

Redes de Computadores

**1º Trabalho Laboratorial**

6 de novembro de 2017

Carlos Freitas

David Falcão – up201506571

Luís Martins – up201503344

\*completar com UPs\*

**Índice**

**No index entries found.**

**Sumário**

No âmbito do primeiro trabalho laboratorial de Redes de Computadores, este relatório tem como objetivo realizar uma análise estatística ao comportamento do protocolo implementado para a transmissão e receção de ficheiros através de uma porta de série assíncrona.

O trabalho foi realizado com sucesso, uma vez que todos os objetivos propostos foram atingidos, verificando-se que o protocolo é capaz de assegurar uma transmissão correta dos dados, mesmo que ocorram alterações nos pacotes durante a mesma, como por exemplo interrupções ou curtos-circuitos na ligação, alterando os dados.

**Introdução**

O objetivo do trabalho realizado era implementar um protocolo de ligação através da porta de série, utilizando a técnica *Stop and Wait*, de modo que fosse resistente a alguns fatores de perturbação, como interrupções e curtos-circuitos durante a sua execução. Para tal, foi utilizada a abstração do envio de um ficheiro de teste, para verificar a funcionalidade e resistência do protocolo implementado.

Para garantir coesão nos dados enviados e recebidos, foram utilizadas algumas técnicas de proteção, nomeadamente adição de bytes de controlo e técnica de transparência (*framming*), permitindo assim também fazer um controlo ao fluxo do programa.

O presente relatório tem como objetivo analisar e interpretar o resultado obtido em relação à implementação do protocolo, analisando os dados obtidos através de testes.

Assim, este relatório está organizado da seguinte forma:

* **Arquitetura e estrutura de código:** Demonstração dos blocos funcionais e interfaces. Principais estruturas de dados, principais funções e a sua relação com a arquitetura.
* **Casos de Uso Principais:** Identificação dos principais casos de uso e sequência da chamada de funções.
* **Protocolo de ligação lógica:** Identificação dos principais aspetos funcionais e descrição da estratégia de implementação destes.
* **Protocolo de aplicação:** Identificação dos principais aspetos funcionais e descrição da estratégia de implementação destes.
* **Validação:** Apresentação dos testes efetuados e apresentação quantificada dos resultados obtidos.
* **Eficiência do protocolo de ligação de dados:** Comparação do programa com mecanismos *Stop and Wait* de *ARQ* e apresentação da eficiência do mesmo através dos testes apresentados.
* **Conclusão:** Síntese do projeto realizado e reflexão sobre os principais objetivos de aprendizagem alcançados.

**Arquitetura e Estrutura do código**

O trabalho está organizado em duas principais camadas lógicas, que permitem uma correta organização e funcionamento do protocolo, tornando-o modular.

**Camada de Ligação (Data Link Layer)**

A camada de Ligação é a camada de software “mais baixa” e é responsável pela comunicação e verificação da coesão dos resultados provenientes da porta de série.

Deste modo, esta camada contém todas as funções relativas ao estabelecimento da ligação entre os terminais (*LLOPEN*), escrita e leitura da informação utilizando a porta série (*LLWRITE/LLREAD*), e respetiva análise em relação à sua coesão (*state\_machine* e *verify\_bcc2*). Esta camada é também responsável pelo fecho da ligação no fim da comunicação (*LLCLOSE*).

Para uma melhor estruturação, esta camada contém uma estrutura de dados (struct), por forma a manter algumas informações importantes para a execução das funções de leitura e escrita de e para a porta de série, nomeadamente:

* o tempo de timeout
* o número máximo de retransmissões
* o valor de controlo da última trama, para que se possa verificar se se trata de um duplicado

typedef struct{

    struct termios oldtio;

    struct termios newtio;

    unsigned char control\_value;

    unsigned int timeout;

    unsigned int max\_transmissions;

} link\_layer;

**Camada de Aplicação (Application Layer)**

A camada de Aplicação é a camada “mais alta” e é responsável pela inicialização do programa (*main*). É a partir desta que se desenrola o processo de transferência de dados através da porta de série. Esta camada é também responsável pela criação dos pacotes que contêm os dados a enviar, tanto as tramas de START e END (*create\_STARTEND\_packet*) como as tramas de Informação (*data\_package\_constructor*).

Assim, esta camada contém, entre outras funções, as funções de leitura (*handle\_readfile*) e de criação/escrita (*handle\_writefile*) do ficheiro a transmitir, no caso de o programa ser executado no modo de escritor ou no modo de leitor, respetivamente.

Para uma melhor estruturação, esta camada contém duas estruturas de dados essenciais para guardar informação:

* a primeira relativa ao ficheiro de leitura/escrita (nome, tamanho, ...)
* a segunda relativa aos dados a enviar para a camada de ligação, que se referem à comunicação com a porta de série (descritor da porta)

typedef struct {

int filesize;

char\* filename;

FILE\* fp;

int size\_to\_read;

}file\_info;

typedef struct{

int file\_descriptor;

char\* status;

}application\_layer;

**Casos de Usos Principais**

A aplicação resultante possui vários casos de uso, nomeadamente os que são responsáveis pela transferência do ficheiro e pela inserção de dados por parte do utilizador. Assim, a transferência do ficheiro dá-se da seguinte forma:

**No caso do emissor:**

O emissor preenche a estrutura file com os dados do ficheiro necessários à abertura e leitura do mesmo. O restante funcionamento do programa divide-se em 3 partes fundamentais, e sequenciais:

* Criação e envio da trama START utilizando as funções *create\_STARTEND\_packet()* e *send\_message()*, sendo que esta última função envia a trama para a camada de ligação através da chamada à função *LLWRITE*;
* Leitura e envio dos vários pacotes de dados provenientes do ficheiro. Para tal, é chamada a função *handle\_readfile()* que lê o ficheiro e chama a função *send\_message()* para envio da informação lida;
* Por fim, é criada e enviada, de forma idêntica à START, a trama END.

De referir que a função *send\_message(),* no caso das tramas de Informação, invoca a função *data\_package\_constructor()* que adiciona o cabeçalho ao pacote, nomeadamente os valores do número do pacote e o tamanho de dados a enviar.

É também importante referir que a função *LLWRITE*, adiciona a restante informação necessária à trama através da chamada à função *create\_frame(),* que por sua vez calcula o valor de BCC2 e invoca as funções *byte\_stuffing()* e *add\_frame\_header(),* para que seja realizada a função de transparência e sejam adicionados os cabeçalhos. No fim, a função *LLWRITE* envia a mensagem através da chamada de sistema *read()*.

**No caso do recetor:**

É invocada a função *get\_message()* que espera uma mensagem proveniente do emissor, através da chamada à função *LLREAD*. A função *LLREAD* lê e retorna o pacote recebido após verificar se existe a coesão dos dados recebidos (BCC1, BCC2, e duplicados). Posteriormente, esta trama é analisada e verifica-se de que tipo de trama se trata. Caso se trate de um pacote de informação, é invocada a função *get\_only\_data()* que verifica de qual dos seguintes tipos de pacotes se trata, retornando o pacote lido:

* Mensagem START: chama a função *start\_message(),* que preenche os dados da estrutura file com os respetivos dados para a criação do ficheiro, criando-o;
* Pacotes de Informação: chama a função *get\_only\_data(),* que remove o cabeçalho do pacote e posteriormente chama a função *handle\_writefile(),* que escreve os dados para o ficheiro de destino;
* Mensagem END: chama a função *verify\_end(),* que verifica se o tamanho do ficheiro recebido corresponde ao tamanho recebido na trama final;
* Se a trama recebida for um DISC ou nula, nada é analisado.

O recetor executa a função *get\_message()* enquanto esta não retornar uma trama DISC, sinal de que a execução do programa terminou e a porta de série já foi fechada.

Em ambos os casos vai ser executada no início a função *LLOPEN,* para abrir e configurar a porta de série.

Quanto à interação com o utilizador, este apenas deve iniciar o programa executando através do terminal um comando com a seguinte estrutura:

* **Emissor:** {Nome da aplicação} {nome da porta de série (ex: /dev/ttyS0)} {modo de abertura (w)} *{nome do ficheiro a enviar}* {tempo de timeout} {número de tentativas máximas de reenvio}
* **Recetor:** {Nome da aplicação} {nome da porta de série (ex: /dev/ttyS0)} {modo de abertura (r)} {tempo de timeout} {número de tentativas máximas de reenvio}

**Protocolo de Ligação Lógica**

A camada de ligação é uma das camadas implementadas neste projeto. Esta camada é responsável pela comunicação e coesão da mesma através de verificações feitas aos valores BCC1, BCC2 e C1. Assim, esta camada tem as seguintes funcionalidades:

* Estabelecer e terminar uma ligação através da porta de série (Envio e receção das tramas SET e UA);
* Escrever e ler mensagens através da porta série (Envio e receção das tramas RR, REJ e I);
* Adicionar e remover os cabeçalhos necessários para o envio das tramas S e I referentes ao envio dos pacotes de informação, e respetivo *stuff/destuff*;
* Analisar os cabeçalhos das mensagens recebidas enviando a respetiva trama de resposta.

Deste modo, as principais funções desta camada são as seguintes:

**LLOPEN**

***int*** *LLOPEN(****char\**** *port,* ***char\**** *mode,* ***char\**** *timeout,* ***char\**** *max\_transmissions) ;*

A função *llopen* é responsável por estabelecer a ligação através da porta de série.

Quando o emissor invoca esta função é feito o envio do comando SET e aguarda a respetiva resposta UA. Em caso de sucesso, a ligação fica estabelecida e a função retorna o valor do descritor da ligação através da porta de série. Caso contrário, existem as seguintes possibilidades:

* se UA não for recebido: a trama SET é reenviada passados timeout segundos até um máximo de max\_transmissions tentativas. Caso seja atingido o número máximo de tentativas, a função retorna -1, indicando que a ligação não foi estabelecida.
* caso exista resposta por parte do recetor mas esta não seja afirmativa, o emissor reenvia a trama SET até que a resposta seja afirmativa.

Já quando o recetor invoca esta função, fica a aguardar a chegada de um comando SET e quando o receber, envia como resposta UA. Deste modo, a ligação fica estabelecida.

**LLWRITE**

***int*** *LLWRITE(****int*** *fd, unsigned* ***char\**** *msg,* ***int\**** *length);*

A função *llwrite* é responsável pelo envio dos pacotes de Informação.

Assim esta função recebe como argumento, entre outros, a mensagem a ser enviada (pacotes de controlo + dados) e o respetivo tamanho. Deste modo, com recurso à função *create\_package()* esta cria a trama com os cabeçalhos necessário (flags, campo de endereço, campo de controlo(c1), BCC1, BCC2 e respetivo stuffing) e envia a mesma através da porta de série.

O envio das tramas de informação é similar ao estabelecimento da ligação por parte do emissor, ou seja, a mensagem é enviada e fica-se a aguardar resposta sendo reenviada a mesma quando for atingido o tempo de timeout. Caso a resposta recebida seja o comando RR (C1 = 0x05/0x85), a mensagem foi recebida corretamente e pode-se enviar o próximo pacote; caso a resposta seja o comando REJ(C1 = 0x01/0x81), o último pacote é reenviado. A função retorna TRUE em caso de sucesso e FALSE caso contrário.

**LLREAD**

***unsigned char\**** *LLREAD(****int*** *fd,* ***int\**** *length);*

A função *llread* é responsável pela leitura dos pacotes de informação provenientes da porta de série. Como tal, esta função, ao ser invocada lê a informação, um char de cada vez, verificando o início e fim da trama(FLAG) e coesão do cabeçalho (BCC1), através da chamada a função *state\_machine().* São também invocadas aqui as funções de introdução de erros aleatórios no cabeçalho e dados. Caso não ocorra nenhum erro no BCC1 a função prossegue.

Nesta mesma função analisa-se a trama recebida verificando os seguintes parâmetros

* se a trama recebida se trata de um DISC (Sinal de terminação de envio das tramas de informação), é invocado LLCLOSE para se proceder ao protocolo de fecho da porta de série;
* se não, é analisada a presença de um duplicado (verificando o valor do campo de controlo), é feito o *destuffing* e a respetiva verificação do valor de BCC2(*verify\_bcc2()*)

Posteriormente é enviada, através da função *send\_response(),* a resposta de acordo com os dados recebidos, segundo a seguinte lógica:

* Trata-se de um duplicado: é enviado RR;
* Não é duplicado e BCC2 está correto: é enviado RR;
* Não é duplicado e BCC2 está errado: é enviado REJ.

Caso seja enviado RR, será o valor correspondente a RR do complemento do tipo de trama recebida, ou seja, caso se receba uma trama 1 (C = 0x40) envia-se RR correspondente a RR0(0x05). Já no caso de ser enviado REJ, será o valor correspondente a REJ do tipo de trama recebida, ou seja, se se receber uma trama 1, envia-se REJ correspondente a REJ(0x81).

**LLCLOSE**

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

A função LLCLOSE é responsável por terminar a ligação através da porta de série. Esta função tem comportamentos distintos caso se trate do recetor ou do emissor.

Assim, no caso do recetor, esta função é chamada na função LLREAD ao ser encontrado um comando DISC. Após isso, o recetor através da chamada à função *send\_disc()* reenvia o comando DISC, aguardando uma resposta UA final.

Já no caso do emissor, esta função é chamada após o envio e receção da respetiva resposta da trama END. É chamada a função *send\_disc()* que envia uma trama DISC e espera uma resposta idêntica.

Em caso de sucesso, a ligação é também terminada no lado do emissor.

**Protocolo de Aplicação**

A camada de aplicação é a camada de mais alto nível implementada neste projeto. Esta camada é responsável pelas seguintes funcionalidades:

* Envio/receção dos pacotes de dados e de controlo
* Leitura/escrita do ficheiro a enviar/recebido.

Uma vez que é nesta camada que se inicia todo o processo, a função *main* tem dois blocos e escolhe qual executar, dependendo se se trata do emissor ou do recetor, parâmetro este que é recebido como argumento da função.

Desta forma, existem funções separadas para ambos os modos, emissor e recetor.

**Emissor**

Na parte do emissor, para garantir a existência de coesão nos dados recebidos são feitas algumas verificações.

Assim, para o envio da informação, o emissor prepara as tramas de início(START) e de fim (END) invocando a função *create\_STARTEND\_packet().* O envio destas tramas permite ao recetor saber qual o nome do ficheiro a criar e, aquando da receção da trama END, verificar se o tamanho de dados recebidos está correto.

É também no protocolo de aplicação que é adicionado o cabeçalho do pacote (*packet header*) no qual vai a informação relativa ao número do pacote e tamanho de dados que o pacote transporta. Este cabeçalho é útil pois, no final, caso o ficheiro esteja corrompido é possível verificar qual(is) os pacotes que falharam, através do ficheiro de logs criado.

**Recetor**

No recetor apenas é chamada a função *get\_message()* que, após executar a função LLREAD, analisa os dados obtidos.

No caso dos Pacotes de Informação (tramas I) é invocada a função *get\_only\_data().* Esta função remove o cabeçalho e, considerando os valores de L1 e L2, lê os dados existentes na trama.

Já no caso de se tratar de uma trama END, é invocada a função *verify\_end()*, que verifica se o tamanho do ficheiro recebido corresponde ao tamanho recebido na trama final, de modo a saber se o ficheiro foi recebido na totalidade.

**Validação**

\*falta dizer que testaram com curtos circuitos e parar a ligação\*

Nesta secção são abordados os diversos testes realizados. Foram utilizados no total três tipos de teste para o mesmo ficheiro “pinguim.gif” usado na apresentação do trabalho com um tamanho total de 10968 kilobytes.

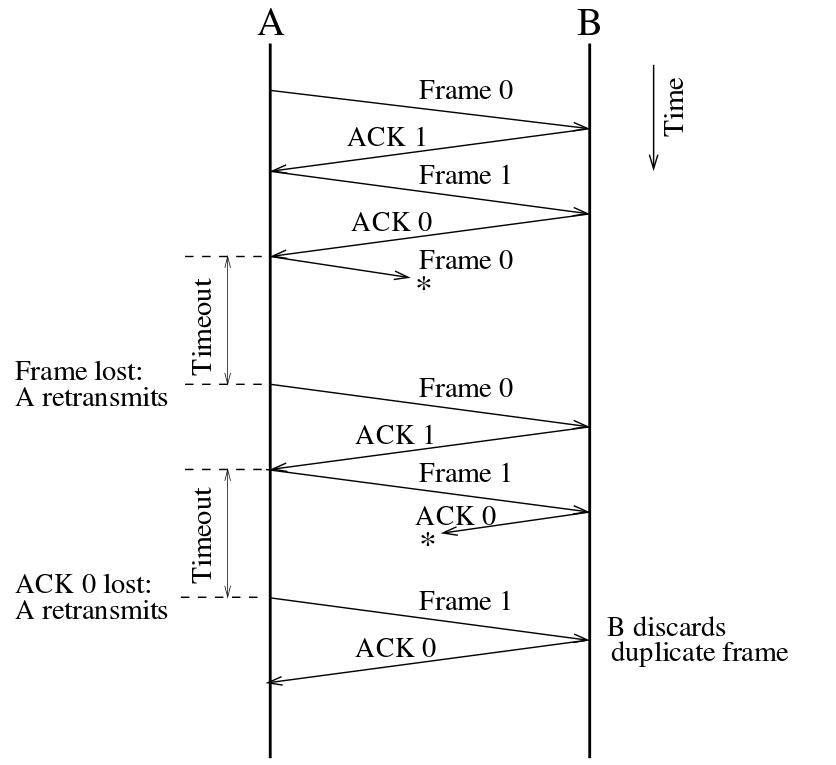
Os primeiros tipos de testes realizados tiveram em conta o aumento da percentagem de erros do BCC1 e do BCC2. Os resultados destes testes podem ser verificados [anexo](#tabela1).

O segundo tipo de testes efetuados teve em conta diferentes tamanhos dos pacotes enviados. Os resultados destes testes podem ser verificados no [anexo](#tabela2).

E por fim, o terceiro tipo de testes realizados foram aplicados a diferentes valores de BAUDRATE. Os resultados destes testes podem ser verificados no [anexo](#tabela3).

**Eficiência do Protocolo de Ligação de Dados**

No mecanismo *Stop and Wait* de ARQ (Automatic Repeat Request), o emissor após enviar uma trama I espera sempre por uma resposta do recetor, se o recetor confirmar a trama enviada o emissor procede e envia uma nova trama, caso contrário o emissor é obrigado a reenviar a trama I até que esta seja aceite pelo recetor. O recetor ao receber uma trama I verifica se deteta algum erro, caso haja erros envia ao emissor mensagem de rejeição NACK, caso contrário manda confirmação ACK ao emissor.

 De forma o programa reconhecer se a trama recebida é uma nova ou apenas uma retransmissão, as tramas I e ACK devem ser numeradas do estilo I(0), I(1) e ACK(0), ACK(1), em que ACK(i) indica ao emissor que o recetor está à espera de uma trama I(i).

Este mecanismo necessita do uso de um alarme com timeout de forma a resolver problemas como a perda das tramas I, ACK ou NACK.

O projeto realizado usa este mecanismo de ARQ, sempre que o emissor manda uma trama espera sempre uma resposta com utilização de um alarme de três segundos. Por exemplo, se o emissor enviar uma trama de informação (quer seja Start, End ou normal) espera sempre por um RR (com numeração 0 ou 1 dependendo da numeração da trama enviada) de resposta positiva ou REJ de resposta negativa, isto não se aplica somente as tramas de informação (tramas de supervisão de certa forma usam também este mecanismo) embora apenas estas necessitam necessariamente de serem numeradas.

Tendo em conta os testes efetuados, após os cálculos do débito recebido bits/s e da eficiência de cada teste podemos concluir o impacto que as variáveis de teste têm na eficiência da aplicação.

No gráfico 1 (em [anexo](#chart1)) podemos verificar que a percentagem de erros do BCC1 e do BCC2 têm um impacto significativo na eficiência da aplicação, por isso vemos um decréscimo de eficiência à medida que as percentagens de erros aumentam. Neste gráfico também podemos comparar e concluir que os erros do BCC1 causam maior impacto na eficiência, como podemos ver na passagem do ponto ‘0+0’ para o ponto ‘2+0’ em comparação com o ponto ‘0+2’.

No gráfico 2 (em [anexo](#chart2)) podemos concluir que quanto maior forem as tramas de informação mandadas maior a eficiência da aplicação pois menos tramas têm de ser mandadas. Existe um ponto em que o aumento de eficiência estagna, pois, as tramas passam a ter capacidade maior que o tamanho do ficheiro a mandar.

No gráfico 3 (em [anexo](#chart3))) verificamos que quanto maior for BAUDRATE, embora seja possível enviar um maior numero de bits pela porta series por segundo, a eficiência diminui.

**Conclusão**

Os objetivos propostos para este trabalho foram atingidos, tendo sido estabelecido o protocolo com sucesso.

Para tal, foi mantida a independência de camadas entre a parte da aplicação e a parte da ligação, permitindo assim que, alterando uma das camadas, a outra nada ou quase nada tenha que alterar. Deste modo, a camada de aplicação trata apenas da criação e interpretação dos dados de informação e respetivo cabeçalho do pacote de dados, enquanto que a camada de ligação apenas se preocupa com a coesão das tramas recebidas e envio das mesmas com os valores nos cabeçalhos necessários.

A realização deste trabalho permitiu a todos os membros do grupo um melhor entendimento sobre a independência de camadas em sistemas e estruturação e funcionamento de um protocolo de comunicação utilizando a porta de série.

**Anexo I**

**application\_layer.h:**

#ifndef **APPLICATION\_LAYER\_H**

#define **APPLICATION\_LAYER\_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 "datalink\_layer.h"

#define **MODEMDEVICE** "/dev/ttyS1"

#define **\_POSIX\_SOURCE** 1 */\* POSIX compliant source \*/*

#define **FALSE** 0

#define **TRUE** 1

#define **DATA\_CONTROL** 1

#define **MAXSIZELINK** 7 *//2\*1(bcc2) + 5 other element trama datalink*

#define **START\_PACKET\_TYPE** 1

#define **END\_PACKET\_TYPE** 0

typedef struct {

int filesize;

char\* filename;

FILE\* fp;

int size\_to\_read;

}file\_info;

typedef struct{

int file\_descriptor;

char\* status;

}application\_layer;

*/\*\**

*\* @brief Create package to send and send it to the datalink layer using LLWRITE*

*\**

*\* If is not a strat/end frame the package header*

*\* is added and after that the message is sent*

*\* To be used by the Writer*

*\**

*\* @param msg array with the data that is to send*

*\* @param length length of the message that is to send*

*\* @return returns TRUE if message was sent and false otherwise*

*\*/*

int **send\_message**(unsigned char\* msg, int length);

*/\*\**

*\* @brief Removes the package header from the received trama*

*\* To be used by the Reader*

*\**

*\**

*\* @param readed\_msg array with the trama received*

*\* @param length Pointer to the length of the trama received. This param is updated to the length of the returned array*

*\* @return returns an array with the real data from the readed\_msg*

*\*/*

unsigned char\* **get\_only\_data**(unsigned char\* readed\_msg, int\* length);

*/\*\**

*\* @brief Create package to send and send it to the datalink layer using LLWRITE*

*\**

*\* If is not a start/end frame the package header is added and after that the message is sent*

*\* To be used by the Reader*

*\**

*\* @param msg array with the data that is to send*

*\* @param length length of the message that is to send*

*\* @return returns TRUE if message was sent and false otherwise*

*\*/*

unsigned char\* **get\_message**();

*/\*\**

*\* @brief Create package to send and send it to the datalink layer using LLWRITE*

*\**

*\* If is not a start/end frame the package header is added and after that the message is sent*

*\* To be used by the Writer*

*\**

*\* @param msg array with the data that is to send*

*\* @param length length of the message that is to send*

*\* @return returns TRUE if message was sent and false otherwise*

*\*/*

unsigned char\* **data\_package\_constructor**(unsigned char\* msg, int\* length);

*/\*\**

*\* @brief Get the size of the file set in the global variable file*

*\* To be used by the both, Reader and Writer*

*\**

*\* @return returns the size of the file*

*\*/*

int **get\_file\_size**();

*/\*\**

*\* @brief Creates a start/end packet array with the name and the size set in the global variable file*

*\* To be used by the Writer*

*\**

*\* @param packet array to be filled*

*\* @param type Type of the packet to be created (START\_PACKET\_TYPE / END\_PACKET\_TYPE)*

*\* @return Returns the size of the packet array created*

*\*/*

int **create\_STARTEND\_packet**(unsigned char\* packet, int type);

*/\*\**

*\* @brief Read file parameters from the msg and fill the global variable file with that information.*

*\* To be used by the Reader*

*\*/*

void **get\_file\_params**(unsigned char\* msg);

*/\*\**

*\* @brief Read the file by packets of the size specified in the global variable file*

*\* After that this function calls send\_message to send the readed packet*

*\* To be used by the Writer*

*\*/*

void **handle\_readfile**();

*/\*\**

*\* @brief Write the data to the created file*

*\* To be used by the Reader*

*\**

*\* @param data Array with the data to be written*

*\* @param sizetowrite Size of data array*

*\*/*

void **handle\_writefile**(unsigned char \* data,int sizetowrite);

*/\*\**

*\* @brief Verify if the end frame has the same parameters from the start frame and from the created file, mainly the file size*

*\* @param msg End frame to be checked*

*\* @return Returns TRUE if is everything ok, and FALSE otherwise*

*\*/*

int **verify\_end**(unsigned char\* msg);

*/\*\**

*\* @brief Main function where the program starts*

*\* Creates the connection calling LLOPEN and starts the execution for reader and for writer*

*\* @return Returns TRUE if everything is ok and FALSE if can't connect to the serial port*

*\*/*

int **main**(int argc, char\*\* argv);

#endif

**application\_layer.c:**

#include "application\_layer.h"

int is\_start = FALSE;

static file\_info file;

static application\_layer app\_info;

int **send\_message**(unsigned char\* msg, int length){

    int res;

    if(is\_start == FALSE){

        unsigned char\* data\_package = **data\_package\_constructor**(msg, &length);

        res= **LLWRITE**(app\_info.file\_descriptor, data\_package, &length);

    }

    else{

        is\_start= FALSE;

        res = **LLWRITE**(app\_info.file\_descriptor, msg, &length);

    }

    if (res == FALSE){

        return FALSE;

    }

    return TRUE;

}

unsigned char\* **get\_message**(){

    int length;

    unsigned char\* readed\_msg;

    unsigned char\* only\_data;

    static int file\_received\_size = 0;

        readed\_msg = **LLREAD**(app\_info.file\_descriptor, &length);

        if(readed\_msg == NULL || readed\_msg[0] == DISC){

            return readed\_msg;

        }

    switch(readed\_msg[0]){

        case 0x02:

**fprintf**(fp\_log, "[BEGIN FILE]\n");

**get\_file\_params**(readed\_msg);

            break;

        case 0x01:

            utils\_n\_package++;

            only\_data = **get\_only\_data**(readed\_msg, &length);

**handle\_writefile**(only\_data,length);

            file\_received\_size += length;

**progress\_bar**(file.filesize, file\_received\_size, file.filename, 'r');

            break;

        case 0x03:

**fprintf**(fp\_log, "[END FILE]\n");

**verify\_end**(readed\_msg);

            break;

    }

    return readed\_msg;

}

unsigned char\* **get\_only\_data**(unsigned char\* readed\_msg, int\* length){

    int j=0;

    unsigned int size = readed\_msg[2]\*256 + readed\_msg[3];

    unsigned char\* only\_data = (unsigned char\*) **malloc**(size);

    for(; j<size; j++){

            only\_data[j] = readed\_msg[j+4];

    }

    \*length = size;

**free**(readed\_msg);

    return only\_data;

}

int **verify\_end**(unsigned char\* msg){

    int i=0;

    unsigned char file\_size[4];

    int file\_size\_size = msg[2];

    int file\_size\_total;

    for(; i<file\_size\_size; i++){

        file\_size[i] = msg[i+3];

    }

    file\_size\_total = (file\_size[0] <<24) | (file\_size[1] << 16) | (file\_size[2] << 8) | (file\_size[3]);

    if(file\_size\_total == file.filesize && file\_size\_total == **get\_file\_size**()){

**fprintf**(fp\_log,"[END FILE] Received file size is correct\n");

                return TRUE;

    }

    else{

**fprintf**(fp\_log,"[END FILE] Received file is probably corrupted\n");

                return FALSE;

    }

    return FALSE;

}

void **get\_file\_params**(unsigned char\* msg){

    int i=0;

    int j=0;

    unsigned char filesize[4];

    int filename\_size;

    if(msg[1] == 0x00){

        int filesize\_size = msg[2];

        for(; i<filesize\_size; i++){

            filesize[i] = msg[i+3];

        }

        file.filesize = (filesize[0] <<24) | (filesize[1] << 16) | (filesize[2] << 8) | (filesize[3]);

    }

    i += 3;

    if(msg[i] == 0x01){

        i++;

        filename\_size = msg[i];

        i++;

        file.filename = (char\*) **malloc** (filename\_size+1);

        for(; j<filename\_size; j++,i++){

            file.filename[j] = msg[i];

        }

        file.filename[filename\_size] = '\0';

    }

    file.fp = **fopen**((char\*)file.filename,"wb");

**start\_counting\_time**();

}

unsigned char\* **data\_package\_constructor**(unsigned char\* msg, int\* length){

        unsigned char\* data\_package = (unsigned char\*) **malloc**(\*length+4);

        unsigned char c = 0x01;

        static unsigned int n = 0;

        int l2 = \*length/256;

        int l1 = \*length%256;

        data\_package[0] = c;

        data\_package[1] = (char) n;

        data\_package[2] = l2;

        data\_package[3] = l1;

        utils\_n\_package++;

        n++;

        n = (n % 256);

        int i=0;

        for(; i<\*length; i++){

            data\_package[i+4] = msg[i];

        }

        \*length = \*length+4;

*/\*free(msg);\*/*

        return data\_package;

}

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

    if ( (argc < 3) ||

   ((**strcmp**("/dev/ttyS0", argv[1])!=0) &&

   (**strcmp**("/dev/ttyS1", argv[1])!=0) )) {

**printf**("Usage:\tnserial SerialPort\n\tex: nserial /dev/ttyS1\n");

**exit**(1);

}

if(**strcmp**("r",argv[2]) != 0 && **strcmp**("w",argv[2]) != 0){

**printf**("Usage:\tinvalid read/write mode. a correct mode (r / w).\n\tex: nserial /dev/ttyS1 r\n");

**exit**(1);

}

**srand**(**time**(NULL));

    app\_info.status = argv[2];

    if(**strcmp**("w", app\_info.status)==0){

        if(argv[3] == NULL || argv[4] == NULL){

**printf**("You need to specify the file to send and the size to read\n");

**exit**(1);

        }

        if(argv[5] == NULL || argv[6] == NULL){

**printf**("You need to specify the timeout value and the maximum number of transmissions\n");

**exit**(1);

        }

        app\_info.file\_descriptor = **LLOPEN**(argv[1], app\_info.status, argv[5], argv[6]);

            if(app\_info.file\_descriptor>0){

                file.filename = (char\*) argv[3];

                file.size\_to\_read = **atoi**(argv[4]);

                int start\_end\_max\_size;

                unsigned char\* start\_packet;

                unsigned char\* end\_packet;

                file.fp = **fopen**((char\*)file.filename,"rb");

                if(file.fp == NULL)

                {

**printf**("invalid file!\n");

**exit**(-1);

                }

                if((file.filesize = **get\_file\_size**()) == -1)

                {

                    return FALSE;

                }

                start\_end\_max\_size = 2\*(**strlen**(file.filename) + 9 ) + MAXSIZELINK; *//max size for start/end package;*

                start\_packet = (unsigned char\*) **malloc**(start\_end\_max\_size);

                int start\_created\_size = **create\_STARTEND\_packet**(start\_packet, START\_PACKET\_TYPE);

                if(start\_created\_size == -1){

**printf**("Error creating start packet\n");

**exit**(-1);

                }

                int i=0;

                for(;i < start\_created\_size;i++){

                }

                is\_start = TRUE;

                if (**send\_message**(start\_packet,start\_created\_size) == FALSE){

**LLCLOSE**(app\_info.file\_descriptor, -1);

                }

**handle\_readfile**();

                is\_start = TRUE;

                end\_packet = (unsigned char\*) **malloc**(start\_end\_max\_size);

                int endpacket\_size = **create\_STARTEND\_packet**(end\_packet,END\_PACKET\_TYPE);

                is\_start=TRUE;

                if(**send\_message**(end\_packet,endpacket\_size) == FALSE){

**LLCLOSE**(app\_info.file\_descriptor, -1);

                }

**LLCLOSE**(app\_info.file\_descriptor,WRITER);

            }

        }

        else if(**strcmp**("r", app\_info.status)==0){

            if(argv[3] == NULL || argv[4] == NULL){

**printf**("You need to specify the timeout value and the maximum number of transmissions\n");

**exit**(1);

            }

            app\_info.file\_descriptor = **LLOPEN**(argv[1], app\_info.status, argv[3], argv[4]);

            if(app\_info.file\_descriptor>0){

                unsigned char\* msg;

                unsigned char null\_val[] = {0xAA};

                do{

                    msg = **get\_message**();

                    if(msg == NULL)

                    {

                        msg = null\_val;

                    }

                }while(msg[0] != DISC);

            }

        }else

        {

**printf**("Error opening serial port\n");

            return 1;

        }

    return 0;

}

int **get\_file\_size**(){

**fseek**(file.fp, 0L, SEEK\_END);

    int filesize = (int) **ftell**(file.fp);

    if(filesize == -1)

        return -1;

**fseek**(file.fp, 0L, SEEK\_SET);

    return filesize;

}

int **create\_STARTEND\_packet**(unsigned char\* packet, int type){

    int i = 0;

    int j = 3;

    unsigned char filesize\_char[4];

    unsigned int filename\_length = (unsigned int) **strlen**(file.filename);

*//convert filesize to and unsigned char array*

    filesize\_char[0] = (file.filesize >> 24) & 0xFF;

    filesize\_char[1] = (file.filesize >> 16) & 0xFF;

    filesize\_char[2] = (file.filesize >> 8) & 0xFF;

    filesize\_char[3] = file.filesize & 0xFF;

*//size of filesize unsigned char array, normally is 4*

    int length\_filesize = sizeof(filesize\_char)/sizeof(filesize\_char[0]);

    if(type == START\_PACKET\_TYPE)

        packet[0] = 0x02;

    else if(type == END\_PACKET\_TYPE) {

        packet[0] = 0x03;

    }

    else{

        return -1;

    }

    packet[1] = 0x00;

    packet[2] = length\_filesize;

*//put filesize unsigned char array in packet array*

    for(; i < length\_filesize; i++,j++){

        packet[j] = filesize\_char[i];

    }

    packet[j] = 0x01;

    j++;

    packet[j] = filename\_length;

    j++;

    i=0;

    for(;i < filename\_length; i++,j++)

    {

        packet[j] = file.filename[i];

    }

    return j;

}

void **handle\_readfile**()

{

    unsigned char\* data = **malloc**(file.size\_to\_read);

    int file\_sent\_size = 0;

**start\_counting\_time**();

    utils\_n\_package = 0;

**fprintf**(fp\_log, "[BEGIN FILE]\n");

**fseek**(file.fp,0,SEEK\_SET);

    while(TRUE)

    {

        int res = 0;

        res = **fread**(data,sizeof(unsigned char),file.size\_to\_read,file.fp);

        if(res > 0)

        {

            if(**send\_message**(data,res) == FALSE){

**LLCLOSE**(app\_info.file\_descriptor, -1);

**exit**(-1);

            }

**fprintf**(fp\_log, "[PACKAGE %d] RR%d\n", utils\_n\_package, dl\_layer.control\_value);

            file\_sent\_size += res;

**progress\_bar**(file.filesize, file\_sent\_size, file.filename, 'w');

        }

        if(**feof**(file.fp))

            break;

    }

**fprintf**(fp\_log, "[END FILE]\n");

}

void **handle\_writefile**(unsigned char\* data,int sizetowrite){

**fseek**(file.fp,0,SEEK\_END);

**fwrite**(data,sizeof(unsigned char),sizetowrite,file.fp);

}

**datalink\_layer.h:**

#ifndef **DATALINK\_LAYER\_H**

#define **DATALINK\_LAYER\_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 <time.h>

#include "utils.h"

#define **BAUDRATE** B38400

#define **MODEMDEVICE** "/dev/ttyS1"

#define **\_POSIX\_SOURCE** 1 */\* POSIX compliant source \*/*

#define **FALSE** 0

#define **TRUE** 1

#define **FLAG** 0x7E

#define **ADDR** 0x03

#define **CW** 0x03

#define **CR** 0x07

#define **BCCW** 0x00

#define **BCCR** 0x04

#define **ERROR\_PERCENTAGE\_BCC1** 0

#define **ERROR\_PERCENTAGE\_BCC2** 0

#define **S0** 0

#define **S1** 1

#define **S2** 2

#define **S3** 3

#define **S4** 4

#define **SESC** 5

#define **READER** 0

#define **WRITER** 1

#define **RR** 1

#define **REJ** 0

#define **DISC** 0x0B

#define **C\_START** 2

#define **C\_END** 3

#define **C\_I** 0x01

#define **TRAMA\_S** 0

#define **TRAMA\_I** 1

#define **ERROR\_BCC1** 1

#define **ERROR\_BCC2** 2

typedef struct{

    struct termios oldtio;

    struct termios newtio;

    unsigned char control\_value;

    unsigned int timeout;

    unsigned int max\_transmissions;

} link\_layer;

link\_layer dl\_layer;

*/\*\**

*\* @brief Handles the alarm from thefunctions that wait a response.*

*\*/*

void **alarm\_handler**();

*/\*\**

*\* @brief verify the char received and if is ok, put it in the frame(trama)*

*\* Also verify if BCC1 is incorrect*

*\**

*\* @param c char to check*

*\* @param state Actual state from the state machine*

*\* @param trama Frame array to be filled with the char*

*\* @param actual length of the frame array*

*\* @param trama\_type Type of the trama that is to be check. TRAMA\_S or TRAMA\_I*

*\*/*

void **state\_machine**(unsigned char c, int\* state, unsigned char\* trama, int\* length, int trama\_type);.

*/\*\**

*\* @brief try to establish connection by the writer*

*\**

*\* send the SET command and wait for the UA response*

*\**

*\* @param fd pointer for the serial port descriptor*

*\* @return returns TRUE if connection is successfully established, and FALSE otherwise*

*\*/*

int **set\_writer**(int\* fd);

*/\*\**

*\* @brief try to establish connection by the reader*

*\**

*\* wait a SET command and sned UA as response*

*\**

*\* @param fd pointer for the serial port descriptor*

*\* @return returns TRUE if connection is successfully established, and FALSE otherwise*

*\*/*

int **set\_reader**(int\* fd);

*/\*\**

*\* @brief set and open the serial port with the new settings (ex: BAUDRATE)*

*\**

*\* @param port serial port name*

*\* @param fd the descriptor that represents the serial port after it has been opened*

*\*/*

void **set\_serial\_port**(char\* port, int\* fd);

*/\*\**

*\* @brief reset serial port settings to the settings from the beggining of the program and close it*

*\* @param desciptor to the serial port that is to close*

*\* @returns TRUE if everythings went well*

*\*/*

int **close\_serial\_port**(int fd);

*/\*\**

*\* @brief Opens the serial port, and given the role (receiver or sender) prepares to either send a SET and receive an UA (sender) or*

*\* receive a SET and send an UA(receiver)*

*\**

*\* @param port name of the port to be opened*

*\* @param mode the role, either sender ('w') or receiver ('r')*

*\* @param timeout seconds the alarm activates*

*\* @param max\_transmissions maximum number of attempts*

*\* @return int the file descriptor of the port, or -1 in case of error*

*\*/*

int **LLOPEN**(char\* port, char\* mode, char\* timeout, char\* max\_transmissions);

*/\*\**

*\* @brief Receives the data layer D1..DN adds BCC2, stuffs it, adds the link layer and creates the complete packet to be sent*

*\**

*\* @param msg Data of the file*

*\* @param length lenght of msg*

*\* @return unsigned char\* the complete packet stuffed to be sent to the receiver*

*\*/*

unsigned char\* **create\_frame**(unsigned char\* msg, int\* length);

*/\*\**

*\* @brief destuffs the control\_message and checks if the BCC2 of the control message is equal to the continuous xor operation of data D1^D2^D3^...DN*

*\**

*\* @param control\_message the part stuffed part of a packet*

*\* @param length the size of control\_message*

*\* @return unsigned char\* if the BCC2 is as expected it returns the control\_message values after destuffin, otherwise returns null*

*\*/*

unsigned char\* **verify\_bcc2**(unsigned char\* control\_message, int\* length);

*/\*\**

*\* @brief remove frame header and tail*

*\* @param msg frame array to be changed*

*\* @param length pointer to the length of the frame array, to be changed at the end*

*\* @return returns the new frame without header or tail*

*\*/*

unsigned char\* **remove\_head\_msg\_connection**(unsigned char\* msg, int\* length);

*/\*\**

*\* @brief Adds the link layer to the packet*

*\**

*\* @param stuffed\_frame application layer of the packet*

*\* @param length size of the application layer of the packet*

*\* @return unsigned char\* the complete packet ready to be sent to the receiver*

*\*/*

unsigned char\* **add\_frame\_header**(unsigned char\* stuffed\_frame, int\* length);

*/\*\**

*\* @brief does the mechanism of stuffing from the values D1 to Dn and BCC2 of an information packet*

*\* everytime that the portion of the packet has a flag value 0x7E it is substituted by 0x7D 0x5e, if it finds 0x7D*

*\* is is substituded by 0x7D 0x5D.*

*\**

*\* @param msg the part of the packet where the stuffing is going to be applied*

*\* @param length size of msg*

*\* @return unsigned char\* returns the portion of the packet stuffed*

*\*/*

unsigned char\* **byte\_stuffing**(unsigned char\* msg, int\* length);

*/\*\**

*\* @brief destuff received frame, basically does the opposite of the function byte\_stuffing*

*\* @param frame to destuff*

*\* @param length pointer to the length of the frame array, to be changed at the end*

*\* @return returns the new frame destuffed*

*\*/*

unsigned char\* **byte\_destuffing**(unsigned char\* msg, int\* length);

*/\*\**

*\* @brief writes a new frame to the receiver and waits his response*

*\**

*\* @param fd filed descriptor of the serial port*

*\* @param msg file data(or other if it is a START or END frame) to be transform into a packet ready to be sent*

*\* @param length the size of the data*

*\* @return int TRUE if everything went well otherwise FALSE, for example when timeout occurs more than the maximum times allowed*

*\*/*

int **LLWRITE**(int fd, unsigned char\* msg, int\* length);

*/\*\**

*\* @brief Creates and send the response of the receiver, either RR or REJ*

*\**

*\* @param fd descriptor of the serial port*

*\* @param type describes if the response is to be RR or REJ*

*\* @param c variable control to know the next type of packet to receive 1 or 0*

*\* @return int the control value*

*\*/*

int **send\_response**(int fd, unsigned int type, unsigned char c);

*/\*\**

*\* @brief By the ERROR\_PERCENTAGE\_BCC1 macro this function has a chance to randomly change the value of BCC1 used for testing purposes*

*\**

*\* @param packet the packet to be changed, if its changed at all*

*\* @param size\_packet the size of the packet to change*

*\* @return unsigned char\* the packet either without any changes to it or with a diferrent BCC1*

*\*/*

unsigned char\* **mess\_up\_bcc1**(unsigned char\* packet, int size\_packet);

*/\*\**

*\* @brief By ERROR\_PERCENTAGE\_BCC2 macro this function has a chance to randomly change the value of BCC2, used for testing purposes only*

*\**

*\* @param packet the packet to be changed*

*\* @param size\_packet the size of the packet*

*\* @return unsigned char\* the packet either without any changes or with a different, wrong BCC2*

*\*/*

unsigned char\* **mess\_up\_bcc2**(unsigned char\* packet, int size\_packet);

*/\*\**

*\* @brief reads the new frame from the serial port and return it*

*\* @param fd descriptor for the serial port*

*\* @ param length pointer to the length of the frame array, to be changed at the end*

*\* @return returns the readed frame packet*

*\*/*

unsigned char\* **LLREAD**(int fd, int\* length);

*/\*\**

*\* @brief establish the finish set up (sending SET and UA)*

*\* @param fd descriptor for the serial port*

*\* @param type type of the mode (w - wirter or r - reader)*

*\*/*

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

*/\*\**

*\* @brief send a disc command and wait a response returning it*

*\* @param fd descriptor for serial port*

*\* @return returns the received frame*

*\*/*

unsigned char\* **send\_disc**(int fd);

#endif

**datalink\_layer.c:**

*/\*Non-Canonical Input Processing\*/*

#include "datalink\_layer.h"

volatile int STOP=FALSE;

volatile unsigned char flag\_attempts=1;

volatile unsigned char flag\_alarm=1;

volatile unsigned char flag\_error=0;

volatile unsigned char duplicate=FALSE;

const unsigned char control\_values[] = { 0x00, 0x40, 0x05, 0x85, 0x01, 0x81 };

void **alarm\_handler**(){

**fprintf**(fp\_log, "[ALARM] Timeout\n");

    flag\_attempts++;

if(flag\_attempts >= dl\_layer.max\_transmissions){

flag\_error = 1;

}

    flag\_alarm=1;

}

void **state\_machine**(unsigned char c, int\* state, unsigned char\* trama, int\* length, int trama\_type){

    switch(\*state){

        case S0:

            if(c == FLAG){

                \*state = S1;

                trama[\*length-1] = c;

            }

            break;

        case S1:

            if(c != FLAG){

                trama[\*length-1] = c;

                if(\*length==4){

                    if((trama[1]^trama[2]) != trama[3]){

                        \*state = SESC;

                    }

                    else{

                        \*state=S2;

                    }

                }

            }

            else

            {

                \*length = 1;

                trama[\*length-1] = c;

            }

            break;

        case S2:

            trama[\*length-1] = c;

            if(c == FLAG){

                STOP = TRUE;

**alarm**(0);

                flag\_alarm=0;

            }

            else{

                if(trama\_type == TRAMA\_S){

                    \*state = S0;

                    \*length = 0;

                }

            }

            break;

        case SESC:

            trama[\*length-1] = c;

            if(c == FLAG){

                if(trama\_type == TRAMA\_I){

                    flag\_error = 1;

                    STOP = TRUE;

                }

                else{

                    \*state = S0;

                    \*length = 0;

                }

            }

    }

}

int **set\_writer**(int\* fd){

unsigned char SET[5] = {FLAG, ADDR, CW, BCCW, FLAG};

unsigned char elem;

    int res;

unsigned char trama[5];

    int trama\_length = 0;

int state=0;

    (void) **signal**(SIGALRM, alarm\_handler);

while(flag\_attempts < dl\_layer.max\_transmissions && flag\_alarm == 1){

**fprintf**(fp\_log,"[SET CONNECTION] TRY: %x\n", flag\_attempts);

        res = **write**(\*fd,SET,5);

**alarm**(dl\_layer.timeout);

flag\_alarm=0;

*// Wait for UA signal.*

while(STOP == FALSE && flag\_alarm == 0){

            res = **read**(\*fd,&elem,1);

     if(res >0) {

                trama\_length++;

**state\_machine**(elem, &state, trama, &trama\_length, TRAMA\_S);

     }

}

}

if(flag\_error == 1){

**fprintf**(fp\_log,"[SET CONNECTION] Can't connect to the reader\n");

return FALSE;

}

else{

**fprintf**(fp\_log,"[SET CONNECTION] Successful\n");

return TRUE;

}

}

int **set\_reader**(int\* fd){

unsigned char UA[5] = {FLAG, ADDR, CR, BCCR, FLAG};

char elem;

    int res;

unsigned char trama[5];

    int trama\_length =0;

int state=0;

while (STOP==FALSE) { */\* loop for input \*/*

res = **read**(\*fd,&elem,1);

if(res>0){

        trama\_length++;

**state\_machine**(elem, &state, trama, &trama\_length, TRAMA\_S);

}

}

    res = **write**(\*fd,UA,5);

    return TRUE;

}

*/\* SET Serial Port Initilizations \*/*

void **set\_serial\_port**(char\* port, int\* fd){

*/\**

*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**(port, O\_RDWR | O\_NOCTTY );

    if (\*fd <0) {**perror**(port); **exit**(-1); }

if (**tcgetattr**(\*fd,&dl\_layer.oldtio) == -1) { */\* save current port settings \*/*

**perror**("tcgetattr");

**exit**(-1);

}

**bzero**(&dl\_layer.newtio, sizeof(dl\_layer.newtio));

dl\_layer.newtio.c\_cflag = BAUDRATE | CS8 | CLOCAL | CREAD;

dl\_layer.newtio.c\_iflag = IGNPAR;

dl\_layer.newtio.c\_oflag = 0;

*/\* set input mode (non-canonical, no echo,...) \*/*

dl\_layer.newtio.c\_lflag = 0;

dl\_layer.newtio.c\_cc[VTIME] = 1; */\* inter-character timer unused \*/*

dl\_layer.newtio.c\_cc[VMIN] = 0; */\* blocking read until 5 chars received \*/*

**tcflush**(\*fd, TCIOFLUSH);

if ( **tcsetattr**(\*fd,TCSANOW,&dl\_layer.newtio) == -1) {

**perror**("tcsetattr");

**exit**(-1);

}

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

}

int **close\_serial\_port**(int fd){

    if ( **tcsetattr**(fd,TCSANOW,&dl\_layer.oldtio) == -1) {

**perror**("tcsetattr");

**exit**(-1);

}

**close**(fd);

return 0;

}

int **LLOPEN**(char\* port, char\* mode, char\* timeout, char\* max\_transmissions){

int fd;

int result;

dl\_layer.control\_value = 0;

dl\_layer.timeout = **atoi**(timeout);

dl\_layer.max\_transmissions= **atoi**(max\_transmissions);

**set\_serial\_port**(port, &fd);

**open\_log\_file**(mode);

if(**strcmp**(mode,"r") == 0){

result = **set\_reader**(&fd);

}

else if(**strcmp**(mode,"w") == 0){

result = **set\_writer**(&fd);

}

if(result == TRUE){

    return fd;

}

else{

**LLCLOSE**(fd, -1);

    return -1;

}

}

unsigned char\* **create\_frame**(unsigned char\* msg, int\* length){

    int i=0;

    unsigned char bcc2 = 0x00;

    unsigned char\* new\_message = (unsigned char\*) **malloc**(\*length+1);

    for(i=0; i<\*length; i++){

        new\_message[i] = msg[i];

        bcc2 ^=msg[i];

    }

    new\_message[\*length] = bcc2;

        \*length = \*length+1;

    i=0;

    unsigned char\* stuffed\_message = **byte\_stuffing**(new\_message, length);

    unsigned char\* control\_message = **add\_frame\_header**(stuffed\_message, length);

    return control\_message;

}

unsigned char\* **verify\_bcc2**(unsigned char\* control\_message, int\* length){

    unsigned char\* destuffed\_message = **byte\_destuffing**(control\_message, length);

    int i=0;

    unsigned char control\_bcc2 = 0x00;

    for(; i<\*length-1; i++){

        control\_bcc2 ^= destuffed\_message[i];

    }

    if(control\_bcc2 != destuffed\_message[\*length-1]){

        \*length = -1;

        return NULL;

    }

    \*length = \*length-1;

    unsigned char\* data\_message = (unsigned char\*) **malloc**(\*length);

    for(i=0; i<\*length; i++){

            data\_message[i] = destuffed\_message[i];

    }

**free**(destuffed\_message);

    return data\_message;

}

unsigned char\* **remove\_head\_msg\_connection**(unsigned char\* msg, int\* length){

    unsigned char\* control\_message = (unsigned char\*) **malloc**(\*length-5);

    int i=4;

    int j=0;

    for(; i<\*length-1; i++, j++){

        control\_message[j] = msg[i];

    }

    \*length = \*length-5;

**free**(msg);

    return control\_message;

}

unsigned char\* **add\_frame\_header**(unsigned char\* stuffed\_frame, int\* length){

    unsigned char\* full\_frame = (unsigned char\*) **malloc**(\*length+5);

    int i=0;

    full\_frame[0] = FLAG;

    full\_frame[1] = ADDR;

    full\_frame[2] = control\_values[dl\_layer.control\_value];

    full\_frame[3] = full\_frame[1]^full\_frame[2];

    for(; i<\*length; i++){

        full\_frame[i+4] = stuffed\_frame[i];

    }

    full\_frame[\*length+4] = FLAG;

    \*length = \*length+5;

**free**(stuffed\_frame);

    return full\_frame;

}

unsigned char\* **byte\_stuffing**(unsigned char\* msg, int\* length){

    unsigned char\* str;

    int i=0;

    int j=0;

    unsigned int array\_length = \*length;

    str = (unsigned char \*) **malloc**(array\_length);

    for(; i < \*length; i++, j++){

        if(j >= array\_length){

            array\_length = array\_length+(array\_length/2);

            str = (unsigned char\*) **realloc**(str, array\_length);

        }

        if(msg[i] == 0x7e){

            str[j] = 0x7d;

            str[j+1] = 0x5e;

            j++;

        }

        else if(msg[i] == 0x7d){

            str[j] = 0x7d;

            str[j+1]= 0x5d;

            j++;

        }

        else{

            str[j] = msg[i];

        }

    }

    \*length = j;

**free**(msg);

    return str;

}

unsigned char\* **byte\_destuffing**(unsigned char\* msg, int\* length){

    unsigned int array\_length = 133;

    unsigned char\* str = (unsigned char\*) **malloc**(array\_length);

    int i=0;

    int new\_length = 0;

    for(; i<\*length; i++){

        new\_length++;

        if(new\_length >= array\_length){

            array\_length = array\_length+ (array\_length/2);

            str = (unsigned char \*) **realloc**(str, array\_length);

        }

        if(msg[i] == 0x7d){

            if(msg[i+1] == 0x5e){

                str[new\_length-1] = 0x7e;

                i++;

            }

            else if(msg[i+1] == 0x5d){

                str[new\_length -1] = 0x7d;

                i++;

            }

        }

        else{

            str[new\_length-1] = msg[i];

        }

    }

    \*length = new\_length;

**free**(msg);

    return str;

}

int **LLWRITE**(int fd, unsigned char\* msg, int\* length){

    unsigned char\* full\_message= **create\_frame**(msg, length);

    if(\*length<0)

        return FALSE;

    unsigned char elem;

    int res;

    unsigned char trama[5];

    int trama\_length = 0;

    int state=S0;

    STOP=FALSE;

    flag\_attempts=1;

    flag\_alarm=1;

    flag\_error=0;

    while(flag\_attempts < dl\_layer.max\_transmissions && flag\_alarm == 1){

        res = **write**(fd, full\_message, \*length);

**alarm**(dl\_layer.timeout);

        flag\_alarm=0;

*// Wait for response signal.*

        while(STOP == FALSE && flag\_alarm == 0){

            res = **read**(fd,&elem,1);

            if(res >0) {

                trama\_length++;

**state\_machine**(elem, &state, trama, &trama\_length, TRAMA\_S);

            }

        }

        if (STOP == TRUE) {

            if(trama[2] == control\_values[dl\_layer.control\_value+4]){

**fprintf**(fp\_log, "[PACKAGE %d] REJ%d\n", utils\_n\_package, dl\_layer.control\_value);

                flag\_alarm=1;

                flag\_attempts = 1;

                flag\_error=0;

                STOP = FALSE;

                state = S0;

                trama\_length = 0;

            }

        }

    }

    if (flag\_error == 1){

**fprintf**(fp\_log,"[LLWRITE] Flag Error\n");

        return FALSE;

    }

    dl\_layer.control\_value = dl\_layer.control\_value^1;

    return TRUE;

}

unsigned char\* **LLREAD**(int fd, int\* length){

    unsigned char elem;

    int state = S0;

    int res;

    \*length=0;

    flag\_error = 0;

    STOP = FALSE;

    unsigned int msg\_array\_length = 138;

    unsigned char\* msg= (unsigned char\*) **malloc**(msg\_array\_length);

    unsigned char\* finish = (unsigned char\*) **malloc**(1);

    finish[0] = DISC;

    while (STOP==FALSE) { */\* loop for read info \*/*

        res = **read**(fd,&elem,1);

        if(res>0){

            \*length = \*length+1;

            if(\*length >= msg\_array\_length){

                msg\_array\_length = msg\_array\_length+(msg\_array\_length/2);

                msg = **realloc**(msg, msg\_array\_length);

            }

**state\_machine**(elem, &state, msg, length, TRAMA\_I);

        }

    }

    if((msg[4] == C\_I) && (flag\_error != 1)){

        msg = **mess\_up\_bcc1**(msg, \*length);

        msg = **mess\_up\_bcc2**(msg, \*length);

    }

    if(flag\_error == 1 || msg[2] == CW || msg[2] == CR){

        return NULL;

    }

    if(msg[2] == DISC){

**fprintf**(fp\_log, "[LLREAD] DISC received\n");

**LLCLOSE**(fd, READER);

        return finish;

    }

    duplicate = (control\_values[dl\_layer.control\_value] == msg[2]) ? FALSE: TRUE;

    unsigned char char2\_temp = msg[2];

    unsigned char\* msg\_no\_head = **remove\_head\_msg\_connection**(msg, length);

    unsigned char\* msg\_no\_bcc2= **verify\_bcc2**(msg\_no\_head, length);

    if(\*length == -1){

        if(duplicate == TRUE){

**send\_response**(fd, RR, char2\_temp);

            return NULL;

        }

        else{

**send\_response**(fd, REJ, char2\_temp);

            return NULL;

        }

    }

    else{

        if(duplicate != TRUE){

            dl\_layer.control\_value = **send\_response**(fd, RR, char2\_temp);

            return msg\_no\_bcc2;

        }

        else{

**send\_response**(fd, RR, char2\_temp);

            return NULL;

        }

    }

}

int **send\_response**(int fd, unsigned int type, unsigned char c){

    unsigned char bool\_val;

    unsigned char response[5];

    response[0] = FLAG;

    response[1] = ADDR;

    response[4] = FLAG;

    if(c == 0x00)

        bool\_val = 0;

    else

        bool\_val = 1;

    switch (type) {

        case RR:

            if (utils\_n\_package >= 1)

**fprintf**(fp\_log, "[PACKAGE %d] RR%d\n", utils\_n\_package, bool\_val^1);

            utils\_response\_value[0] = RR;

            utils\_response\_value[1] = bool\_val^1;

            response[2] = control\_values[(bool\_val^1)+2];

            break;

        case REJ:

            if (utils\_n\_package >= 1)

**fprintf**(fp\_log, "[PACKAGE %d] REJ%d\n", utils\_n\_package, bool\_val);

            utils\_response\_value[0] = REJ;

            utils\_response\_value[1] = bool\_val;

            response[2] = control\_values[bool\_val+4];

            break;

    }

    response[3] = response[1]^response[2];

**write**(fd, response, 5);

    return bool\_val^1;

}

void **LLCLOSE**(int fd, int type){

    unsigned char \* received;

    if(type == READER){

        received = **send\_disc**(fd);

**fprintf**(fp\_log,"[LLCLOSE] DISC sended with success \n");

        if(received[2] == CR){

**fprintf**(fp\_log,"[LLCLOSE] Final UA received with success\n");

        }else {

**fprintf**(fp\_log,"[LLCLOSE] Problem receiving final UA\n");

        }

    }else if(type == WRITER){

        received = **send\_disc**(fd);

**fprintf**(fp\_log,"[LLCLOSE] DISC sended with success \n");

        if(received[2] == DISC){

**fprintf**(fp\_log,"[LLCLOSE] Final DISC received with success\n");

        }else {

**fprintf**(fp\_log,"[LLCLOSE] Problem receiving final DISC\n");

        }

        unsigned char UA[5] = {FLAG, ADDR, CR, BCCR, FLAG};

**write**(fd,UA,5);

**fprintf**(fp\_log,"[LLCLOSE] Final UA sended with success\n");

**sleep**(1);

    }

**close\_serial\_port**(fd);

**fprintf**(fp\_log, "\n\n");

**fclose**(fp\_log);

}

unsigned char\* **send\_disc**(int fd){

     unsigned char disc[5] = {FLAG, ADDR, DISC, ADDR^DISC, FLAG};

     unsigned char elem;

     int res;

     unsigned char\* trama = (unsigned char\*) **malloc**(5);

     int trama\_length = 0;

int state=0;

     flag\_attempts=1;

     flag\_alarm=1;

     flag\_error=0;

     STOP = FALSE;

    while((flag\_attempts < dl\_layer.max\_transmissions) && (flag\_alarm == 1)){

            res = **write**(fd,disc,5);

**fprintf**(fp\_log,"[LLCLOSE] Send DISC: try %d \n", flag\_attempts);

**alarm**(dl\_layer.timeout);

            flag\_alarm=0;

            while(STOP == FALSE && flag\_alarm == 0){

            res = **read**(fd,&elem,1);

                    if(res >0) {

                        trama\_length++;

**state\_machine**(elem, &state, trama, &trama\_length, TRAMA\_S);

                    }

            }

    }

    return trama;

}

unsigned char\* **mess\_up\_bcc1**(unsigned char\* packet, int size\_packet){

    unsigned char\* messed\_up\_msg = (unsigned char\*) **malloc**(size\_packet);

    unsigned char letter;

**memcpy**(messed\_up\_msg, packet, size\_packet);

    int perc = (**rand**()%100)+1;

    if(perc <= ERROR\_PERCENTAGE\_BCC1){

        do{

            letter = (unsigned char) ('A' + (**rand**()%256));

        }while(letter == messed\_up\_msg[3]);

        messed\_up\_msg[3] = letter;

        flag\_error=1;

**printf**("BBC1 messedUP\n");

    }

**free**(packet);

    return messed\_up\_msg;

}

unsigned char\* **mess\_up\_bcc2**(unsigned char\* packet, int size\_packet){

    unsigned char\* messed\_up\_msg = (unsigned char\*) **malloc**(size\_packet);

    unsigned char letter;

**memcpy**(messed\_up\_msg, packet, size\_packet);

    int perc = (**rand**() %100)+1;

    if(perc<= ERROR\_PERCENTAGE\_BCC2){

*//change data to have error in bcc2*

        int i = (**rand**() % (size\_packet-5))+4;

        do{

            letter = (unsigned char) ('A' + (**rand**()%256));

        }while(letter == messed\_up\_msg[i]);

        messed\_up\_msg[i] = letter;

**printf**("Data messedUP\n");

    }

**free**(packet);

    return messed\_up\_msg;

}

**Anexo II**

**Tabelas dos testes efetuados**

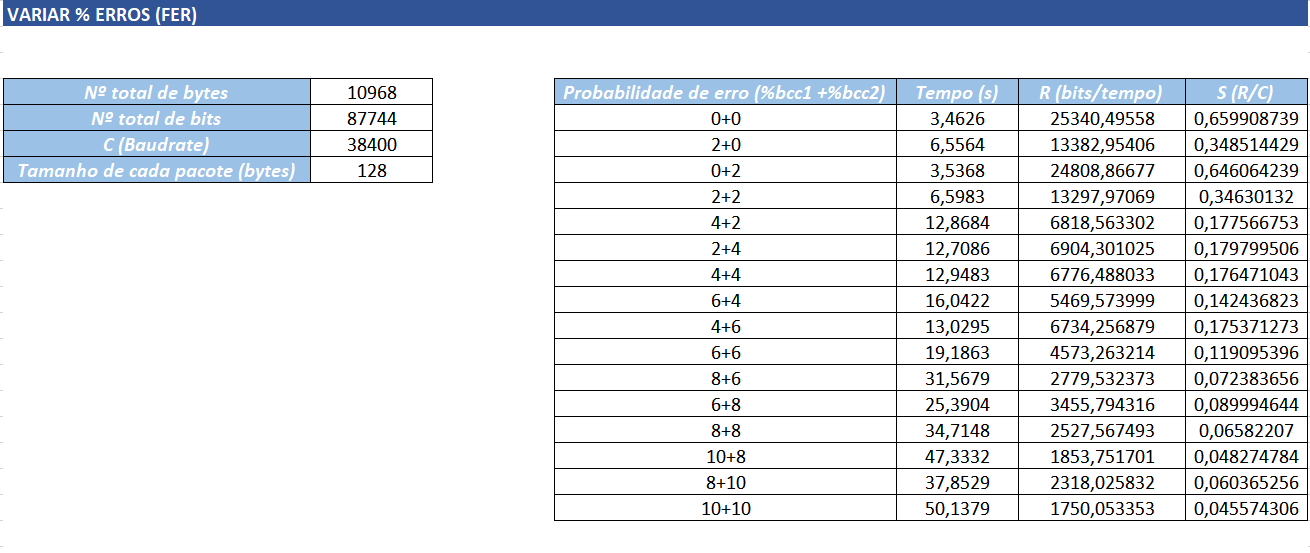


Tabela 1- Resultados dos testes de variação da % erros dos BCCs

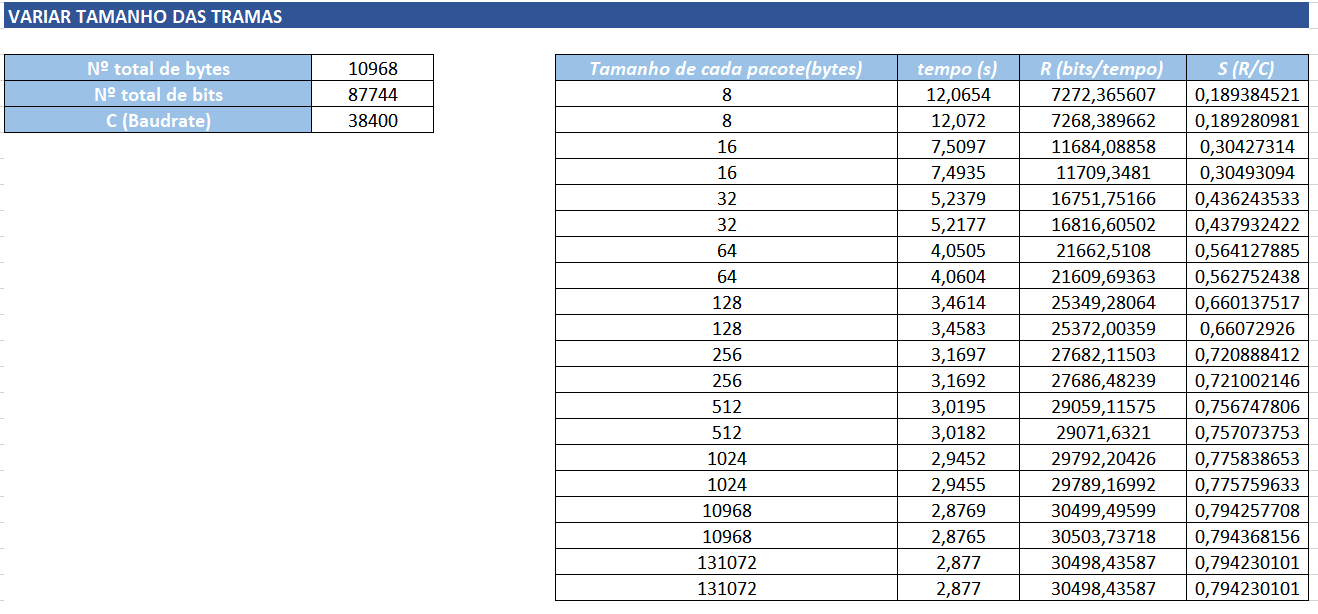


Tabela 2 - Resultados dos testes de diferentes tamanhos de tramas

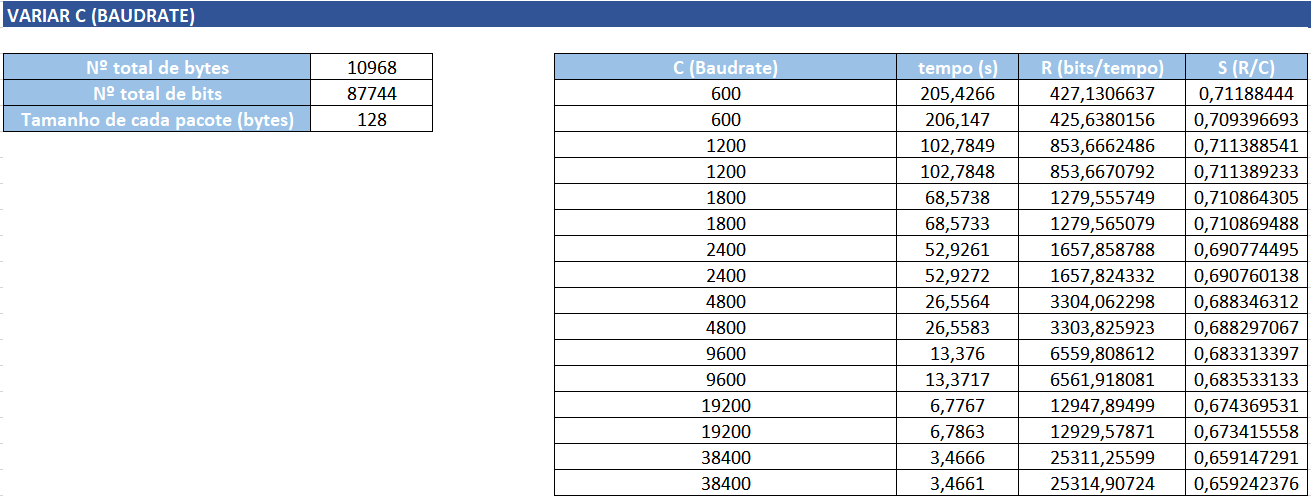


Tabela 3 - Resultados dos testes com diferentes valores de BAUDRATE

**Gráficos dos testes efetuados**

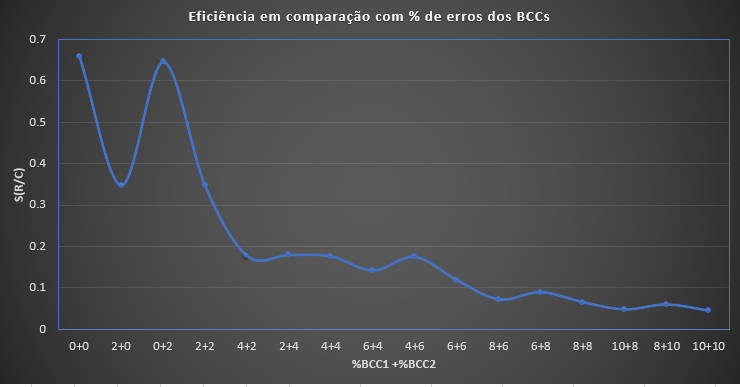


Figura 1- Gráfico eficiência, percentagem de erros obtido dos dados da [tabela 1](#tabela1).

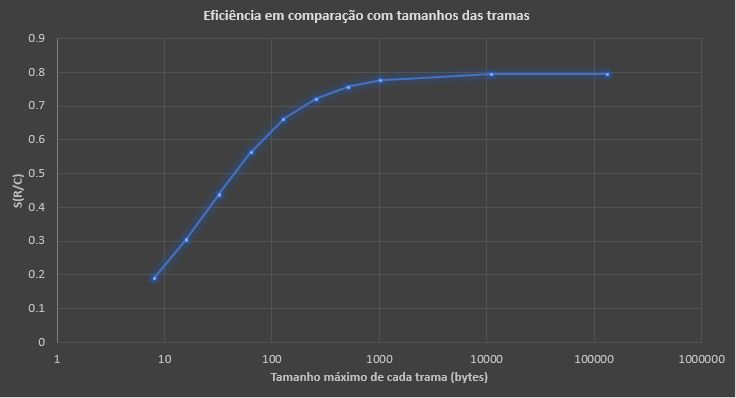


Figura 2- Gráfico de eficiência em relação ao tamanho das tramas obtido do dados da [tabela 2](#tabela2).

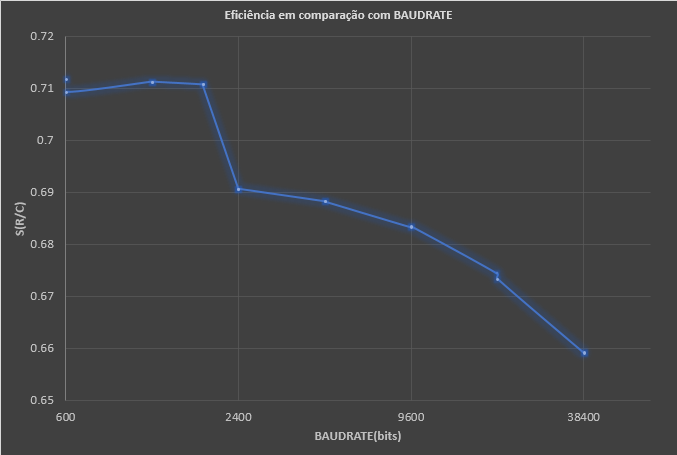


Figura 3 - Gráfico de eficiência em comparação com BAUDRATE retirado dos dados da [tabela 3](#tabela3)