U.PORTO
FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO

Rede de Computadores

1º Trabalho Laboratorial

Mestrado Integrado em Engenharia Informática e Computação

André Esteves up201606673@fe.up.pt

Luís Diogo Silva up201503730@fe.up.pt

Francisco Friande up201508213@fe.up.pt

Índice

Sumário

Este relatório foi elaborado no âmbito da unidade curricular de Rede de Computadores. O trabalho em causa consistia no desenvolvimento de uma aplicação capaz de transferir ficheiros de um computador para outro através de uma porta de série (RS-232) seguindo um protocolo de ligação de dados.

O trabalho foi realizado no seu todo no ambiente disponibilizado, sendo concluído com sucesso em todos os aspetos, cumprindo os objetivos pedidos.

Introdução

O propósito deste relatório é expor os aspetos mais teóricos da realização do projeto. O objetivo do trabalho era implementar um dado protocolo de ligação de dados, especificado no guião, de forma a fornecer um serviço de comunicação de dados fiável entre dois sistemas ligados por uma porta de série.

Para isto, foi necessário desenvolver funções de criação e sincronização de tramas, estabelecimento e terminação da ligação, confirmação de receção de uma trama sem erros, controlo de erros e de fluxo.

O relatório está composto pela seguinte forma:

- Arquitetura – Demonstração dos blocos funcionais e interfaces.
- Estrutura do código – Exposição das APIs, principais estruturas de dados, principais funções e sua relação com a arquitetura
- Casos de uso principais – Identificação dos casos de uso principais e sequências de chamada de funções.
- Protocolo de ligação lógica – Identificação dos principais aspetos funcionais e descrição da estratégia de implementação destes aspetos.
- Protocolo de aplicação – Identificação dos principais aspetos funcionais; descrição da estratégia de implementação destes aspetos.
- Validação – Descrição dos testes efetuados com apresentação quantificada dos resultados.
- Eficiência do protocolo de ligação de dados – Caraterização estatística da eficiência do protocolo, feita com recurso a medidas sobre o código desenvolvido.
- Conclusão – Síntese da informação apresentada anteriormente e reflexão sobre os objetivos de aprendizagem alcançados.

Arquitetura

O projecto encontra-se dividido em três partes fulcrais: *sender.c*, *receiver.c* e *protocol.c* (tendo este um header file). O funcionamento do programa, no que toca a todo o processo de transmissão assíncrona de dados, é garantido também pelos ficheiros *llwrite.c*, *llread.c*, *llopen.c* e *llclose.c* e seus respectivos header files.

SENDER E RECEIVER

Tal como os nomes indicam, o seu propósito é o produto final da transmissão de dados, ou seja, a configuração das duas partes de modo a comunicarem através da porta-série. Fazendo uso extensivo das funções "ll", servem para iniciar e terminar a ligação, tal como as configurações associadas. Também é feito o envio, leitura e diferenciação de pacotes, usando as funções definidas numa camada de mais baixo nível, presente em *protocol.c* e *protocol.h*.

No que toca à divisão por camadas, para uma maior coerência na divisão de funcionalidades por ficheiros, dado que certas funcionalidades relativas à ligação de dados, como a numeração das tramas e o estabelecimento/terminação da ligação, estão inseridas na parte da camada de mais alto nível.

PROTOCOL

Em contrapartida, nesta camada estão definidas funcionalidades genéricas do protocolo, tal como o sincronismo das tramas, controlos de erros e fluxos, validações e verificações, lógica interna do programa e definição de macros úteis. Os mecanismos de *stuffing* e *destuffing* também estão presentes nesta camada.

Estrutura do código

O código está dividido em vários ficheiros, llwrite.c, llread.c, llopen.c, llclose.c e protocol.c, sendo a base da aplicação, existindo um header file para cada um destes ficheiros onde estão declaradas todas as funções necessárias. Existe também sender.c, onde estão definidas as funções do emissor e o ficheiro receiver.c onde estão definidas as funções do recetor.

llwrite.c

- **llwrite(…)**
  - Calcula o BCC2 do package a enviar.
  - Faz o *stuffing* do package para ser enviado e devidamente interpretado.

- Envia a mensagem e espera pela confirmação num alarme de três segundos, com um limite de 3 tentativas de erro.
- Retorna "2" se ocorreu erro (envio de 3 mensagens consecutivas sem sucesso)
- Retorna sucesso (0 ou 1) de acordo com o valor do argumento *flag*. Se *flag* == 1 -> retorna 0, e se *flag* == 0 -> retorna 1, verificando assim o correto envio da trama.

llread.c

- **checkBCC2(…)**
  - Valida o conteúdo da trama.
  - Retorna 0 em caso de sucesso, 1 em caso de insucesso.

- **destuffing(…)**
  - Descodifica a trama enviada retornando o package enviado pelo emissor.

- **llread(…)**
  - Lê uma trama enviada pelo emissor, verificando todos os erros na transmissão, seguindo o destuffing da mesma.
  - Envia uma mensagem de retorno ao emissor a confirmar o correto envio ou a falha que ouve.
  - Retorna o tamanho da mensagem recebida.

llopen.c

- **llopen(…)**
  - De acordo com a *flag* recebida é chamada a função correta. Se for RECEIVER, é usada a função llopen_Receiver. Caso seja SENDER, é usada a função llopen_Sender.

- **llopen_Receiver(…)**
  - Recebe uma trama, verifica-a e envia a mensagem de sucesso ao emissor, retornando 0.
  - Em caso de erros na trama é retornado -5.

- **llopen_Sender(…)**
  - Envia a trama ao recetor, recebendo a mensagem de validação. Caso não receba, tenta de novo até um máximo de três possíveis tentativas.
  - Caso falhe três vezes é retornado erro (2).
  - Em caso de sucesso, é verificada a mensagem de validação recebida pelo recetor, retornando 0 caso seja a esperada e -6 em caso contrário.

llclose.c

- **llclose(…)**
  - De acordo com a *flag* recebida, é executado uma das duas funções seguintes - se flag == RECEIVER, llclose_Receiver(…) é processada. Caso contrário, é executada llclose_Sender(…).

- **llclose_Receiver(…)**
  - Lê a trama de controlo DISC, envia DISC de volta e recebe UA.
- **llclose_Sender(…)**
  - Envia a trama de controlo DISC, recebe de volta DISC e envia UA.

protocol.c

- **attend(…)**
  - Altera o valor da variável *alarm_flag* para 1

- **disableAlarm(…)**
  - Altera o valor da variável *alarm_flag* para 0

- **read_message(…)**
  - Recebe a mensagem enviada pelo emissor, caracter a caracter, passando pelas várias etapas da StateMachine e guardando a mensagem num array.
  - Se a variável *alarm_flag* for alterada para 1 durante o processo de leitura da mensagem, significa que ocorreu *timeout*. O processo de leitura é interrompido e é retornado o código de erro 1.
  - Caso *alarm_flag* se mantiver a 0, não ocorreu erro na leitura e é retornado 0.

- **write_message(…)**
  - Envia a mensagem recebida pelo parâmetro *buf* para o descritor aberto pela função *setup*, anunciada a seguir.
  - Uso da função fflush*(NULL);*

- **parseMessageType(…)**
  - Recebe como parâmetro a mensagem em *buf* e verifica a sua integridade:
    - Se o valor inicial(FLAG) é ‘0x7E’.
    - Se o segundo valor(Campo de Endereço) é *A_SENDER*(0x03) ou *A_RECEIVER*(0x01).
    - Se o OU Exclusivo do campo de Controlo de Endereço é igual ao *BCC1*.
    - Se o quarto valor também é *FLAG*, ‘0x7E’.
  - Caso qualquer uma destas verificações falhe é retornado *ERROR*, ‘0xFF’. Caso contrário é retornado o campo de Controlo (*buf[2]*).

- **calculateBCC2(…)**
  - É calculado o OU Exclusivo de cada um dos valores da mensagem a ser enviada por forma a ser verificada a sua integridade.
  - Retorna o valor calculado de BCC2

- **stuffing_data_package(…)**
  - Faz o *stuffing* do pacote a ser enviado.
  - Cada valor ‘0x7E’ é alterado para ‘0x7D’ e ‘0x5E’.
  - Cafa valor ‘0x7D’ é atlerado para ‘0x7D’ e ‘0x5D’.

- Retorna o pacote já pronto a ser enviado

- **stuffing_control_package(…)**
  - Segue o mesmo processo d a função anterior, mas, neste caso, para o package de controlo.

- **stuffing(…)**
  - Função de controlo que verifica se é um package de controlo ou de dados, sendo executada a função *stuffing_control_package(…)* se o valor de índice 0 do package é *C2_START* ou a função *stuffing_data_package(…)* se o mesmo valor for *C2_DATA*.

- **heading(…)**
  - Adiciona à mensagem a ser enviada os parâmetros iniciais e finais para assim ser devidamente interpretada pelo recetor.

receiver.c

- **setup(…)**
  - **BAUDRATE –** Capacidade de ligação.
  - **oldio, newtio** – Structs termios com as definições da porta série.
  - Inicia todas as configurações da porta série, assim como a abertura do descritor com a porta *"/dev/ttyS0"* .
  - Retorna o descritor aberto para haver comunicação.

- **parseMessageStart(…)**
  - Interpreta a mensagem Start, guardando, assim, a informação do nome do ficheiro que vai ser recebido e o tamanho do ficheiro, sendo este ultimo parâmetro retornado.

- **parseMessageData(…)**
  - Interpreta o pacote recebido, guardando a mensagem num array e o tamanho da mesma é retornado.

- **saveData(…)**
  - Guarda a mensagem retornada pela função parseMessageStart(…) na estrutura criada para guardar os dados do ficheiro, incrementando o apontador do ficheiro que é iniciado a zero e que vai sendo incrementado à medida que é recebido um pacote.

- **createFile(…)**
  - Cria o ficheiro com o nome que foi transmitido no pacote Start, guardando nele toda a informação recebida.

- **main(…)**
  - Base da camada de aplicação, pois é esta que controla todo o fluxo do programa e que faz as chamadas às funções da camada de ligação.

sender.c

- **setup(…)**
  - Segue o mesmo processo que a função acima descrita em *receiver.c.*

- **readFile(…)**
  - Tenta abrir o ficheiro dado como argumento para assim obter a sua informação.
  - Retorna o conteúdo do ficheiro e o tamanho do mesmo.

- **controlPackage(…)**
  - Cria o pacote de controlo para ser enviado com o nome do ficheiro e o seu tamanho.

- **dataPackage(…)**
  - Cria um pacote de dados para ser enviado, retornando-o. A informação é retirada do ficheiro, de acordo com o tamanho por package (260) ou menos, se for o último pacote.

- **main(…)**
  - Base da camada de aplicação, pois é esta que controla todo o fluxo do programa e que faz as chamadas às funções da camada de ligação.

Casos de uso principais

Os principais casos de uso desta aplicação são:

- Interface, que permite ao transmissor escolher o ficheiro a enviar, transferindo esse mesmo via porta série (/dev/ttyS0).
- Transmissor.
- Recetor.

Por forma a dar início à aplicação, sendo emissor, deverá inserir qual o ficheiro a ser enviado (ex: pinguim.gif). Sendo recetor basta iniciar o programa (iniciado com a porta /dev/ttyS0) ao qual vai tentar estabelecer ligação com o transmissor.

A transmissão dos dados é feita da seguinte forma:

- Transmissor escolhe ficheiro a enviar.
- Configuração da ligação entre os dois computadores.
- Estabelecimento da ligação (llopen).
- Transmissor envia dados.
- Recetor recebe dados e envia confirmação.

- Em cada de erro no envio, é enviado de novo, até a uma terceira tentativa falhada, terminando o processo com insucesso.
- Recetor guarda os dados num ficheiro com o mesmo nome e tipo que o enviado pelo emissor.
- Terminação da ligação (llclose).

Protocolo de ligação lógica

- **llopen**

O propósito desta função é estabelecer a ligação entre o *sender* e o *receiver*. A função é igual para os dois, apresar de ter comportamento diferente mediante a *flag* que lhe for passada por argumento, isto é, dependendo se foi chamada pelo *sender* ou pelo *receiver*.

Quando chamada pelo *sender*, llopen começa por enviar a trama SET para tentar estabelecer a ligação com o *receiver*. Aguarda depois pela resposta do *receiver*, na forma de uma trama UA, procedendo ao reenvio periódico da trama SET até um número máximo de vezes, após as quais o programa termina.

Quando chamada pelo *receiver*, llopen começa por esperar a trama SET por parte do *sender*. Depois de a receber e de a analisar, certificando-se de que era a trama SET que esperava, envia a trama UA ao *sender*.

Para realizar a escrita, é a utilizada a função **write_message**, que permite enviar uma mensagem contida num *buffer* para um determinado descritor de ficheiro. Para realizar a leitura, é utilizada a função **read_message**, que recebe um caracter de cada vez de um determinado descritor de ficheiro. Esta função faz uso de uma máquina de estados para se certificar que recebe a mensagem na sua integridade. Finalmente, para analisar a mensagem recebida é utilizada a função **parseMessageType**, que verifica que a mensagem recebida não contém erros de transmissão e retorna o tipo de mensagem recebida.

- **llwrite**

Esta função é responsável pelo envio de pacotes de dados e de controlo do *sender* para o *receiver*. Cada invocação de llwrite envia apenas um pacote.

Esta função começa por preparar o pacote que lhe foi passado como argumento, calculando o *byte* BCC2, efetuando o *stuffing*, ou seja, a substituição de carateres protegidos que não podem ser enviados diretamente, e colocando o cabeçalho e a *flag* de terminação na mensagem. Depois disto, é enviada o pacote para o recetor. A função aguarda depois pela resposta do *receiver*, na forma de uma trama RR, procedendo ao reenvio periódico do pacote até um número máximo de vezes, após as quais o programa

termina. O reenvio da mensagem pode ser efetuado antes do previsto caso seja recebida uma mensagem por parte do *receiver* que indique que houve erros de transmissão, tal como uma trama REJ ou uma trama RR com a *flag* oposta à esperada.

Para calcular o *byte* BCC2, é utilizada a função **calculateBBC2**, que o calcula mediante o pacote que lhe for passado por argumento. Para proceder ao *stuffing*, é utilizada a função **stuffing**, que recebe o pacote e o BBC2 calculado e retorna a mensagem já com o BCC2 concatenado e já com o *stuffing* realizado. Para realizar a colocação do cabeçalho e da *flag* de terminação, é utilizada a função **heading**, que retorna a mensagem já pronta a enviar. São também usadas as funções **write_message**, **read_message** e **parseMessageType** com usos semelhantes aos necessários durante a sua utilização na função llopen.

- **llread**

Esta função é responsável pela receção por parte do *receiver* de pacotes de dados e de controlo enviados pelo *sender***.** Cada invocação de llread recebe apenas um pacote.

Esta função começa por esperar a receção de um pacote por parte do *sender*. Depois realiza a verificação de erros na receção da mensagem, enviando a trama REJ caso encontre algum. Caso isso não aconteça, é realizado o *destuffing* da mensagem, isto é, o processo inverso ao realizado durante o llwrite, e a mensagem recebida é guardada para poder ser posteriormente escrita em memória. Após a mensagem ser aceite é enviado a trama RR ao *sender*.

Para realizar o *destuffing*, é utilizada a função **destuffing**, que retorna a mensagem completa como estava antes de o *stuffing* ter sido realizado. Para calcular a integridade da mensagem recebida, particularmente a validade do BCC2, é utilizada a função **checkBBC2**. São também utilizadas com fins semelhantes aos já descritos anteriormente as funções **write_message** e **read_message**.

- **llclose**

O propósito desta função é terminar a ligação entre o *sender* e o *receiver*. De forma análoga à função llopen, esta é igual para os dois, apresar de ter comportamento diferente mediante a flag que lhe for passada por argumento, isto é, dependendo se foi chamada pelo *sender* ou pelo *receiver*.

Quando chamada pelo *sender*, esta função começa por enviar uma trama DISC, espera a resposta por parte do *receiver*, na forma de uma trama DISC, e, após a receção desta, envia uma trama UA. O comportamento da função quando chamada pelo *receiver* é o inverso. Começa por esperar uma trama DISC. Após a receção desta, envia uma trama DISC e, de seguida, espera a receção de uma trama UA.

São utilizadas as funções **write_message**, **read_message** e **parseMessageType** de forma semelhante ao seu anterior uso.

Protocolo de aplicação

O nível de aplicação divide-se em duas partes: a parte correspondente ao *sender* e a correspondente ao *receiver*. Cada uma destas partes tem uma função **main** que delineia a estrutura principal da aplicação correspondente.

- **main (sender.c)**

Esta função começa por chamar a função **setup**, que prepara a comunicação através de porta de série. De seguida, é chamada a função **llopen**, que pertence ao protocolo de comunicação, para estabelecer a comunicação com o *receiver*. Caso este estabelecer de comunicação for bem-sucedido, é extraída a informação do ficheiro a enviar através do uso da função **readFile**. Esta função abre o ficheiro passado como argumento de linha de comandos e retorna toda a informação nele presente na forma de um *array*. De seguida, são enviados um conjunto de pacotes de dados fazendo uso da função **llwrite**, pertencente ao protocolo de comunicação. É primeiro enviado o pacote START, de seguida todos os pacotes de dados pertencentes ao ficheiro, e finalmente o pacote END. Os pacotes START e END são criados pela função **controlPackage**, enquanto que os pacotes de dados são criados pela função **dataPackage**, que devolve a próxima secção do *array* de dados do ficheiro a enviar. Cada pacote de dados tem, no máximo, 260 *bytes* de informação. Finalmente, após o envio do pacote END, é chamada a função **llclose**, pertencente ao protocolo de comunicação, para terminar a ligação.

- **main (receiver.c)**

Esta função começa por, de modo análogo ao **main** de sender.c, chamar a função **setup**, que prepara a comunicação através de porta de série. De seguida, é chamada a função **llopen**, que pertence ao protocolo de comunicação, para estabelecer a comunicação com o *sender*. Caso este estabelecer de comunicação for bem-sucedido, é começada a receção dos pacotes enviados pelo *sender* fazendo uso da função **llread**, pertencente ao protocolo de comunicação. Logo a seguir à receção do primeiro pacote, é utilizada a função **parseMessageStart** para extrair informações como o nome do ficheiro a ser enviado e o seu tamanho. De seguida, após a receção de cada pacote é efetuada a chamada à função **parseMessageData**, que extrai a informação recebida no pacote, e **saveData**, que guarda essa informação num *array* que contém toda a informação recebida até agora, para posterior escrita da mesma em memória. Esta leitura de pacotes continua até a receção do pacote END. De seguida, é chamada a função **createFile**, que cria o ficheiro em memória e guarda nele toda a informação até agora recolhida no *array* referido anteriormente. Finalmente, é chamada a função **llclose**, pertence ao protocolo de comunicação, para terminar a ligação.

Validação

Para forma a estudar a aplicação, foram efetuados os seguintes testes:

- Geração de curto circuito aquando do seu envio.
- Interrupção da ligação, no envio, por alguns milésimos de segundos.
- Envio de ficheiros de vários tamanhos.

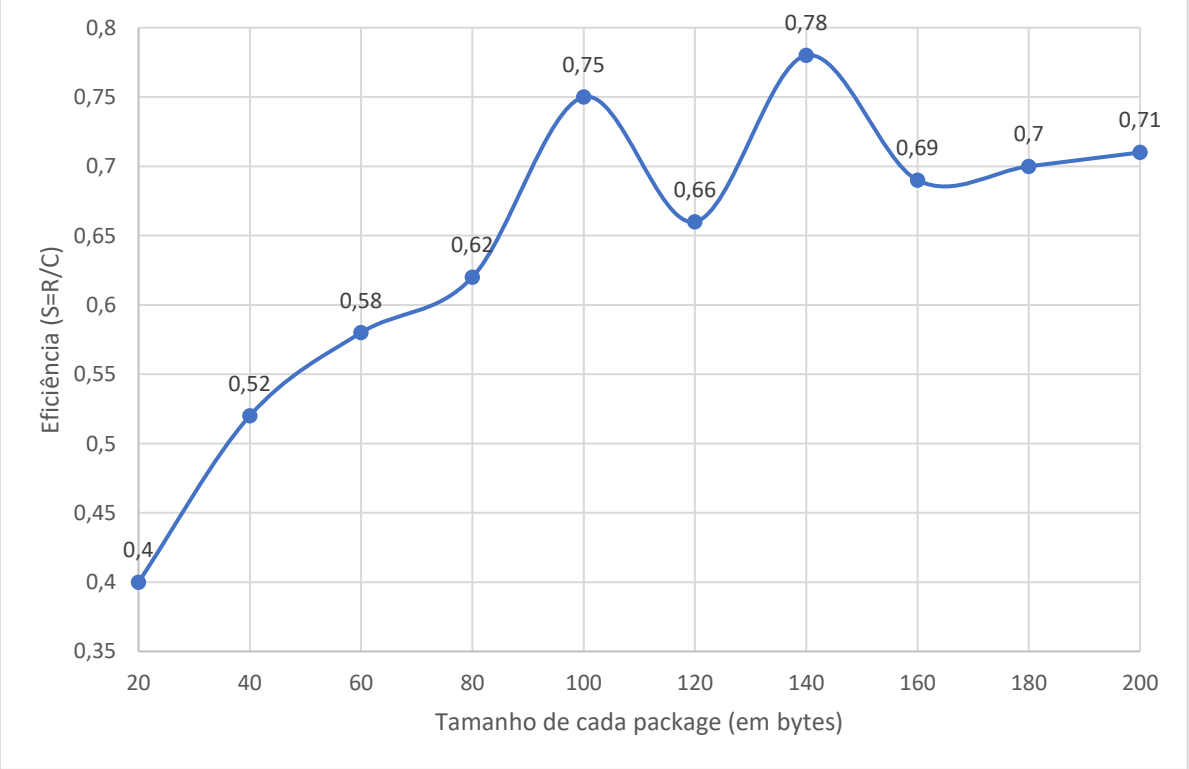
Todos os testes concluídos na sua totalidade com sucesso.

Eficiência do protocolo de ligação de dados

De forma a avaliar a eficiência do protocolo desenvolvido, foram feitos os seguintes testes.

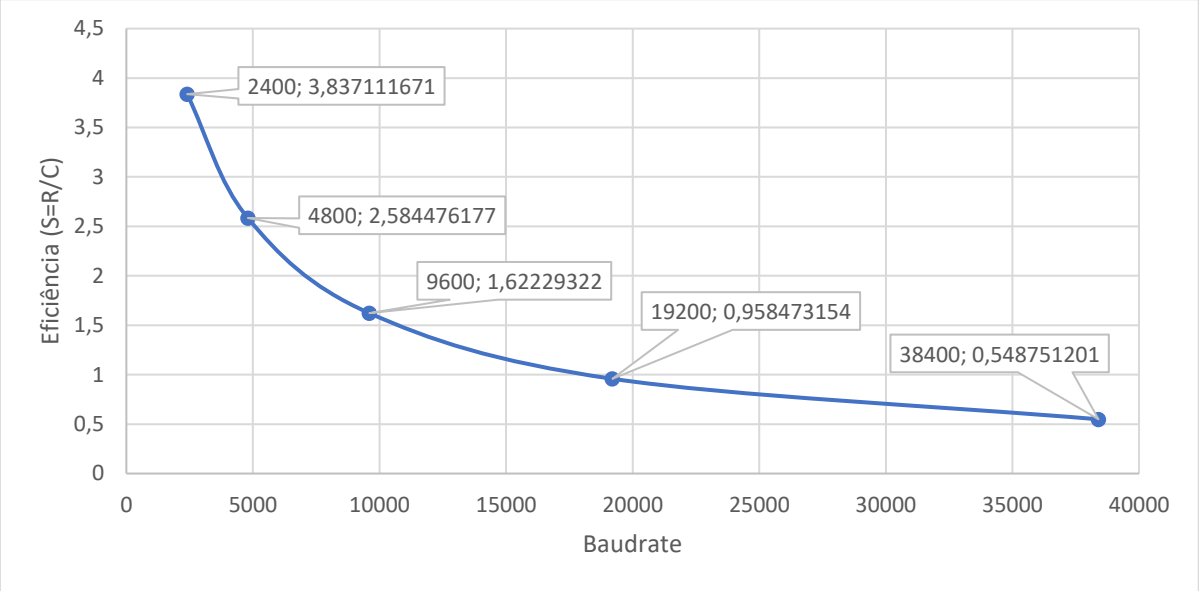
Variação do tamanho dos packages

- Com os seguintes dados podemos confirmar que quanto maior o tamanho de cada pacote, mais eficiente é a aplicação. Pois assim serão enviadas menos tramas de informação o que faz com que o programa perca menos tempo em verificações, executando assim mais rapidamente.



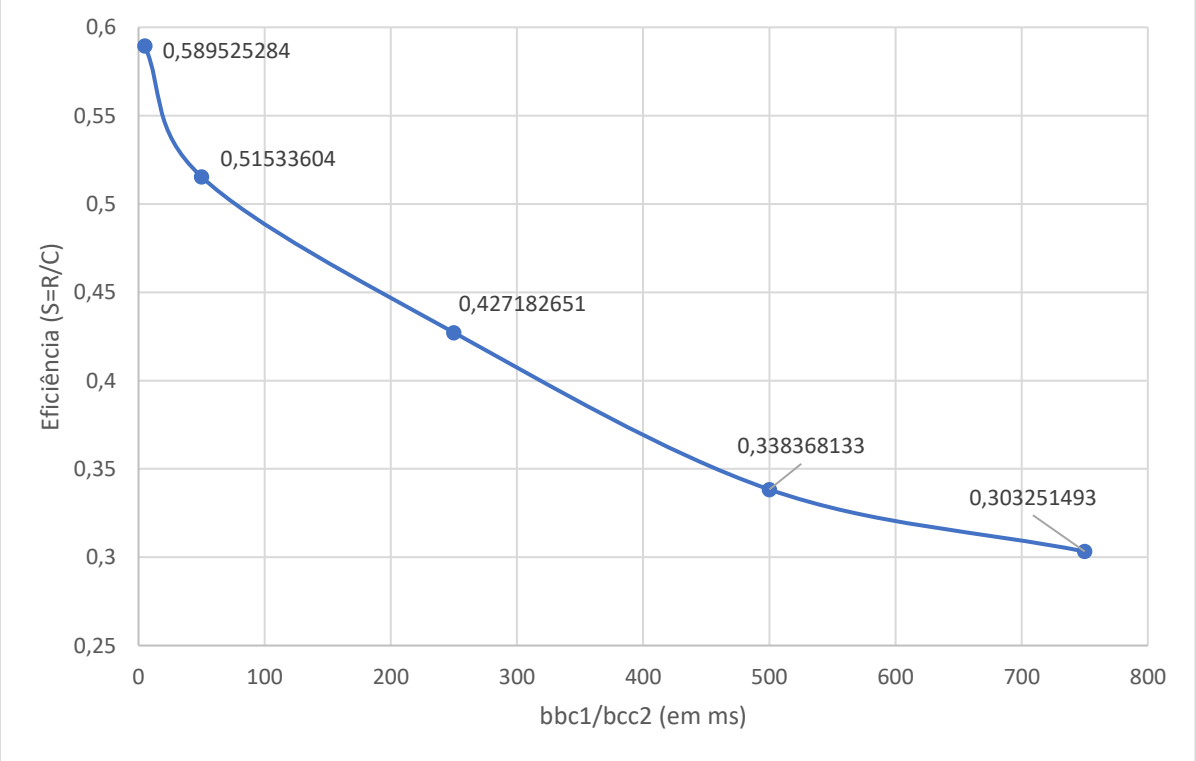
Variação da capacidade de ligação (C)

- Com este gráfico podemos concluir que com o aumento da capacidade de ligação (Braudrate), diminui a eficiência.



Variação do tempo de espera nas chamadas às funções BCC1 e BCC2 (delay)

- Com o seguinte gráfico podemos confirmar que com a colocação de um delay nas funções prejudica a sua eficiência em grande escala.



Conclusões

Em suma, podemos dizer que os objetivos que nos foram propostos foram cumpridos. Foi desenvolvida uma aplicação que é capaz de enviar ficheiros através de uma ligação de porta de série, conseguindo ser resiliente a possíveis erros de comunicação, devido ao protocolo implementado. Os dois níveis que dividem o projeto – o nível de aplicação e o nível de ligação lógica – trabalham de forma completamente independente entre si. Por exemplo, o nível de aplicação não sabe detalhes sobre como é feita a transmissão dos pacotes, como *stuffing e destuffing*, e o nível de ligação não sabe como são interpretados os pacotes que transmite. Este tipo de estruturação foi um dos objetivos de aprendizagem que julgamos ter sido alcançado.

Anexo I

Makefile

```
all: sender receiver

sender: sender.c
	gcc -o sender -Wall sender.c protocol.c llopen.c llwrite.c llclose.c
receiver: receiver.c
	gcc -o receiver -Wall receiver.c protocol.c llopen.c llread.c llclose.c -lm
clean :
	rm sender receiver \
```

llclose.h

```
int llclose(int fd, int flag);

int llclose_sender(int fd);

int llclose_receiver(int fd);
```

llclose.c

```
#include "llclose.h"
#include " protocol.h"
int llclose(int fd, int flag)
{
    if(flag == RECEIVER)
        return llclose_receiver(fd);
    else
        return llclose_sender(fd);

    return -1;
}
```

```
int llclose_receiver(int fd)
{
    unsigned char BCC1 = A_RECEIVER ^ C_DISC;
    unsigned char disc[6] = {FLAG, A_RECEIVER, C_DISC, BCC1, FLAG, '\0'};

    unsigned char buf[255];

    while(1)
    {
        if(read_message(fd,buf) == 0) break;
    }

    if(parseMessageType(buf) == C_DISC)
        write_message(fd,disc,5);
    else
        return -5;


    while(1)
    {
        if(read_message(fd,buf) == 0) break;
    }

    if(parseMessageType(buf) == C_UA)
    {
        close(fd);
        return 0;
    }
    return -6;
}

int llclose_sender(int fd)
{
    unsigned char BCC1 = A_SENDER ^ C_DISC;
    unsigned char disc[6] = {FLAG, A_SENDER, C_DISC, BCC1, FLAG, '\0'};

    write_message(fd,disc,5);

    unsigned char buf[255];

    while(1)
    {
        if(read_message(fd,buf) == 0) break;
    }
```

```
      BCC1 = A_SENDER ^ C_UA;
      unsigned char ua[6] = {FLAG, A_SENDER, C_UA, BCC1, FLAG, '\0'};

      if(parseMessageType(buf) == C_DISC)
      {
          write_message(fd,ua,5);
          close(fd);
          return 0;
      }

      return -5;
  }
```

llopen.h

```
int llopen_Receiver (int fd);

int llopen_Sender(int fd);

int llopen(int fd, int flag);
```

llopen.c

```
#include "protocol.h"
#include "llopen.h"

int llopen_Receiver(int fd)
{
    unsigned char BCC1 = A_SENDER ^ C_UA;
    unsigned char ua[6] = {FLAG, A_SENDER, C_UA, BCC1, FLAG, '\0'};

    disableAlarm();

    unsigned char buf[255];

    while(1)
    {
        if(read_message(fd, buf) == 0) break;
    }

    // analisar sender info
    if(parseMessageType(buf) == C_SET)
    {
        write_message(fd, ua, 5);
        return 0;
    }
```

```
    else
        return -5;
}

int llopen_Sender(int fd)
{
    (void) signal(SIGALRM, attend);

    unsigned char BCC1 = A_SENDER ^ C_SET;
    unsigned char set[6] = {FLAG, A_SENDER, C_SET, BCC1, FLAG, '\0'};

    int cnt = 0;
    unsigned char buf[255];

    while(cnt < 3)
    {
        alarm(3);
        disableAlarm();

        write_message(fd, set, 5);

        if(read_message(fd, buf) == 0) break;

        cnt++;
    }

    if(cnt == 3)
        return 2; //no confirmation recieved

    // analisar receiver info
    if(parseMessageType(buf) == C_UA)
        return 0;
    else
        return -6;
}

int llopen(int fd, int flag)
{
    if(flag == SENDER)
        return llopen_Sender(fd);
    else if (flag == RECEIVER)
        return llopen_Receiver(fd);

    return -1;
}
```

llread.h

```
int llread(int fd, int flag, unsigned char** message);

int checkBCC2(unsigned char * package, int size);

unsigned char* destuffing(unsigned char* buf, int *size);
```

llread.c

```
#include "llread.h"
#include "protocol.h"

int llread(int fd, int flag, unsigned char** message)
{
    unsigned char* buf = malloc(600 * sizeof(unsigned char));

    while(1)
    {
        if(read_message(fd, buf) == 0) break;
    }


    if(buf[2] != (unsigned char)(flag * 64))
    {
        unsigned char c1;
        if(flag == 0) c1 = C_RR0;
        else c1 = C_RR1;

        unsigned char BCC1 = A_SENDER ^ c1;
        unsigned char rr[6] = {FLAG, A_SENDER, c1, BCC1, FLAG, '\0'};

        write_message(fd, rr, 5);

        return -3;
    }

    if(buf[3] != (buf[1] ^ buf[2]))
        return -4;

    int size;

    unsigned char* destuffed = destuffing(buf + 4, &size);
```

```
    if (checkBCC2(destuffed, size) == 1)
        return -5;

    *message = destuffed;

    unsigned char c1;
    if(flag == 0) c1 = C_RR1;
    else c1 = C_RR0;

    unsigned char BCC1 = A_SENDER ^ c1;
    unsigned char rr[6] = {FLAG, A_SENDER, c1, BCC1, FLAG, '\0'};

    write_message(fd, rr, 5);

    return size;
}

int checkBCC2(unsigned char * package, int size)
{
    int i = 1;
    unsigned char check = package[0];

    for(; i < size - 2; i++)
        check ^= package[i];

    if(check == package[size - 2])
        return 0;
    else
        return 1;
}


unsigned char* destuffing(unsigned char* buf, int *size)
{
    unsigned char* destuff = malloc(600);

    int i = 0, j = 0;

    while(1)
    {
        if(buf[i] == 0x7E)
        {
            destuff[j] = buf[i];
            break;
        }
```

```
        else if(buf[i] == 0x7D)
        {
            if(buf[i+1] == 0x5E)
                destuff[j] = 0x7E;
            else if(buf[i + 1] == 0x5D)
                destuff[j] = 0x7D;

            j++;
            i+=2;
        }
        else
        {
            destuff[j] = buf[i];
            j++;
            i++;
        }
    }

    (*size) = j + 1;

    return destuff;
}
```

llwrite.h

```
int llwrite(int fd, unsigned char* package, int flag, int noPackage, FILE* fileTimePackages);
```

llwrite.c

```
#include "llwrite.h"
#include "protocol.h"

int llwrite(int fd, unsigned char* package, int flag, int noPackage, FILE* fileTimePackages)
{
    float start_time = (float)clock() / CLOCKS_PER_SEC;

    unsigned char BCC2;
    if(package[0] == C2_DATA)
        BCC2 = calculateBCC2(package, 4 + package[2]*256 + package[3]);
    else
        BCC2 = calculateBCC2(package, 5 + package[2] + package[2+package[2] + 2]);
```

```
    int char_count;
    unsigned char * stuff = stuffing(package, BCC2, &char_count);

    unsigned char* message = heading(stuff, char_count, flag);

    int cnt = 0;
    unsigned char buf[255];

    while(cnt < 3)
    {
        alarm(3);
        disableAlarm();

        write_message(fd, message, 6 + char_count);

        if(read_message(fd, buf) == 0)
        {
            if((parseMessageType(buf) == C_RR0 && flag == 1) || (parseMessageType(buf)
== C_RR1 && flag == 0))
            {
                float end_time = (float)clock() / CLOCKS_PER_SEC;
                fprintf(fileTimePackages, "%f\n", (end_time - start_time)*1000);

                noPackage != -1 ?   printf("Success on sending package no.%d - Transfer
time: %f seconds\n", noPackage, (end_time - start_time) * 1000) :
                                    printf("Success on sending Start package - Transfer
time: %f seconds\n", (end_time - start_time) * 1000);
                break;
            }
        }

        noPackage != -1 ?    printf("Failure on sending package no.%d, try no.%d\n",
noPackage,cnt + 1) :
                             printf("Failure on sending Start package, try no.%d\n", cnt
+ 1);

        cnt++;
    }


    if(cnt == 3)
        return 2; //no confirmation recieved

    if(flag == 1)
        return 0;
    else
```

```
        return 1;
}
```

protocol.h

```
#ifndef _PROTOCOL_H
#define _PROTOCOL_H

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

#define FLAG 0x7E
#define A_SENDER 0x03
#define A_RECEIVER 0x01
#define C_SET 0x03
#define C_DISC 0x0B
#define C_UA 0x07
#define C_RR0 0x05
#define C_RR1 0x85
#define C_REJ0 0x01
#define C_REJ1 0x81

#define ERROR 0xFF

#define SENDER 0
#define RECEIVER 1

#define BEGIN 0
#define START_MESSAGE 1
#define MESSAGE 2
#define END 3

#define C2_START 0x02
#define C2_DATA 0x01
```

```
#define C2_END 0x03
#define T_SIZE 0x00
#define T_NAME 0x01

void attend();

void disableAlarm();

int read_message(int fd, unsigned char buf[]);

void write_message(int fd, unsigned char buf[], int size);

unsigned char parseMessageType(unsigned char buf[]);

unsigned char calculateBCC2(unsigned char *message, int size);

unsigned char* stuffing_data_package(const unsigned char* package, const unsigned char BCC2, int* char_count);

unsigned char* stuffing_control_package(const unsigned char* package, const unsigned char BCC2, int* char_count);

unsigned char* stuffing(const unsigned char* package, const unsigned char BCC2, int* char_count);

unsigned char* heading(unsigned char * stuff, int count, int flag);

#endif
```

protocol.c

```
#include "protocol.h"

int alarm_flag = 1;
int rejj = 0;

void attend()
{
    alarm_flag = 1;
}

void disableAlarm()
{
    alarm_flag = 0;
}
```

```
int read_message(int fd, unsigned char buf[])
{
    int state = BEGIN;
    int pos = 0;

    int res;
    unsigned char c;

    while(alarm_flag != 1 && state != END)
    {
        res = read(fd,&c,1);

              if(res > 0)
              {
                  switch(state)
                  {
                      case BEGIN:
                                   {
                          if(c == FLAG)
                          {
                              buf[pos] = c;
                              pos++;
                              state = START_MESSAGE;
                          }
                          break;
                                 }
                      case START_MESSAGE:
                      {
                          if(c != FLAG)
                          {
                              buf[pos] = c;
                              pos++;
                              state = MESSAGE;
                          }
                          break;
                      }
                      case MESSAGE:
                      {
                                          buf[pos] = c;
                          pos++;
                          if(c == FLAG)
                              state = END;
                          break;
                      }
                      default: state = END;
```

```
                }
            }
    }

    if(alarm_flag == 1)
        return 1;

    return 0;
}

void write_message(int fd, unsigned char buf[], int size)
{
    write(fd,buf,size);
    fflush(NULL);
}

unsigned char parseMessageType(unsigned char buf[])
{
    if(buf[0] != FLAG)
        return ERROR;

    if(buf[1] != A_SENDER && buf[1] != A_RECEIVER)
        return ERROR;

    if((buf[2] ^ buf[1]) != buf[3])
        return ERROR;

    if(buf[2] == C_DISC ||
      buf[2] == C_SET ||
      buf[2] == C_UA ||
      buf[2] == C_RR0 ||
      buf[2] == C_RR1 ||
      buf[2] == C_REJ0 ||
      buf[2] == C_REJ1)
    {
        if(buf[4] == FLAG)
            return buf[2];
        else
            return ERROR;
    }

    return ERROR;
}

unsigned char calculateBCC2(unsigned char *message, int size)
{
```

```
    unsigned char bcc2 = message[0];
    int i = 1;

    for(; i < size; i++)
        bcc2 ^= message[i];

    return bcc2;
}

unsigned char* stuffing_data_package(const unsigned char* package, const unsigned
char BCC2, int* char_count)
{
    unsigned char* stuff = (unsigned char *)malloc(265 * 2 * sizeof(unsigned char));
    *char_count = 1;
    stuff[0] = package[0];

    if(package[1] == 0x7E)
    {
        stuff[(*char_count)++] = 0x7D;
        stuff[(*char_count)++] = 0x5E;
    }
    else if(package[1] == 0x7D)
    {
        stuff[(*char_count)++] = 0x7D;
        stuff[(*char_count)++] = 0x5D;
    }
    else
        stuff[(*char_count)++] = package[1];

    stuff[(*char_count)++] = package[2];

    if(package[3] == 0x7E)
    {
        stuff[(*char_count)++] = 0x7D;
        stuff[(*char_count)++] = 0x5E;
    }
    else if(package[3] == 0x7D)
    {
        stuff[(*char_count)++] = 0x7D;
        stuff[(*char_count)++] = 0x5D;
    }
    else
        stuff[(*char_count)++] = package[3];

    int count = 4;
    int i = package[2] * 256 + package[3];
```

```
    for(; count < 4 + i; count++)
    {
        if(package[count] == 0x7E)
        {
            stuff[(*char_count)++] = 0x7D;
            stuff[(*char_count)++] = 0x5E;
        }
        else if(package[count] == 0x7D)
        {
            stuff[(*char_count)++] = 0x7D;
            stuff[(*char_count)++] = 0x5D;
        }
        else
            stuff[(*char_count)++] = package[count];
    }

    if(BCC2 == 0x7E)
    {
        stuff[(*char_count)++] = 0x7D;
        stuff[(*char_count)++] = 0x5E;
    }
    else if(BCC2 == 0x7D)
    {
        stuff[(*char_count)++] = 0x7D;
        stuff[(*char_count)++] = 0x5D;
    }
    else
        stuff[(*char_count)++] = BCC2;

    return stuff;
}

unsigned char* stuffing_control_package(const unsigned char* package, const unsigned
char BCC2, int* char_count)
{
    int size = package[2];

    unsigned char* stuff = (unsigned char *)malloc( (5 + size + package[3+size] *
256 + package[4+size]) * 2 * sizeof(unsigned char) );

    *char_count = 1;

    stuff[0] = package[0];

    if(package[1] == 0x7E)
```

```
{
    stuff[(*char_count)++] = 0x7D;
    stuff[(*char_count)++] = 0x5E;
}
else if(package[1] == 0x7D)
{
    stuff[(*char_count)++] = 0x7D;
    stuff[(*char_count)++] = 0x5D;
}
else
    stuff[(*char_count)++] = package[1];

if(package[2] == 0x7E)
{
    stuff[(*char_count)++] = 0x7D;
    stuff[(*char_count)++] = 0x5E;
}
else if(package[2] == 0x7D)
{
    stuff[(*char_count)++] = 0x7D;
    stuff[(*char_count)++] = 0x5D;
}
else
    stuff[(*char_count)++] = package[2];

int count = 3;

for(; count < (3+size); count++)
{
    if(package[count] == 0x7E)
    {
        stuff[(*char_count)++] = 0x7D;
        stuff[(*char_count)++] = 0x5E;
    }
    else if(package[count] == 0x7D)
    {
        stuff[(*char_count)++] = 0x7D;
        stuff[(*char_count)++] = 0x5D;
    }
    else
        stuff[(*char_count)++] = package[count];
}

if(package[3+size] == 0x7E)
{
    stuff[(*char_count)++] = 0x7D;
```

```
        stuff[(*char_count)++] = 0x5E;
    }
    else if(package[3+size] == 0x7D)
    {
        stuff[(*char_count)++] = 0x7D;
        stuff[(*char_count)++] = 0x5D;
    }
    else
        stuff[(*char_count)++] = package[3+size];

    if(package[4+size] == 0x7E)
    {
        stuff[(*char_count)++] = 0x7D;
        stuff[(*char_count)++] = 0x5E;
    }
    else if(package[4+size] == 0x7D)
    {
        stuff[(*char_count)++] = 0x7D;
        stuff[(*char_count)++] = 0x5D;
    }
    else
        stuff[(*char_count)++] = package[4+size];

    count = 5 + size;
    int start_pnt = count;
    size = package[4+size];

    for(; count < (start_pnt + size); count++)
    {
        if(package[count] == 0x7E)
        {
            stuff[(*char_count)++] = 0x7D;
            stuff[(*char_count)++] = 0x5E;
        }
        else if(package[count] == 0x7D)
        {
            stuff[(*char_count)++] = 0x7D;
            stuff[(*char_count)++] = 0x5D;
        }
        else
            stuff[(*char_count)++] = package[count];
    }

    if(BCC2 == 0x7E)
    {
        stuff[(*char_count)++] = 0x7D;
```

```
        stuff[(*char_count)++] = 0x5E;
    }
    else if(BCC2 == 0x7D)
    {
        stuff[(*char_count)++] = 0x7D;
        stuff[(*char_count)++] = 0x5D;
    }
    else
        stuff[(*char_count)++] = BCC2;

    return stuff;
}

unsigned char* stuffing(const unsigned char* package, const unsigned char BCC2, int*
char_count)
{
    if(package[0] == C2_DATA)
        return stuffing_data_package(package, BCC2, char_count);
    else
        return stuffing_control_package(package, BCC2, char_count);
}

unsigned char* heading(unsigned char * stuff, int count, int flag)
{
    unsigned char * message = (unsigned char *)malloc( (5 + count) * sizeof(unsigned
char));

    message[0] = FLAG;
    message[1] = A_SENDER;
    message[2] = (unsigned char)(flag * 64);
    message[3] = A_SENDER ^ message[2];

    int i = 4;

    for(; i < 5 + count; i++)
        message[i] = stuff[i - 4];


    message[i] = FLAG;

    return message;
}
```

receiver.c

```c
#include "llopen.h"
#include "llread.h"
#include "llclose.h"
#include "protocol.h"

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

volatile int STOP=FALSE;

int setup()
{
    int fd;
    struct termios oldtio,newtio;

  /*
    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("/dev/ttyS0", O_RDWR | O_NOCTTY );
    fflush(NULL);

    if (fd <0) {perror("/dev/ttyS0"); exit(-1); }

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

    bzero(&newtio, sizeof(newtio));
    newtio.c_cflag = BAUDRATE | CS8 | CLOCAL | CREAD;
    newtio.c_iflag = IGNPAR;
    newtio.c_oflag = 0;

    /* set input mode (non-canonical, no echo,...) */
    newtio.c_lflag = 0;

    newtio.c_cc[VTIME]    = 1;   /* inter-character timer unused */
    newtio.c_cc[VMIN]     = 0;   /* blocking read until 5 chars received */

  /*
    VTIME e VMIN devem ser alterados de forma a proteger com um temporizador a
```

```
    leitura do(s) pr?ximo(s) caracter(es)
  */

    tcflush(fd, TCIOFLUSH);

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

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

    return fd;
}


off_t parseMessageStart(unsigned char* message, unsigned char** filename)
{
    off_t fileSize = 0;

    int file_size_length = message[2];

    int i = 1;
    for(; i <= file_size_length; i++)
        fileSize += message[2+i] * pow(256,file_size_length - i);

    int filename_length = message[2+i+1];

    unsigned char* name = (unsigned char *)malloc((filename_length + 1)*
sizeof(unsigned char));

    int k = i + 4;
    int j = 0;
    for(; k < filename_length + i + 4; k++, j++)
        name[j] = message[k];

    name[j] = '\0';

    (*filename) = name;

    printf("Number of Packages = %li\n", fileSize / 260 + 1);
    printf("Filename = %s\n", *filename);

    return fileSize;
}
```

```
int parseMessageData(unsigned char* message, int messageSize, unsigned char** data)
{
    int length = message[2] * 256 + message[3];

    unsigned char * dataAux = malloc(length * sizeof(unsigned char));

    int i = 4;
    for(; i < length + 4; i++)
        dataAux[i-4] = message[i];

    (*data) = dataAux;

    return length;
}

void saveData(unsigned char* fileContent, unsigned char* data, int sizeData, int
*index)
{
    int i = 0;
    for(; i < sizeData; i++)
        fileContent[(*index) + i] = data[i];

    (*index) += sizeData;
}

void createFile(unsigned char* fileContent, unsigned char* filename, off_t
size_file)
{
    FILE *file = fopen((char*)filename, "wb+");
    fwrite(fileContent, 1, size_file, file);
    fclose(file);
}


int main(int argc, char** argv)
{
    int fd = setup();

    if(llopen(fd, RECEIVER) == 0)
        printf("Connected\n");
    else
    {
        printf("Failed\n");
        return -2;
    }
```

```
    // Initial flag for start package
    int flag = 0;
    unsigned char* message;
    int messageSize;

    while((messageSize = llread(fd, flag, &message)) < 0);
    flag = 1;

    unsigned char* filename;
    off_t size_file = parseMessageStart(message,&filename);

    unsigned char * fileContent = malloc(size_file * sizeof(unsigned char));

    int index = 0;
    int counter = 0;

    while(index < size_file)
    {
        while((messageSize = llread(fd, flag, &message)) < 0);
        (flag == 0) ? (flag = 1) : (flag = 0);

        unsigned char * data;
        int sizeData = parseMessageData(message, messageSize, &data);
        counter++;

        saveData(fileContent, data, sizeData, &index);

        printf("Received package no.%d\n",counter);
    }

    createFile(fileContent, filename, size_file);

    printf("Finished receiving file %s\n", filename);

    return llclose(fd,RECEIVER);
}
```

sender.c

```c
#include "llopen.h"
#include "llwrite.h"
#include "llclose.h"
#include "protocol.h"

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

unsigned char n_seq = 0;
volatile int STOP=FALSE;

int setup()
{
    int fd;
    struct termios oldtio,newtio;

  /*
    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("/dev/ttyS0", O_RDWR | O_NOCTTY );
    fflush(NULL);

    if (fd <0) {perror("/dev/ttyS0"); exit(-1); }

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

    bzero(&newtio, sizeof(newtio));
    newtio.c_cflag = BAUDRATE | CS8 | CLOCAL | CREAD;
    newtio.c_iflag = IGNPAR;
    newtio.c_oflag = 0;

    /* set input mode (non-canonical, no echo,...) */
    newtio.c_lflag = 0;

    newtio.c_cc[VTIME]    = 1;   /* inter-character timer unused */
    newtio.c_cc[VMIN]     = 0;   /* blocking read until 5 chars received */

  /*
```

```
    VTIME e VMIN devem ser alterados de forma a proteger com um temporizador a
    leitura do(s) pr€ximo(s) caracter(es)
  */

    tcflush(fd, TCIOFLUSH);

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

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

    return fd;
}

unsigned char *readFile(unsigned char* filename, off_t *sizeFile)
{
    FILE *file;

    struct stat fileInfo;
    unsigned char* fileContent;

    if( (file = fopen((char*)filename, "rb")) == NULL)
    {
        perror("Error reading file.\n");
        exit(-1);
    }

    stat((char*)filename, &fileInfo);
    (*sizeFile) = fileInfo.st_size;

    fileContent = (unsigned char *)malloc(fileInfo.st_size);

    fread(fileContent, sizeof(unsigned char), fileInfo.st_size, file);

    return fileContent;
}

unsigned char* controlPackage(unsigned char c2, const unsigned char* filename, const
off_t sizeFile)
{
    int res = sizeFile / 256;
    int quo = sizeFile % 256;
    int count = 1;
```

```
    while(res > 0)
    {
      res = quo / 256;
      quo %= 256;
      count++;
    }

    int size = (5 + strlen((char*)filename) + count) * sizeof(unsigned char);
    unsigned char* data = (unsigned char *)malloc(size);

    data[0] = c2;
    data[1] = T_SIZE;
    data[2] = count;

    res = sizeFile / 256;
    quo = sizeFile % 256;

    int i = 3;

    if(res == 0) data[i] = quo;
    else data[i] = res;

    while(res > 0)
    {
      res = quo / 256;
      quo %= 256;
      i++;
      if(res == 0) data[i] = quo;
      else data[i] = res;
    }

    data[i+1] = T_NAME;
    data[i+2] = strlen((char*)filename);

    i+=3;
    for(count = 0; count < strlen((char*)filename); i++, count++)
        data[i] = filename[count];

    return data;
}

unsigned char* dataPackage(unsigned char * content, off_t *offset, off_t end_offset)
{
    unsigned char* package = malloc(264 * sizeof(unsigned char));

    package[0] = C2_DATA;
```

```
    package[1] = n_seq % 255;
    n_seq++;

    off_t chars_to_send = end_offset - *offset;

    if (end_offset - *offset > 260)
        chars_to_send = 260;

    if(chars_to_send > 255)
    {
        package[2] = 1;
        package[3] = chars_to_send - 256;
    }
    else
    {
        package[2] = 0;
        package[3] = chars_to_send;
    }

    int i = 0;
    for(; i < chars_to_send; i++, (*offset)++)
        package[4+i] = content[*offset];

    return package;
}

int main(int argc, char** argv)
{
    if(argc != 2)
    {
        printf("Usage: %s <filename>\n", argv[0]);
        return -1;
    }

    int fd = setup();

    if(llopen(fd, SENDER) == 0)
        printf("Connected\n");
    else
    {
        printf("Failed\n");
        return -2;
    }
```

```
    int fd_time_packages = open("packageTime.txt", O_WRONLY | O_APPEND | O_CREAT,
0644);
    int fd_time_taken = open("fileTime.txt", O_WRONLY | O_APPEND | O_CREAT, 0644);

    FILE *fileTimeTaken = fdopen(fd_time_taken, "a");
    FILE *fileTimePackages = fdopen(fd_time_packages, "a");

    //Opens the file to be sent
    off_t fileSize;
    unsigned char* fileContent;
    fileContent = readFile((unsigned char *)argv[1],&fileSize);

    unsigned char* start = controlPackage(C2_START, (unsigned char *)argv[1],
fileSize);
    off_t offsetFile = 0;

    float start_time = (float)clock() / CLOCKS_PER_SEC;

    if(llwrite(fd, start, 0,-1, fileTimePackages) == 2) //ERROR '-1' start package
        return -1;

    int flag = 1;
    int counter = 1;

    while(offsetFile != fileSize)
    {
        unsigned char* package = dataPackage(fileContent, &offsetFile, fileSize);

        flag = llwrite(fd, package,flag, counter,fileTimePackages);
        counter++;

        if(flag == 2)//ERROR
            return -1;
    }

    float end_time = (float)clock() / CLOCKS_PER_SEC;

    printf("Finished to send file %s - Transfer time: %f seconds\n", argv[1],
(end_time - start_time)*1000);

    fprintf(fileTimeTaken, "%f\n", (end_time - start_time)*1000);

    return llclose(fd,SENDER);
}
```