver.c -o receiver -Wall -Wextra
  - ./receiver /dev/ttyS0

6 Protocolo de Ligação Lógica

A Camada da Ligação Lógica é responsável pelos aspetos funcionais seguintes:

- CONFIG - Configuração da porta de série;
- OPEN – Abertura da porta de série;
- CLOSE - Terminação da ligação através da porta de série;
- WRITE - Criação e envio de comandos e mensagens através da porta de série;
- READ - Receção de comandos e mensagens através da porta de série;

- CHECK - Verificação de erros durante transferência de dados;
- STUFF - Stuffing dos pacotes enviados pela Camada de Aplicação;
- DESTUFF - Destuffing dos pacotes enviados pela Camada de Aplicação.

6.1 Estratégias de Implementação

llopen

Inicia a ligação da porta de série (OPEN) e altera as suas configurações (CONFIG) para que a leitura possa ser feita sem interrupções.

```
newtio.c_cc[VTIME]    = 1;   /* inter-character timer unused */
newtio.c_cc[VMIN]     = 0;   /* don't stop trying to read */
```

Após isso, o transmissor entre no ciclo com controlo de erro stopAndWait onde vai enviando (SEND) tramas de inicialização até receber a resposta esperada – UA (trama de reconhecimento).

Transmissor:

```
stopAndWaitControl(fd, CONTROL_SET, CONTROL_UA);
```

Recetor:

```
readControlMessage(fd, CONTROL_SET);
writeControlMessage(fd, CONTROL_UA);
```

Caso a resposta não chegue dentro de um tempo especificado como timeout, a mensagem volta a ser enviada até ultrapassar um valor pré-definido (CHECK). Caso houver algum problema na conexão a função deve retornar -1, terminando o processo.

llclose

O transmissor entra num ciclo de stopAndWait no qual envia tramas de desconexão e espera uma confirmação do recetor para que possa enviar, finalmente, uma trama UA, de forma a que ambos os processos possam encerrar (CLOSE).

Transmissor:

```
stopAndWaitControl(fd, CONTROL_DISC, CONTROL_DISC);
sendControlMessage(fd, CONTROL_UA);
tcsetattr(fd, TCSANOW, &oldtio);
```

Recetor:

```
writeControlMessage(fd, CONTROL_DISC);
readControlMessage(fd, CONTROL_UA);
tcsetattr(fd, TCSANOW, &oldtio);
```

llwrite

Responsável pela escrita na porta de série (WRITE). Esta função é responsável pelo Stuffing do pacote recebido pela Camada de Aplicação, e de o encapsular de forma a criar uma trama I (de informação) (STUFF).

```
generateBCC2(buffer,length);
BCC2Stuffing(&BCC2, &stuffedBCC2Size);
packetStuffing(buffer, length, &finalPacketSize);
preparePacket(finalPacket, stuffedBCC2, &finalPacketSize, &stuffedBCC2Size);
```

llread

Responsável pela leitura na porta de série (READ). Esta função lê informação da porta de série, verifica se houve erros na comunicação (através da paridade da informação) e envia confirmação de volta ao transmissor.

Caso a informação tenha erros, o recetor responderá com um comando REJ. Caso não haja erro, o llread faz destuff do pacote inicialmente criado pela Camada de Aplicação, tanto informação como o BCC (DESTUFF). Após o destuff, verifica se a informação enviada tem a mesma paridade do que o BCC, confirmando a validade da informação. Em caso positivo, é enviado uma trama RR (mesmo que o pacote seja repetivo).

```
readPacket(fd, buffer);
destuffing(buffer, packetSize);
checkBCC2(buffer, packetSize);
//In case of sucess
writeControlMessage(fd, RR_C_?); //Where '?' is the packet sign, either 0 or
    1
//In case of an error
writeControlMessage(fd, REJ_C_?);//Where '?' is the packet sign, either 0 or
    1
```

7 Protocolo de Aplicação

A Camada de Aplicação é responsável pelos aspetos funcionais seguintes:

- CREATE – Criação dos pacotes de dados e de controlo;
- INTERPRET - Interpretação dos pacotes de dados e de controlo;
- SCAN – Leitura do ficheiro a ser criado;
- GENERATE – Gera o ficheiro recebido;
- UNION - Junção das payloads para obter a informação do ficheiro.
- SPLIT - Fragmentação do conteúdo do ficheiro em vários pacotes

7.1 Estratégias de Implementação

createFile

Cria o ficheiro utilizando o bloco de dados que foi preenchido ao longo da evolução do programa (GENERATE).

```
createFile();
```

splitData

Divide o ficheiro em packets cujo tamanho pode ser modificado pelo utilizador (por default, é lhe atribuído o valor de 255) (SPLIT).

```
currPacket = splitData(fileData, fileSize, &currPos, &currPacketSize);
```

prepareDataPacketHeader

Anexa a um array de dados do ficheiro o header, contendo o campo de controlo (neste caso, terá o valor de 1, de forma a indicar que se trata de um packet de dados), o número de sequência e o número de octetos do campo de dados (CREATE).

```
currPacket = prepareDataPacketHeader(currPacket, fileSize, &currPacketSize, &
    numPackets);
```

prepareAppControlPacket

Cria os packets de controlo que permitem indicar o início e fim da transmissão de informação relativa ao ficheiro em questão (CREATE).

```
unsigned char * startPacket = prepareAppControlPacket(APP_CONTROL_START,
    fileSize, fileName, fileNameSize, &appControlPacketSize);
```

openFile

Lê a info do ficheiro (SCAN) e retorna-a para divisão em pacotes e enviada (SPLIT).

```
unsigned char * fileData = openFile(fileName, &fileSize);
```

readContent

Responsável por receber os packets do llread. Analisa cada um a ver se é o packet final (compara todos os bits de cada packet recebido com o packet de start que é passado por parametro) (INTERPRET) e remove o header caso não seja e adiciona-o ao bloco de dados que contem o conteudo do ficheiro (UNION). Caso seja o packet final, termina o loop.

```
readContent(fd, start, startSize);
if(isEndPacket(start, startSize, packet, packetSize)) break;
packetSize = removeHeader(packet, packetSize);
memcpy(info.content + index, packet, packetSize);
```

getFileInfo

Interpreta o conteúdo da trama start e analisa a sua autenticidade (INTERPRET).

```
1 getFileInfo(start);
```

8 Validação

Após discussão com o docente, chegámos à conclusão de que a melhor avaliação da validação do protocolo e da comunicação seria por verificação visual do ficheiro transferido.

Na apresentação foi transferido o ficheiro de teste presente no moodle 'pinguim.gif' e foi constatado que o ficheiro criado no recetor era igual ao enviado pelo transmissor. Tanto o ficheiro controlo como o ficheiro gerado pelo programa encontram-se no Anexo III.

9 Eficiência do protocolo de ligação de dados

De forma a avaliar quantitativamente a eficiência do protocolo utilizado foram realizados vários testes que permitiram a geração de gráficos e tabelas correspondentes, devidamente identificados nos Anexos I e II.

10 Conclusões

O objetivo deste trabalho era compreender a importância de protocolos de dados para a comunicação correta e consistente entre vários computadores e consequentemente redes.

Um protocolo permite que vários computadores saibam como interpretar informação vinda de fora e saibam como formatar a informação que pretendem enviar para que seja bem recebida e interpretada.

A implementação do protocolo do trabalho laboratorial permitiu a aprendizagem da separação de vários níveis de abstração e a sua interindependência. Neste protocolo em particular, a camada da ligação de dados não interpreta o cabeçalho ou informação dado pela camada de aplicação, apenas se limitando a enviar/receber.

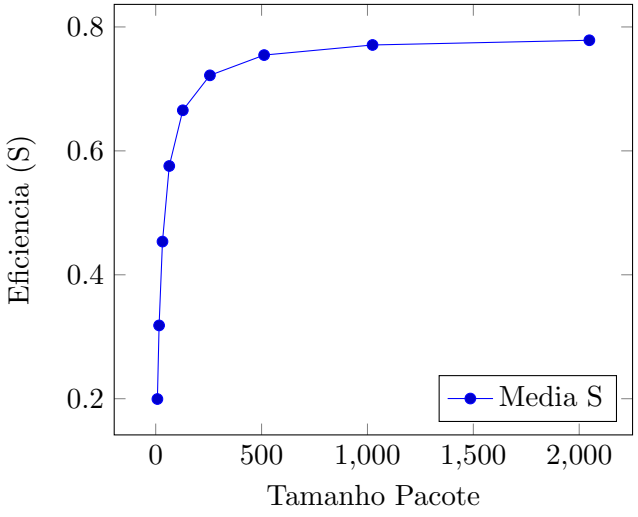
Concluindo, o projeto foi completado com sucesso, cumprindo-se todos os objetivos e consequente compreensão mais profunda do conceito de comunicação entre computadores e redes, algo essencial na criação de algo que todos nós usamos diariamente, a internet.

11 Anexos

11.1 Anexo I

Para um ficheiro com 87744 bits e baudrate a 38400

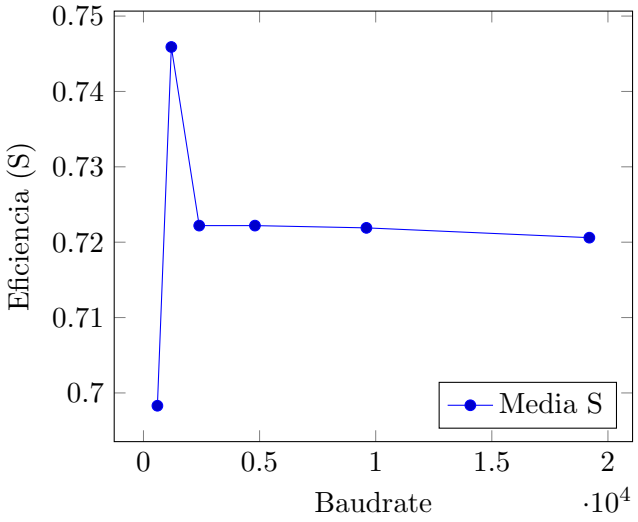
Tamanho Pacote	Time 1	Time 2	R 1	R 2	S 1	S 2	Media S
8	11.46	11.45	7,656.5	7,663.2	0.1994	0.1995	0.1995
16	7.181	7.175	12,218	12,229	0.3182	0.3183	0.3183
32	5.04	5.038	17,409	17,416	0.4536	0.4535	0.4536
64	3.971	3.968	22,096	22,112	0.5754	0.5758	0.5756
128	3.433	3.433	25,558	25,558	0.6655	0.6655	0.6655
256	3.165	3.164	27,723	27,723	0.7219	0.7219	0.7219
512	3.028	3.028	28,977	28,977	0.7546	0.7546	0.7546
1,024	2.964	2.964	29,603	29,603	0.7709	0.7709	0.7709
2,048	2.935	2.935	29,895	29,895	0.7785	0.7785	0.7785



11.2 Anexo II

Para um ficheiro com 87744 bits e packets com 256 bits

Baudrate	Time 1	Time 2	R 1	R 2	S 1	S 2	Media S
19,200	6.339	6.337	13,841	13,846	0.7201	0.7211	0.7206
9,600	12.66	12.66	6,930.8	6,930.8	0.7219	0.7219	0.7219
4,800	25.31	25.31	3,466.7	3,466.7	0.7222	0.7222	0.7222
2,400	50.62	50.62	1,733.4	1,733.4	0.7222	0.7222	0.7222
1,200	98.03	98.03	895.07	895.07	0.7461	0.7458	0.7459
600	209.3	209.4	419.22	419.22	0.6983	0.6983	0.6983



11.3 Anexo III

Imagem controlo do moodle

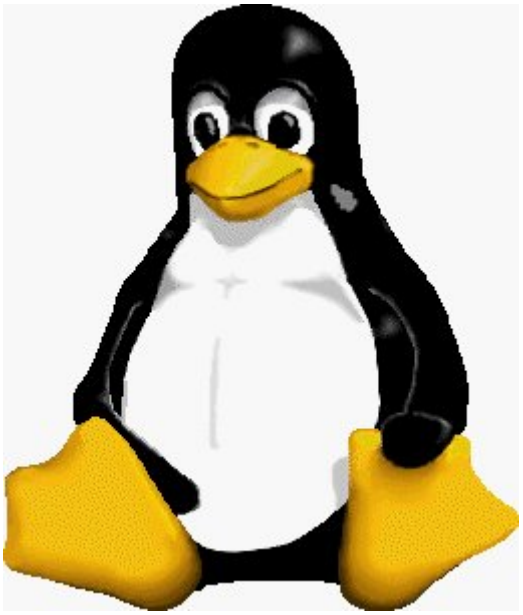
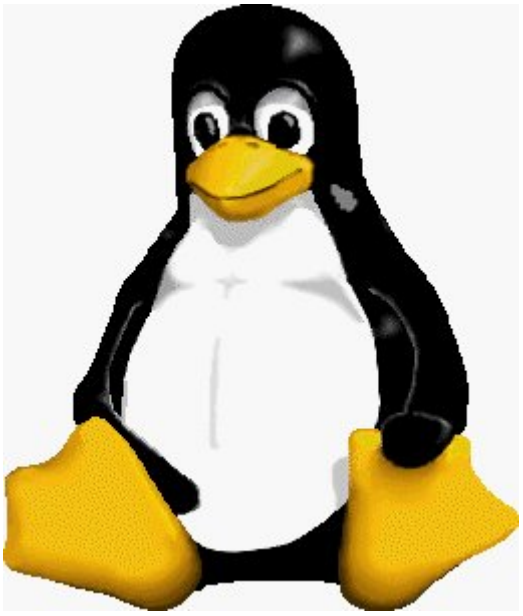


Imagem enviada e reenviada usando o programa desenvolvido



11.4 Anexo IV

receiver.h

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

/* baudrate settings are defined in <asm/termbits.h>, which is
included by <termios.h> */
#define BAUDRATE          B38400
#define _POSIX_SOURCE     1 /* POSIX compliant source */
#define FALSE             0
#define TRUE              1

#define TIMEOUT           3

#define FLAG              0x7E
#define C_SET             0x03
#define C_UA              0x07
#define A                 0x03
#define C_DISC            0x0B
#define C_0               0x00
#define C_1               0x40
#define ESC               0x7D
#define ESC_FLAG          0x5E
#define ESC_ESC           0x5D
#define RR_C_0            0x05
#define RR_C_1            0x85
#define REJ_C_0           0x01
#define REJ_C_1           0x81
#define DATA              0x01
#define START             0x02
#define END               0x03
#define SIZE              0x00
#define NAME              0x01

struct FileInfo{
  unsigned int size;
  unsigned char* name;
  unsigned char* content;
};

int llOpen(int fd);
```

```
48 int llClose(int fd);
49 void readControlMessage(int fd, unsigned char control);
50 void writeControlMessage(int fd, unsigned char control);
51 unsigned int llread(int fd, unsigned char* buffer);
52 int destuffing(unsigned char* buffer, unsigned int packetSize);
53 int checkBCC2(unsigned char* buffer, unsigned int packetSize);
54 unsigned int readPacket(int fd, unsigned char* buffer);
55 int getFileInfo(unsigned char* start);
56 void readContent(int fd, unsigned char* start, unsigned int startSize);
57 unsigned int isEndPacket(unsigned char* start, unsigned int startSize,
       unsigned char* end, unsigned int endSize);
58 unsigned int removeHeader(unsigned char* packet, unsigned int size);
59 void createFile();
```

receiver.c

```c
/*Non-Canonical Input Processing*/
#include "receiver.h"

struct termios oldtio, newtio;
int packet;
int expected = 0;
struct FileInfo info;
unsigned char* changed;

int numPackets = 0;
int numRR = 0;
int numREJ = 0;

int main(int argc, unsigned char** argv){

  int fd;

  if ( (argc < 2) ||
       ((strcmp("/dev/ttyS0", argv[1])!=0) &&
        (strcmp("/dev/ttyS1", argv[1])!=0) )) {
    printf("Usage:\tnserial SerialPort\n\tex: nserial /dev/ttyS1\n");
    exit(1);
  }
  /*
    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.
  */

  fd = open(argv[1], O_RDWR | O_NOCTTY);
  if (fd <0) {perror(argv[2]); exit(-1); }
  llOpen(fd);

  unsigned char* start = (unsigned char*)malloc(sizeof(unsigned char));
  if(start == NULL){
    printf("Tried to malloc, out of memory\n");
    exit(-1);
  }

  unsigned int startSize = llread(fd, start);
  start = changed;
  if(getFileInfo(start) == -1){
    printf("File Size and File Name not in the correct order, first size,
    then name\n");
    return -1;
  }

  info.content = (unsigned char*)malloc(info.size * sizeof(unsigned char));
  if(info.content == NULL){
    printf("Tried to malloc, out of memory\n");
```

```
49      exit(-1);
50    }
51
52    readContent(fd, start, startSize);
53
54    printf("Number of packets read: %i\nNumber of packets rejected: %i\nNumber
        of packets accepted: %i\n", numPackets, numREJ, numRR);
55
56    createFile();
57
58    free(start);
59    free(info.name);
60    free(info.content);
61    readControlMessage(fd, C_DISC);
62
63    llClose(fd);
64    return 0;
65  }
66
67  int llOpen(int fd){
68    if (tcgetattr(fd, &oldtio) == -1) { /* save current port settings */
69      perror("tcgetattr");
70      exit(-1);
71    }
72
73    bzero(&newtio, sizeof(newtio));
74    newtio.c_cflag = BAUDRATE | CS8 | CLOCAL | CREAD;
75    newtio.c_iflag = IGNPAR;
76    newtio.c_oflag = 0;
77
78    /* set input mode (non-canonical, no echo,...) */
79    newtio.c_lflag = 0;
80
81    newtio.c_cc[VTIME] = 1; /* unsigned inter-unsigned character timer unused
        */
82    newtio.c_cc[VMIN] = 0;  /* blocking read until 5 unsigned chars received */
83
84    /*
85      VTIME e VMIN devem ser alterados de forma a proteger com um temporizador
        a
86      leitura do(s) pr[U+FFFD]mo(s) caracter(es)
87    */
88
89    tcflush(fd, TCIOFLUSH);
90
91    if (tcsetattr(fd, TCSANOW, &newtio) == -1) {
92      perror("tcsetattr");
93      exit(-1);
94    }
95
96    //Check conection
97    readControlMessage(fd, C_SET);
98
```

```
99    writeControlMessage(fd, C_UA);
100
101   return 0;
102 }
103
104 int llClose(int fd){
105   writeControlMessage(fd, C_DISC);
106
107   readControlMessage(fd, C_UA);
108
109   tcsetattr(fd, TCSANOW, &oldtio);
110
111   close(fd);
112
113   return 0;
114 }
115
116 void readControlMessage(int fd, unsigned char control){
117     unsigned char buf[1];
118     unsigned char message[5];
119     unsigned int res = 0;
120     unsigned int retry = TRUE;
121     unsigned int complete = FALSE;
122     unsigned int state = 0;
123     unsigned int i = 0;
124
125     while (retry == TRUE) {
126       while (complete == FALSE) {
127         res = read(fd,buf,1);
128         if(res > 0){
129           switch(state){
130             case 0:
131               if(buf[0] == FLAG){
132                 state++;
133                 message[i] = FLAG;
134                 i++;
135               }
136               break;
137             case 1:
138               if(buf[0] != FLAG){
139                 message[i] = buf[0];
140                 i++;
141                 if(i==4) {
142                   state++;
143                 }
144               } else {
145                 i = 0;
146                 state = 0;
147               }
148               break;
149             case 2:
150               if(buf[0] != FLAG){
151                 i = 0;
```

```
152                 state = 0;
153               } else {
154                 message[i] = buf[0];
155                 complete = TRUE;
156               }
157               break;
158           }
159         }
160       }
161
162       if(message[0] == FLAG
163           && message[1] == A
164           && message[2] == control
165           && message[3] == (A^control)
166           && message[4] == FLAG)
167         retry = FALSE;
168       else if(message[0] == FLAG
169           && message[1] == A
170           && message[2] == C_DISC
171           && message[3] == (A^C_DISC)
172           && message[4] == FLAG){
173             llClose(fd);
174             exit(0);
175           } else {
176             state = 0;
177             complete = FALSE;
178             i = 0;
179           }
180     }
181 }
182
183 void writeControlMessage(int fd, unsigned char control){
184   unsigned char message[5];
185   message[0] = FLAG;
186   message[1] = A;
187   message[2] = control;
188   message[3] = A ^ control;
189   message[4] = FLAG;
190   write(fd, message, 5);
191 }
192
193 int destuffing(unsigned char* buffer, unsigned int packetSize){
194   unsigned char buf, buf2;
195   unsigned char * buffer2 = (unsigned char*)malloc(packetSize * sizeof(
        unsigned char));
196   if(buffer2 == NULL){
197     printf("Tried to malloc, out of memory\n");
198     exit(-1);
199   }
200   unsigned int newPacketSize = packetSize;
201   unsigned int j = 0;
202
203   memcpy(buffer2, buffer, packetSize);
```

```
204
205   for(unsigned int i = 0; i < packetSize; i++){
206     buf = *(buffer2 + i);
207     if(buf == ESC){
208       buf2 = *(buffer2 + i + 1);
209       if(buf2 == ESC_FLAG){
210         *(buffer + j) = FLAG;
211       } else if(buf2 == ESC_ESC){
212         *(buffer + j) = ESC;
213       } else {
214         return -1;
215       }
216       newPacketSize--;
217       buffer = (unsigned char *) realloc(buffer, newPacketSize * sizeof(
    unsigned char));
218       if(buffer == NULL){
219         printf("Tried to realloc, out of memory\n");
220         exit(-1);
221       }
222       i++;
223     } else
224       *(buffer + j) = buf;
225     j++;
226   }
227
228   changed = buffer;
229
230   free(buffer2);
231   return newPacketSize;
232 }
233
234 int checkBCC2(unsigned char* buffer, unsigned int packetSize){
235   unsigned char bcc2 = *(buffer + packetSize - 1);
236   unsigned char track = *buffer;
237
238   for(unsigned int i = 1; i < packetSize-1; i++){
239     track ^= *(buffer + i);
240   }
241
242   packetSize--;
243   buffer = (unsigned char*) realloc(buffer, packetSize * sizeof(unsigned char
    ));
244   if(buffer == NULL){
245     printf("Tried to realloc, out of memory\n");
246     exit(-1);
247   }
248
249   if(track == bcc2)
250     return packetSize;
251
252   changed = buffer;
253
254   return -1;
```

```
255 }
256
257 unsigned int llread(int fd, unsigned char* buffer){
258   unsigned int stop = FALSE;
259   unsigned int state = 0;
260   unsigned char buf, c;
261   unsigned int packetSize = 0;
262   unsigned int res = 0;
263   unsigned int disc = FALSE;
264   packet = -1;
265
266   do {
267
268     message_received = FALSE;
269
270     while(!stop){
271       res = read(fd, &buf, 1);
272       if(res > 0){
273         switch(state){
274           case 0: // start
275             if(buf == FLAG)
276               state++;
277             break;
278           case 1: // address
279             disc = FALSE;
280             if(buf == A)
281               state++;
282             else
283               if(buf != FLAG)
284                 state = 0;
285             break;
286           case 2: // control
287             switch(buf){
288               case C_0:
289                 packet = 0;
290                 c = buf;
291                 state++;
292                 break;
293               case C_1:
294                 packet = 1;
295                 c = buf;
296                 state++;
297                 break;
298               case C_DISC:
299                 c = buf;
300                 state++;
301                 disc = TRUE;
302                 break;
303               case FLAG:
304                 state = 1;
305                 break;
306               default:
307                 state = 0;
```

```
308                 break;
309             }
310             break;
311           case 3: // bcc1
312             if (buf == (A ^ c)){
313               if(disc){
314                 state = 5;
315                 disc = FALSE;
316               } else
317                 state++;
318             } else
319               if(buf == FLAG)
320                 state = 1;
321               else
322                 state = 0;
323             break;
324           case 4: //data
325             if (buf == FLAG) {
326               stop = TRUE;
327             } else {
328               packetSize++;
329               buffer = (unsigned char *) realloc(buffer, packetSize * sizeof(
    unsigned char));
330               if(buffer == NULL){
331                 printf("Tried to realloc, out of memory\n");
332                 exit(-1);
333               }
334               *(buffer + packetSize - 1) = buf;
335             }
336             break;
337           case 5: //disc
338             if (buf == FLAG) {
339               llClose(fd);
340               exit(0);
341             } else
342               state = 0;
343             break;
344           }}
345       }
346
347       numPackets++;
348       packetSize = destuffing(buffer, packetSize);
349       buffer = changed;
350       packetSize = checkBCC2(buffer, packetSize);
351       buffer = changed;
352       if(packetSize != -1){
353         if(packet == 0)
354           writeControlMessage(fd, RR_C_1);
355         else
356           writeControlMessage(fd, RR_C_0);
357
358         message_received = TRUE;
359         alarm(0);
```

```
360
361       if (packet == expected) {
362         numRR++;
363         expected ^= 1;
364       }
365       else
366         packetSize = -1;
367     } else {
368       if(packet == 0) {
369         writeControlMessage(fd, REJ_C_1);
370       } else {
371         writeControlMessage(fd, REJ_C_0);
372       }
373
374       numREJ++;
375
376     }
377   } while(packetSize == -1);
378
379   return packetSize;
380 }
381
382 int getFileInfo(unsigned char* start){
383   unsigned char type = *(start);
384
385   if(type != START)
386     return -1;
387
388   unsigned char param = *(start + 1);
389   unsigned int octets = (unsigned int)*(start + 2);
390   off_t octetVal;
391   off_t size = 0;
392
393   if(param != SIZE)
394     return -1;
395
396   for(unsigned int i = 0; i < octets; i++) {
397     octetVal = (*(start + 3 + i) << ((octets-i-1) * 8));
398     size = size | octetVal;
399   }
400
401   info.size = (unsigned int)size;
402
403   unsigned char* next = start + 3 + octets;
404   param = *(next);
405
406   if(param != NAME)
407     return -1;
408
409   octets = (unsigned int)*(next + 1);
410
411   unsigned char* name = (unsigned char*)malloc((octets+1) * sizeof(unsigned
      char));
```

```
412   if(name == NULL){
413     printf("Tried to malloc, out of memory\n");
414     exit(-1);
415   }
416
417   int i;
418   for(i = 0; i < octets; i++) {
419     *(name + i) = *(next + 2 + i);
420   }
421
422   *(name + i) = '\0';
423
424   info.name = name;
425
426   return 0;
427 }
428
429 unsigned int isEndPacket(unsigned char* start, unsigned int startSize,
      unsigned char* end, unsigned int endSize) {
430
431   unsigned char type = *(end);
432
433   if(startSize != endSize || type != END)
434     return FALSE;
435
436   for(unsigned int i = 1; i < startSize; i++) {
437     if (*(start + i) != *(end + i))
438       return FALSE;
439   }
440
441   return TRUE;
442
443 }
444
445 unsigned int removeHeader(unsigned char* packet, unsigned int size){
446   unsigned int newSize = size - 4;
447   unsigned char *newPacket = (unsigned char*)malloc(newSize * sizeof(unsigned
       char));
448
449   if(newPacket == NULL){
450     printf("Tried to malloc, out of memory\n");
451     exit(-1);
452   }
453
454   for (unsigned int i = 0; i < newSize; i++)
455   {
456     *(newPacket + i) = *(packet + i + 4);
457   }
458
459   changed = newPacket;
460
461   free(packet);
462
```

```
463   return newSize;
464 }
465
466 void readContent(int fd, unsigned char* start, unsigned int startSize){
467   unsigned char* packet;
468   unsigned int packetSize;
469   unsigned int index = 0;
470
471   while(TRUE) {
472
473     packet = (unsigned char*)malloc(sizeof(unsigned char));
474     if(packet == NULL){
475       printf("Tried to malloc, out of memory\n");
476       exit(-1);
477     }
478
479     packetSize = llread(fd, packet);
480     packet = changed;
481
482     if(isEndPacket(start, startSize, packet, packetSize)){
483       break;
484     }
485
486     packetSize = removeHeader(packet, packetSize);
487     packet = changed;
488
489
490     memcpy(info.content + index, packet, packetSize);
491     index += packetSize;
492
493     free(packet);
494
495   }
496
497   if (alarm_flag) {
498     printf("[readContent] Timed out, exiting application\n");
499     exit(1);
500   }
501
502 }
503
504 void createFile(){
505   FILE* file = fopen((unsigned char*)info.name, "wb+");
506   fwrite((unsigned char*)info.content, sizeof(unsigned char), info.size, file
        );
507   fclose(file);
508 }
```

transmitter.h

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

#define TIMEOUT             3

#define BAUDRATE_DEFAULT          B38400
#define MODEMDEVICE       "/dev/ttyS1"
#define _POSIX_SOURCE     1 /* POSIX compliant source */
#define FALSE             0
#define TRUE              1

#define MAX_ALARM_COUNT 3

#define FLAG              0x7e
#define ADDRESS           0x03
#define CONTROL_SET       0x03
#define CONTROL_UA        0x07
#define CONTROL_DISC      0x0b
#define BCC_UA            (ADDRESS ^ CONTROL_UA)
#define PACKET_HEADER_SIZE  6   //Number of bytes used around an information packet

#define ESCAPE_CODE         0x7d
#define STUFF_FLAG_CODE     0x5e
#define STUFF_ESCAPE_CODE 0x5d

#define A_WRITER            0x03

#define RR_0                0x05
#define RR_1                0x85
#define REJ_0               0x01
#define REJ_1               0x81

#define APP_CONTROL_SIZE_CONST      0x09
#define APP_CONTROL_DATA    0x01
#define APP_CONTROL_START 0x02
#define APP_CONTROL_END     0x03
#define APP_T_FILESIZE      0x00
#define APP_T_FILENAME      0x01
#define APP_L_FILESIZE      0x04

#define C_0               0x00
```

```
50 #define C_1                 0x40
51
52 #define PACKET_SIZE_DEFAULT         255
53
54 void set_alarm();
55 void remove_alarm();
56 unsigned char * openFile(unsigned char * file, int * fileSize);
57 int sendFile(int fd, unsigned char * fileName, int fileNameSize);
58 unsigned char * prepareAppControlPacket(unsigned char control, int fileSize,
       unsigned char * fileName, int fileNameSize, int * appControlPacketSize);
59 unsigned char * prepareDataPacketHeader(unsigned char * data, int fileSize,
       int * packetSize, int * numPackets);
60 unsigned char * splitData(unsigned char * fileData, int fileSize, int *
       currPos, int * currPacketSize);
61 int llopen(int fd);
62 int llclose(int fd);
63 int sendControlMessage(int fd, unsigned char control);
64 int stopAndWaitControl(int fd, unsigned char control_sent, unsigned char
       control_expecting);
65 int stopAndWaitData(int fd, unsigned char * buffer, int length);
66 void stateMachine(unsigned char *message, int *state, unsigned char control);
67 int llopen(int fd);
68 int llwrite(int fd, unsigned char * buffer, int length);
69 unsigned char * concat(const unsigned char * s1, const unsigned char * s2);
70 unsigned char * packetStuffing(unsigned char * message, int size, int *
       finalPacketSize);
71 unsigned char * BCC2Stuffing(unsigned char * bcc2, int * stuffedBCC2Size);
72 unsigned char generateBCC2(unsigned char *message, int sizeOfMessage);
73 unsigned char * preparePacket(unsigned char * buf, unsigned char * bcc2, int
       * finalPacketSize, int * stuffedBCC2Size);
```

transmitter.c

```
/*Non-Canonical Input Processing*/
#include "transmitter.h"

int packetSign = C_0;
volatile int STOP = FALSE;
int alarm_flag = FALSE;
int alarm_counter = 0;
int message_received = FALSE;
int numPackets = 0;
int numRR = 0;
int numREJ = 0;
int activeBaudrate = BAUDRATE_DEFAULT;
int activePacketSize = PACKET_SIZE_DEFAULT;
int testMode = FALSE;

//
// Alarm handler
//

void alarm_handler() {
  alarm_flag = TRUE;
  alarm_counter++;
}

void reset_alarm_flag(){
  alarm_flag = FALSE;
}

void reset_alarm_counter() {
  alarm_counter = 0;
}

//
// Application
//


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

    if ( (argc < 3) ||
         ((strcmp("/dev/ttyS0", argv[1])!=0) &&
          (strcmp("/dev/ttyS1", argv[1])!=0) )) {
      printf("Usage:\tnserial SerialPort\n\tex: nserial /dev/ttyS1 test.txt\n
    ");
      exit(1);
    }

```

```
50    if (argc == 5) {
51      activeBaudrate = (int) strtol(argv[3], NULL, 10);
52      activePacketSize = (int) strtol(argv[4], NULL, 10);
53      testMode = TRUE;
54
55      printf("Test mode active\n**Current settings**\nBaudrate: %i\nPacket
      size: %i\n", activeBaudrate, activePacketSize);
56
57    }
58
59  /*
60    Open serial port device for reading and writing and not as controlling
      tty
61    because we don't want to get killed if linenoise sends CTRL-C.
62  */
63
64
65  fd = open(argv[1], O_RDWR | O_NOCTTY );
66  if (fd <0) {perror(argv[1]); exit(-1); }
67
68  //printf("Serial port open\n");
69
70  if ( tcgetattr(fd,&oldtio) == -1) { /* save current port settings */
71    perror("tcgetattr");
72    exit(-1);
73  }
74
75  bzero(&newtio, sizeof(newtio));
76  newtio.c_cflag = activeBaudrate | CS8 | CLOCAL | CREAD;
77  newtio.c_iflag = IGNPAR;
78  newtio.c_oflag = 0;
79
80  /* set input mode (non-canonical, no echo,...) */
81
82  newtio.c_lflag = 0;
83
84  newtio.c_cc[VTIME]    = 1;   /* inter-character timer unused */
85  newtio.c_cc[VMIN]     = 0;   /* blocking read until 5 chars received */
86
87  /*
88    VTIME e VMIN devem ser alterados de forma a proteger com um temporizador
      a
89    leitura do(s) proximo(s) caracter(es)
90  */
91
92  tcflush(fd, TCIOFLUSH);
93
94  if ( tcsetattr(fd,TCSANOW,&newtio) == -1) {
95    perror("tcsetattr");
96    exit(-1);
97  }
98
99  //printf("New termios structure set\n");
```

```
100
101   //Set the alarm
102
103   struct sigaction sa;
104   sa.sa_handler = alarm_handler;
105   sigemptyset(&sa.sa_mask);
106   sa.sa_flags = 0;
107
108   sigaction(SIGALRM, &sa, NULL);
109
110   //
111   //Timer for efficency test
112   //
113
114   struct timespec transmitionStart, transmitionEnd;
115   clock_gettime(CLOCK_REALTIME, &transmitionStart);
116
117   //
118   //llopen
119   //
120
121   int error = llopen(fd);
122   if(error != 0){
123     perror("Could not connect\n");
124     exit(1);
125   }
126
127   //
128   //send file
129   //
130
131   //printf("[main] File name size: %i\n", (int) strlen(argv[2]));
132   sendFile(fd, (unsigned char *) argv[2], strlen(argv[2]));
133
134   //
135   //llclose
136   //
137
138   llclose(fd);
139
140   clock_gettime(CLOCK_REALTIME, &transmitionEnd);
141
142   double deltaTime = (transmitionEnd.tv_sec - transmitionStart.tv_sec) + (
      transmitionEnd.tv_nsec - transmitionStart.tv_nsec) / 1E9;
143
144   if (testMode) {
145     printf("Number of packets sent: %i\nNumber of packets rejected: %i\
      nNumber of packets accepted: %i\n", numPackets, numREJ, numRR);
146     printf("Transmition time: %f\n", deltaTime);
147   }
148
149   if (tcsetattr(fd,TCSANOW,&oldtio) == -1) {
150     perror("tcsetattr");
```

```
151     exit(-1);
152   }
153
154   close(fd);
155   return 0;
156 }
157
158 //
159 // Application functions
160 //
161
162 int sendFile(int fd, unsigned char * fileName, int fileNameSize) {
163
164   //open file
165
166   int fileSize = 0;
167   int appControlPacketSize = 0;
168   unsigned char * fileData = openFile(fileName, &fileSize);
169
170   if (testMode) {
171     printf("File size: %i bytes (%i bits)\n", fileSize, fileSize*8);
172   }
173
174   //prepare and send start packet
175
176   unsigned char * startPacket = prepareAppControlPacket(APP_CONTROL_START,
      fileSize, fileName, fileNameSize, &appControlPacketSize);
177
178   stopAndWaitData(fd, startPacket, appControlPacketSize);
179
180   //free allocated memory (startPacket)
181
182   free(startPacket);
183
184   //send the file
185
186   int currPos = 0;
187   int currPacketSize = activePacketSize;
188   int numPackets = 0;
189   unsigned char * currPacket;
190
191   while(currPos < fileSize) {
192     currPacket = splitData(fileData, fileSize, &currPos, &currPacketSize);
193     currPacket = prepareDataPacketHeader(currPacket, fileSize, &
      currPacketSize, &numPackets);
194
195     int stopAndWaitDataReturn;
196
197     stopAndWaitDataReturn = stopAndWaitData(fd, currPacket, currPacketSize);
198     switch(stopAndWaitDataReturn) {
199     case 0:
200       break;
201     case 1:
```

```
202         //timed out, exit application
203         perror("[sendFile] Connection timed out, closing application\n");
204         exit(1);
205       case 2:
206         //packet rejected, send it again
207         stopAndWaitData(fd, currPacket, currPacketSize);
208       }
209
210       currPacketSize = activePacketSize;
211       free(currPacket);
212     }
213
214     //send end packet
215
216     unsigned char * endPacket = prepareAppControlPacket(APP_CONTROL_END,
        fileSize, fileName, fileNameSize, &appControlPacketSize);
217
218     stopAndWaitData(fd, endPacket, appControlPacketSize);
219
220     printf("[sendFile] File sent\n");
221
222     //free allocated memory (endPacket and fileData)
223     free(fileData);
224     free(startPacket);
225
226     return 0;
227 }
228
229 unsigned char * openFile(unsigned char * file, int * fileSize) {
230
231     FILE * f;
232     struct stat metadata;
233     unsigned char * fileData;
234
235     if ((f = fopen((char *) file, "rb")) == NULL) {
236       perror("[openFile] Error opening file\n");
237       exit(1);
238     }
239
240     stat((char *) file, &metadata);
241     (*fileSize) = metadata.st_size;
242
243     fileData = (unsigned char *) malloc((*fileSize)*sizeof(unsigned char));
244     fread(fileData, sizeof(unsigned char), *fileSize, f);
245     return fileData;
246 }
247
248 unsigned char * prepareAppControlPacket(unsigned char control, int fileSize,
      unsigned char * fileName, int fileNameSize, int * appControlPacketSize) {
249
250     (* appControlPacketSize) = APP_CONTROL_SIZE_CONST + fileNameSize;
251     unsigned char * controlPacket = (unsigned char *) malloc ((*
        appControlPacketSize)*sizeof(unsigned char));
```

```
252
253   controlPacket[0] = control;
254   controlPacket[1] = APP_T_FILESIZE;
255   controlPacket[2] = APP_L_FILESIZE;
256   controlPacket[3] = (fileSize >> 24) & 0xFF;
257   controlPacket[4] = (fileSize >> 16) & 0xFF;
258   controlPacket[5] = (fileSize >> 8) & 0xFF;
259   controlPacket[6] = fileSize & 0xFF;
260   controlPacket[7] = APP_T_FILENAME;
261   controlPacket[8] = fileNameSize;
262
263   int i;
264   for (i = 0; i < fileNameSize; i++) {
265     controlPacket[9+i] = fileName[i];
266   }
267
268   return controlPacket;
269 }
270
271
272 unsigned char * prepareDataPacketHeader(unsigned char * data, int fileSize,
      int * packetSize, int * numPackets) {
273
274   unsigned char * finalDataPacket = (unsigned char *) malloc((fileSize+4) *
      sizeof(unsigned char));
275
276   finalDataPacket[0] = APP_CONTROL_DATA;
277   finalDataPacket[1] = (*numPackets) % 255;
278   finalDataPacket[2] = fileSize / 256;
279   finalDataPacket[3] = fileSize % 256;
280
281   memcpy(finalDataPacket+4, data, (*packetSize)*sizeof(unsigned char));
282   (*packetSize) += 4;
283
284   (*numPackets)++;
285   return finalDataPacket;
286 }
287
288
289 unsigned char * splitData(unsigned char * fileData, int fileSize, int *
      currPos, int * currPacketSize) {
290
291   unsigned char * packet;
292   int j = (*currPos);
293
294   if (j + (*currPacketSize) > fileSize) {
295     (*currPacketSize) = (fileSize - j);
296   }
297
298   packet = (unsigned char *) malloc((*currPacketSize)*sizeof(unsigned char));
299
300   int i;
301   for(i = 0; i < (*currPacketSize); i++, j++) {
```

```
302     packet[i] = fileData[j];
303   }
304
305   (* currPos) = j;
306
307   return packet;
308
309 }
310
311
312 //
313 // Data link layer functions
314 //
315
316 int sendControlMessage(int fd, unsigned char control) {
317
318   int res;
319   unsigned char message[5];
320
321   message[0] = FLAG;
322   message[1] = ADDRESS;
323   message[2] = control;
324   message[3] = message[1]^message[2];
325   message[4] = FLAG;
326
327   res = write(fd, message, 5);
328   if(res <= 0){
329     return FALSE;
330   }
331   else{
332     //printf("[sendControlMessage] Message sent: 0x%02x\n", message[2]);
333     return TRUE;
334   }
335 }
336
337 /**
338  * Recebe uma mensagem e um estado e interpreta em que parte da leitura da
      trama de supervisao e[U+FFFD]
339  * @param message - Mensagme para ser interpretada
340  * @param state - Estado/posi[U+FFFD]o na interpreta[U+FFFD]ao da trama
341  */
342
343 void stateMachine(unsigned char *message, int *state, unsigned char control){
344   switch(*state){
345
346     case 0:                                 /* Esta a espera do inicio da trama
      (0x7E) */
347         if(*message == FLAG){
348             *state = 1;
349         }
350         break;
351
352     case 1:
```

```
353         if(*message == ADDRESS){                /* Espera do A */
354             *state = 2;
355         }
356         else if(*message == FLAG){     /* Se tiver um 0x7E no meio da trama */
357             *state = 1;
358         }
359         else{                                   /* Houve um erro e Adress está
    incorreto */
360             *state = 0;
361         }
362         break;
363
364     case 2:
365         if(*message == control){          /* Recebe o valor de Controlo */
366             *state = 3;
367         }
368         else if(*message == FLAG){    /* Se tiver um 0x7E no meio da trama */
369             *state = 1;
370         }
371         else{                                   /* Houve um erro e Controlo não
    está correto */
372             *state = 0;
373         }
374         break;
375
376     case 3:
377         if(*message == (control ^ ADDRESS)){              /* BCC lido com
    sucesso */
378             *state = 4;
379         }
380         else{                                   /* Erro com BCC */
381             *state = 0;
382         }
383         break;
384
385     case 4:
386         if(*message == FLAG){            /* Recebe o ultimo 7E */
387             message_received = TRUE;
388             alarm(0);
389             //printf("[stateMachine] Received 0x%02x\n", control);
390         }
391         else{                                   /* Erro no 7E */
392             *state = 0;
393         }
394         break;
395   }
396 }
397
398 int stopAndWaitControl(int fd, unsigned char control_sent, unsigned char
    control_expecting) {
399
400   int res = 0;
401   unsigned char buf[1];
```

```
402   int state = 0;
403
404   reset_alarm_flag();
405   reset_alarm_counter();
406   message_received = FALSE;
407
408   while(alarm_counter < MAX_ALARM_COUNT && !message_received){
409
410     sendControlMessage(fd, control_sent);
411     alarm(TIMEOUT);
412     state = 0;
413     while(!alarm_flag && !message_received) {
414       res = read(fd, buf, 1);
415       if(res <= 0){
416         //perror("stopAndWait: read nothing\n");
417       }
418       else
419       {
420         //printf("[stopAndWaitControl] Received answer: 0x%02x\n", *buf);
421       }
422       stateMachine(buf, &state, control_expecting);
423     }
424
425     reset_alarm_flag();
426   };
427
428   if(alarm_counter < MAX_ALARM_COUNT){
429       return 0;
430   }
431   else
432       return 1;
433 }
434
435 void stateMachineData(unsigned char *message, int *state, unsigned char *
      controlReceived){
436   switch(*state){
437
438     case 0:                                 /* Esta a espera do inicio da trama
      (0x7E) */
439         if(*message == FLAG){
440             *state = 1;
441         }
442         break;
443
444     case 1:
445         if(*message == ADDRESS){                /* H[U+FFFD]spera do A */
446             *state = 2;
447         }
448         else if(*message == FLAG){      /* Se tiver um 0x7E no meio da trama */
449             *state = 1;
450         }
451         else{                                   /* Houve um erro e Adress e[U+FFFD]
      incorreto */
```

```
452             *state = 0;
453         }
454         break;
455
456     case 2:
457         if(*message == RR_0 || *message == RR_1 || *message == REJ_0 || *
    message == REJ_1){          /* Recebe o valor de Controlo */
458             *controlReceived = (*message);
459             *state = 3;
460         }
461         else if(*message == FLAG){    /* Se tiver um 0x7E no meio da trama */
462             *state = 1;
463         }
464         else{                                   /* Houve um erro e Controlo n[U+FFFD]
    e[U+FFFD]correto */
465             *state = 0;
466         }
467         break;
468
469     case 3:
470         if(*message == ((*controlReceived) ^ ADDRESS)){             /* BCC
    lido com sucesso */
471             *state = 4;
472         }
473         else{                                   /* Erro com BCC */
474             *state = 0;
475         }
476         break;
477
478     case 4:
479         if(*message == FLAG){           /* Recebe o ultimo 7E */
480             message_received = TRUE;
481             alarm(0);
482         }
483         else{                                   /* Erro no 7E */
484             *state = 0;
485         }
486         break;
487   }
488 }
489
490 int stopAndWaitData(int fd, unsigned char * buffer, int length) {
491
492   int res = 0;
493   unsigned char buf[1];
494   int state = 0;
495   unsigned char controlReceived[1];
496
497   reset_alarm_flag();
498   reset_alarm_counter();
499   message_received = FALSE;
500
501   //send the message
```

```
502
503   llwrite(fd, buffer, length);
504
505
506   while(alarm_counter < MAX_ALARM_COUNT && !message_received){
507
508     alarm(TIMEOUT);
509     while(!alarm_flag && !message_received) {
510       res = read(fd, buf, 1);
511       if(res <= 0){
512         //perror("stopAndWait: read nothing\n");
513       }
514       else
515       {
516         //printf("[stopAndWaitData] Received answer: 0x%02x\n", *buf);
517         stateMachineData(buf, &state, controlReceived);
518       }
519     }
520
521     //re-send the data packet
522     if (alarm_flag) {
523       llwrite(fd, buffer, length);
524     }
525
526     reset_alarm_flag();
527
528   };
529
530   if(alarm_counter < MAX_ALARM_COUNT) {
531     switch(controlReceived[0]) {
532     case RR_0:
533       packetSign = C_0;
534       numRR++;
535       //printf("rr0 new sign is %c\n", packetSign);
536       return 0;
537     case RR_1:
538       packetSign = C_1;
539       numRR++;
540       //printf("rr1 new sign is %c\n", packetSign);
541       return 0;
542     case REJ_0:
543       numREJ++;
544       //printf("rej0\n");
545       return 2;
546     case REJ_1:
547       numREJ++;
548       //printf("rej1\n");
549       return 2;
550     }
551   } else {
552     printf("[stopAndWaitData] Timeout while sending data, terminating program
      \n");
553     exit(1);
```

```
554   }
555
556   return 1;
557
558 }
559
560 int llopen(int fd){
561   return stopAndWaitControl(fd, CONTROL_SET,CONTROL_UA);
562 }
563
564 int llclose(int fd) {
565   if (stopAndWaitControl(fd, CONTROL_DISC,CONTROL_DISC)) {
566     return 1;
567   }
568
569   if (sendControlMessage(fd, CONTROL_UA)) {
570     return 1;
571   }
572   return 0;
573 }
574
575 /**
576 * Calculate the parity of the message of the argument
577 * @param message - pointer to the message which parity wants to be calculated
578 * @param size - size of the message sent
579 * @returns the parity of the message in form of a unsigned char
580 */
581 unsigned char generateBCC2(unsigned char *message, int sizeOfMessage){
582
583   unsigned char result = message[0];
584
585   int i;
586   for(i = 1; i < sizeOfMessage; i++){
587     result = result ^ message[i];
588   }
589
590   return result;
591 }
592
593 /**
594 *
595 */
596 int llwrite(int fd, unsigned char * buffer, int length) {
597
598   int finalPacketSize = 0;
599   int stuffedBCC2Size = 0;
600   unsigned char * finalPacket;
601
602   //
603   //bcc2
604   //
605
606   unsigned char BCC2 = generateBCC2(buffer,length);
```

```
607   unsigned char * stuffedBCC2 = (unsigned char *) malloc(sizeof(unsigned char
        ));
608
609   //
610   //stuffing
611   //
612
613   stuffedBCC2 = BCC2Stuffing(&BCC2, &stuffedBCC2Size);
614   finalPacket = packetStuffing(buffer, length, &finalPacketSize);
615
616
617   //
618   //concatenate packet header, stuffed message and packet trailer
619   //
620
621   finalPacket = preparePacket(finalPacket, stuffedBCC2, &finalPacketSize, &
        stuffedBCC2Size);
622
623   //
624   //sending packet
625   //
626
627   write(fd, finalPacket, finalPacketSize);
628
629   numPackets++;
630
631   free(stuffedBCC2);
632   free(finalPacket);
633
634   return 0;
635 }
636
637 unsigned char * BCC2Stuffing(unsigned char * bcc2, int * stuffedBCC2Size) {
638
639   unsigned char * stuffedBCC2 = (unsigned char *) malloc(sizeof(unsigned char
        ));
640
641   if((*bcc2) == FLAG){
642     stuffedBCC2 = (unsigned char *)realloc(stuffedBCC2,2*sizeof(unsigned char
        ));
643     stuffedBCC2[0] = ESCAPE_CODE;
644     stuffedBCC2[1] = STUFF_FLAG_CODE;
645     (*stuffedBCC2Size) = 2;
646   }
647   else if((*bcc2) == ESCAPE_CODE) {
648     stuffedBCC2 = (unsigned char *)realloc(stuffedBCC2,2*sizeof(unsigned char
        ));
649     stuffedBCC2[0] = ESCAPE_CODE;
650     stuffedBCC2[1] = STUFF_ESCAPE_CODE;
651     (*stuffedBCC2Size) = 2;
652   }
653   else {
654     stuffedBCC2[0] = (*bcc2);
```

```
655     (*stuffedBCC2Size) = 1;
656   }
657
658   return stuffedBCC2;
659 }
660
661 /**
662 *   Stuffs the message in buf to prevent it from having the char FLAG which
      would cause a problem while reading
663 *   @param buf - message to be stuffed
664 *   @param len - length of the message to be stuffed
665 *   @return the message but stuffed (with no FLAGS in it)
666 */
667 unsigned char * packetStuffing(unsigned char * message, int size, int *
      finalPacketSize) {
668
669   //Counter for the original message
670   int i;
671   //Counter for the new message
672   int j = 0;
673
674   int sizeFinalMessage = size;
675   unsigned char *finalMessage = (unsigned char *)malloc(sizeof(unsigned char)
       *size);
676
677   if (finalMessage == NULL) {
678     printf("[packetStuffing] Couldn't allocate memory\n");
679   }
680
681   //Loop through all the old message and generate the new one
682   for(i = 0; i < size ; i++) {
683
684     if(message[i] == FLAG) {
685       sizeFinalMessage++;
686       finalMessage = (unsigned char *)realloc(finalMessage,sizeFinalMessage *
       sizeof(unsigned char));
687       finalMessage[j] = ESCAPE_CODE;
688       finalMessage[j+1] = STUFF_FLAG_CODE;
689       j += 2;
690     }
691     else if(message[i] == ESCAPE_CODE) {
692       sizeFinalMessage++;
693       finalMessage = (unsigned char *)realloc(finalMessage,sizeFinalMessage *
       sizeof(unsigned char));
694       finalMessage[j] = ESCAPE_CODE;
695       finalMessage[j+1] = STUFF_ESCAPE_CODE;
696       j += 2;
697     }
698     else {
699       finalMessage[j] = message[i];
700       j++;
701     }
702   }
```

```
703
704   *finalPacketSize = sizeFinalMessage;
705   return finalMessage;
706 }
707
708 unsigned char * preparePacket(unsigned char * buf, unsigned char * bcc2, int
      * finalPacketSize, int * stuffedBCC2Size) {
709
710   unsigned char header[4];
711   header[0] = FLAG;
712   header[1] = A_WRITER;
713   header[2] = packetSign;
714   header[3] = header[1] ^ header[2];
715
716   unsigned char trailer[1];
717   trailer[0] = FLAG;
718
719   int auxFinalPacketSize = ((*finalPacketSize) + 5 + (*stuffedBCC2Size));
720
721   unsigned char * auxBuf = (unsigned char *) malloc(auxFinalPacketSize *
      sizeof(unsigned char));
722
723   memcpy(auxBuf, header, 4*sizeof(unsigned char));
724   memcpy(auxBuf+4, buf, (*finalPacketSize)*sizeof(unsigned char));
725   memcpy(auxBuf+4+(*finalPacketSize), bcc2, (*stuffedBCC2Size)*sizeof(
      unsigned char));
726   memcpy(auxBuf+4+(*finalPacketSize)+(*stuffedBCC2Size), trailer, 1*sizeof(
      unsigned char));
727
728   (*finalPacketSize) = auxFinalPacketSize; // flag, address, control, bcc1,
      bcc2, flag
729
730   free(buf);
731   return auxBuf;
732
733 }
```