

Redes de Computadores

Turma Grupo

Diogo Samuel Gonçalves Fernandes up201806250@fe.up.pt
Paulo Jorge Salgado Marinho Ribeiro up201806505@fe.up.pt

12 de novembro de 2020

Projeto RCOM - 2019/20 - MIEIC

Professor: Rui Campos rcampos@fe.up.pt

1 Introdução

Tendo como principal objetivo a implementação de um protocolo de transferência de dados recorrendo a uma porta série, este trabalho deve resultar num programa capaz de resistir a fenómenos como a interrupção da porta série ou a receção de informação corrompida, provocada pela indução de "ruído" na porta série. Este relatório procura explicar toda a teoria envolvida neste primeiro trabalho, de forma bem estruturada, nos seguintes tópicos:

- Arquitetura - Descrição dos blocos funcionais e interfaces
- Estrutura do código - Explicação das APIs, enumeração das principais estruturas de dados utilizadas, das funções de maior importância e relação com a arquitetura
- Casos de Uso Principais - Identificação dos casos de uso mais importantes, e demonstração sequencial das chamadas às funções.
- Protocolo de ligação lógica - Identificação dos principais aspetos funcionais da camada de Ligação de Dados, descrição da estratégia de implementação destes aspetos, com o apoio de extratos de código.
- Protocolo de aplicação - Identificação dos principais aspetos funcionais da camada da Aplicação, descrição da estratégia de implementação destes aspetos, com o apoio de extratos de código.
- Validação - Descrição dos testes efetuados com apresentação quantificada dos resultados.
- Eficiência do protocolo de ligação de dados - Caracterização estatística da eficiência do protocolo, feita com recurso a medidas sobre o código desenvolvido.
- Conclusões - Síntese da informação apresentada nas secções anteriores, e reflexão sobre os objetivos de aprendizagem alcançados.

2 Arquitetura

O programa desenvolvido desdobra-se em duas camadas bem definidas. A camada de Ligação de Dados (Link Layer), como é responsável pelo estabelecimento da ligação, torna o protocolo sólido, garantindo a sua consistência. Por este motivo, é considerada a camada de mais baixo nível do programa, sendo que trata da abertura da porta série, da transmissão de informação (escrita e leitura) e do seu posterior fecho. É também da sua responsabilidade testar se a informação foi escrita/recebida corretamente, através de byte stuffing e de testes de erros como os BCC.

A camada da Aplicação (Application Layer) é apenas responsável pelo envio e receção da informação dos ficheiros, pelo que é de um nível superior à camada de ligação de dados. Esta chama as funções da camada da ligação de dados, para envio/receção da informação de dados, mantendo-se, completamente independente desta uma vez que desconhece os seus métodos de atuar.

3 Estrutura do código

Esta independência entre camadas está também explícita na sua implementação, uma vez que o código relativo à camada de ligação de dados se encontra desenvolvido nos ficheiros "llfunctions.h" e

“llfunctions.c”, enquanto que o código relativo à camada da Aplicação encontra-se nos ficheiros “write-noncanonical.c” (parte do Emissor) e “noncanonical.c” (parte do Recetor). Os ficheiros “messages.h” e “messages.c” contêm funções auxiliares usadas pelas principais funções, responsáveis pelo envio/receção de tramas e pelo cálculo do BCC2. Já os ficheiros “state_machines.h” e “state_machines.c” contêm o código que simula as máquinas de estados necessárias para a receção. No ficheiro “constdefines.h” estão definidas todas as estruturas de dados utilizadas, e definidas as principais macros usadas, que enumeramos de seguida.

3.1 Estruturas de Dados

Recorremos à struct `applicationLayer`, que se encontra no ficheiro “const_defines.h” para armazenar a informação relativa à camada da aplicação, nomeadamente o nome da porta série a utilizar, o seu descritor de ficheiro, e um inteiro que indica se o programa está a fazer o papel de Emissor ou Recetor.

Recorremos também a estruturas de dados do tipo `enum`, que são usadas pelas máquinas de estados para identificar o seu estado atual, na receção das várias tramas.

As funções que desempenham um papel mais importante neste trabalho são as seguintes:

- `int llopen(struct applicationLayer application);`
- `int llwrite(int fd, unsigned char buffer, int length);`
- `int llread(int fd, unsigned char* buffer);`
- `int llclose(struct applicationLayer *application);`

3.2 Macros

- `BAUDRATE`: usado na struct `termios`, durante o `llopen()`, que indica a capacidade da ligação.
- `RECEIVER` a 0, e `TRANSMITTER` a 1: para efeitos de distinção do papel da aplicação.
- `TIMEOUT`: que indica o tempo, em segundos, que o Emissor deve esperar resposta do Recetor, antes de reenviar a trama.
- `MAX_SIZE`: indica o tamanho máximo, em bytes, de informação do ficheiro que cabe num pacote da aplicação.

A listagem de todas as macros encontra-se no ficheiro “const_defines.h”.

4 Casos de uso principais

4.1 Makefile

O Makefile por nós criado efetua a compilação do programa, resultando em dois executáveis diferentes, um para o Emissor (`writenoncanonical`) e outro para o Recetor (`noncanonical`).

4.2 Emissor

O executável relativo ao Emissor exige 2 argumentos: o nome da porta série (por exemplo /dev/ttyS1), e o nome do ficheiro que vai ser transmitido (exemplo: pinguim.gif) A sequência de chamadas efetuada por este executável é a seguinte:

- llopen: Configura a ligação entre os dois computadores, abrindo a porta série em modo de escrita e leitura. Esta configuração decorre de uma troca de tramas, a trama SET enviada pelo Emissor e a trama UA enviada pelo Recetor. Apesar de a função ser comum aos dois programas, há nela uma distinção das ações conforme o parâmetro status da struct referida no tópico anterior, recebida como parâmetro.
- Leitura do ficheiro e armazenamento da sua informação num array de unsigned chars.
- Criação do pacote de controlo Start, seguido do seu envio, já recorrendo à função llwrite().
- Criação dos pacotes de Informação, que resulta de uma divisão do array referido no segundo passo, e o seu respetivo envio, recorrendo também a llwrite().
- Criação do pacote de controlo End, seguido do seu envio, recorrendo à função llwrite().
- llclose(): Encerramento da ligação entre os dois computadores, através de uma troca de tramas. Neste caso, o Emissor receberá uma trama DISC, enviando como resposta outra trama DISC, e para terminar receberá uma trama UA.

4.3 Recetor

O executável relativo ao Recetor exige também 2 argumentos: o nome da porta série (por exemplo /dev/ttyS0), e o nome do ficheiro que vai ser transmitido (exemplo pinguim.gif)

- llopen: Configura a ligação entre os dois computadores, abrindo a porta série em modo de escrita e leitura. Esta configuração decorre de uma troca de tramas, a trama SET enviada pelo Emissor e a trama UA enviada pelo Recetor. Apesar de a função ser comum aos dois programas, há nela uma distinção das ações conforme o parâmetro status da struct referida no tópico anterior, recebida como parâmetro.
- Receção do pacote de controlo Start, recorrendo à função lread().
- Processamento do pacote de controlo Start recebido, de modo a receber corretamente o nome e o tamanho do ficheiro que vai ser copiado, para efeitos de apenas informar o utilizador destes dados.
- Receção dos pacotes de Informação, recorrendo à função lread(). A cada pacote lido, a sua informação é processada (de modo a ficar apenas com os bytes de informação do ficheiro), e esta informação é logo de seguida escrita para o novo ficheiro, criado imediatamente antes desta receção.
- Quando recebe o pacote de controlo End, o loop de receção de tramas termina.
- llclose(): Encerramento da ligação entre os dois computadores, através de uma troca de tramas. Neste caso, o Recetor enviará uma trama DISC, recebendo como resposta outra trama DISC, e para terminar enviará uma trama UA.

5 Protocolo de ligação lógica

5.1 Principais aspetos funcionais

- Estabelecimento da ligação entre os dois computadores, com abertura da porta série
- Reenvio de tramas por parte do emissor, na falta de resposta.
- Envio e Receção de informação entre os dois computadores
- Byte stuffing e destuffing, de modo a evitar uma má interpretação dos bytes recebidos
- Coordenação entre ambos os processos relativamente às tramas a enviar/receber
- Controlo de Erros, isto é, deteção de informação corrompida
- Confirmação/Rejeição de tramas, por parte do Recetor
- Terminação da ligação entre os dois computadores, com fecho da porta série

5.2 Estratégia de implementação

Estabelecimento da ligação entre os dois computadores, com abertura da porta série

O estabelecimento da ligação lógica é realizado na função `llopen()` do ficheiro “`llfunctions.c`”, na qual é efetuada a abertura da porta série, em modo de escrita e leitura. Logo após isto, é realizada uma troca de tramas entre o Emissor e o Recetor, que confirma que a ligação foi estabelecida. Segue-se o seu procedimento:

- Envio de uma trama SET pelo Emissor.
- Receção da trama SET pelo Recetor
- Envio da trama UA pelo Recetor, como resposta
- Receção da trama UA pelo Emissor. No caso de o Emissor não receber resposta após TIMEOUT segundos (por motivos de interrupção da porta série, por exemplo), este reenvia a trama SET. Este procedimento é repetido TRIES vezes. Se chegar ao fim deste número de vezes sem ter recebido resposta, o programa é encerrado, indicando que a função `llopen()` falhou.

Reenvio de tramas por parte do emissor, na falta de resposta

Recorremos ao reenvio de tramas quando o emissor espera mais do que TIMEOUT segundos por uma resposta do recetor. Alterando o valor de VMIN para 0, a função `read()` não ficará bloqueada à espera de qualquer byte, e mudando o valor de VTIME para `TIMEOUT * 10` (VTIME pede unidades de 0.1 segundos) implica que a função `read()` esperará esse número de segundos, e se não receber nada durante esse período retorna 0. Quando o valor de retorno for zero, o emissor deve reenviar a trama.

Envio e Receção de informação entre os dois computadores

O envio e receção de informação é da responsabilidade das funções `llwrite()` e `llread()`, que escrevem e leem uma única trama, respetivamente.

llwrite()

- Calcula o BCC2 com os bytes de informação recebidos como parâmetro, que fará parte da estrutura da trama.
- É efetuado o byte stuffing nos bytes de informação e no BCC2.
- Após isto, é composta a trama que vai ser enviada, começando por adicionar os primeiros bytes especiais (FLAG, A, C, BCC1), seguido dos bytes de informação, do BCC2 e a FLAG.
- Com a trama já composta, esta é enviada para a porta série, e é de seguida esperada uma resposta do recetor (RR/REJ), que envolve todo o procedimento de reenvio de tramas.
- É alterado o número de sequência, no caso de a resposta do recetor ser positiva (RR) e com um número de sequência diferente do atual, o que significa que o recetor pediu uma nova trama.

llread()

- A função começa por receber a trama, que é processada byte a byte, recorrendo a uma máquina de estados implementada no ficheiro “statemachines.c”, nomeadamente a função processDATA(), que é uma máquina de estados específica às tramas de informação.
- Uma vez que a trama recebida se trata de uma mensagem com byte stuffing, é necessário fazer o processo inverso, byte destuffing, de modo a enviar a informação correta para o novo ficheiro. Para isto, inicia-se a construção da trama destuffed na variável “buffer”, adicionando primeiro os bytes especiais (FLAG, A, C, BCC1).
- Segue-se a verificação do BCC1, comparando o valor recebido com um novo valor calculado conforme o número de sequência atual. Se este valor não coincidir, a função retorna um valor negativo, que é detetado no loop de envio dos pacotes da aplicação no ficheiro “noncanonical.c”, de forma a ignorar a trama recebida.
- Preenche-se a variável com os bytes de informação, realizando o byte destuffing.
- Depois, é efetuada a verificação do BCC2, comparando-se o valor recebido com um novo cálculo deste parâmetro, usando os bytes de informação recebidos (já destuffed). No caso de estes valores não coincidirem, é enviada uma trama REJ para o emissor, que reenviará a trama. É retornado um valor negativo para que a trama recebida seja ignorada.
- Por último, se o valor do número de sequência recebido for igual ao atual, isto é, se foi recebida a trama que o recetor esperava, o valor de NS é alterado, que é o equivalente a pedir a próxima trama, uma vez que é enviada uma trama RR com os campos C e BCC1 afetados com esse valor.

Byte stuffing e destuffing, de modo a evitar uma má interpretação dos bytes recebidos

O byte stuffing e destuffing baseia-se em simples verificações, realizadas byte a byte sobre os bytes de informação recebidos (e BCC2 também), que os compara aos bytes especiais, nomeadamente a FLAG (0x7e) e o ESC (0x7d). No caso do byte stuffing, estes bytes são transformados numa sequência de 2 bytes: 0x7d 0x5e para o primeiro e 0x7d e 0x5d para o segundo. No byte destuffing, é efetuado o processo inverso. Desta forma, no caso de algum dos bytes de informação ou o BCC2 coincidir com estes bytes especiais, nunca serão confundidos com os bytes delimitadores da trama, pelo que a informação é transmitida corretamente.

Coordenação entre ambos os processos relativamente às tramas a enviar/receber

A coordenação entre o emissor e o recetor é feita recorrendo ao “número de sequência”, que pode tomar o valor 0 ou 1, e que vem implícito no campo C das tramas. As respostas do recetor (RR/REJ) indicam ao emissor se deve reenviar a trama atual, ou enviar a próxima. É necessário reenvio quando o valor do número de sequência recebido pelo emissor é igual ao seu atual, isto é, o recetor pediu o reenvio da trama, devido a erros na informação. Por outro lado, quando o valor do número de sequência recebido pelo emissor é diferente do seu atual, este deve passar para a próxima trama.

Controlo de Erros, isto é, deteção de informação corrompida

O controlo de erros é feito a dois níveis: BCC1, que diz respeito à numeração da trama recebida, e BCC2, que está relacionado com os bytes de informação da trama. O primeiro é calculado realizando o XOR entre os campos A e C da trama, e comparado com o valor do BCC1 recebido na trama. No caso de não coincidirem, indica um erro na numeração das tramas, e o recetor ignora a trama. Já o BCC2 é calculado realizando o XOR entre todos os bytes de informação da trama, e comparado com o valor do BCC2 recebido na trama. No caso de não coincidirem, é porque a informação está corrompida (devido ao chamado “ruído”), pelo que é enviada uma trama REJ, que indica ao emissor que deve reenviar a trama.

Confirmação/Rejeição de tramas, por parte do Recetor

A confirmação da trama ocorre quando não há qualquer erro na trama recebida e o número de sequência recebido coincide com o seu atual. Nesse caso, ele simplesmente altera o valor do número de sequência. A rejeição da trama ocorre quando há algum erro na trama, seja ele no BCC1 ou no BCC2, ou então quando o número de sequência recebido não coincide com o atual do recetor. No caso de erros no BCC1, a trama é simplesmente ignorada, e o recetor espera por um reenvio desta e no caso de erros no BCC2, é enviada uma trama REJ. Já no caso de discrepância entre os números de sequências, é enviada uma trama RR com o número de sequência atual, para que o emissor saiba que deve reenviar a trama.

Terminação da ligação entre os dois computadores, com fecho da porta série

A terminação da ligação lógica é realizado na função `llclose()` do ficheiro “`llfunctions.c`”, e baseia-se numa troca de tramas entre o Emissor e o Recetor, que confirma a terminação da ligação. Segue-se o seu procedimento:

- Envio de uma trama DISC pelo Emissor.
- Receção da trama DISC pelo Recetor
- Envio de uma trama DISC pelo Recetor
- Receção da trama DISC pelo Emissor
- Envio de uma trama UA pelo Emissor
- Receção da trama UA pelo Recetor

6 Protocolo de aplicação

6.1 Principais aspetos funcionais

- Leitura do ficheiro a enviar, por parte do emissor, e criação/escrita de um ficheiro destino por parte do recetor
- Envio e Receção dos pacotes de controlo START e END
- Divisão da informação do ficheiro conforme o valor de MAX_SIZE, e construção dos pacotes de dados, respeitando a sua estrutura

6.2 Estratégia de implementação

Leitura do ficheiro a enviar, por parte do emissor, e criação/escrita de um ficheiro destino por parte do recetor.

Logo após estabelecer a ligação com o Recetor, o Emissor efetua a abertura do ficheiro a ser copiado, e lê a informação deste, copiando-a para um array `fileData`, no ficheiro “`writenoncanonical.c`”, armazenando também o tamanho do ficheiro. Assim, o Recetor abre o ficheiro destino (ou cria-o, se este ainda não existir), e vai escrevendo a informação recebida, a cada pacote recebido.

Envio e Receção dos pacotes de controlo START e END

O Emissor começa por criar o pacote de controlo START. A sua estrutura pode ser vista no Anexo II. Este irá conter dois tipos de informação (dois parâmetros na forma TLV), o tamanho e o nome do ficheiro, e o campo C terá o valor 2 (que indica que se trata de um pacote START). Estas informações serão recebidas pelo Recetor, que apresentará no ecrã estes dados. Após enviar todos os pacotes de dados, o Emissor cria o pacote de controlo END, que será igual ao START, com exceção campo C, que terá o valor 3 (indicador do pacote END). O Recetor, recebendo este pacote, saberá que não receberá mais informação, pelo que termina o loop de receção dos pacotes, no ficheiro “`noncanonical.c`”.

Divisão da informação do ficheiro conforme o valor de MAX_SIZE, e construção de dados, respeitando a sua estrutura

A constante MAX_SIZE definida no ficheiro “`constdefines.h`” indica o número de bytes de informação do ficheiro que cada pacote de dados pode conter, no máximo. No ficheiro “`writenoncanonical.c`”, o emissor começa por calcular o número de pacotes que será preciso enviar, calculado com base no tamanho do ficheiro e no valor desta constante. De seguida, executa um ciclo for, de modo a executar uma iteração para cada pacote. Assim, em cada iteração, calcula o número de bytes de informação que o pacote conterá, que corresponde ao mínimo entre MAX_SIZE e o número de bytes de informação restantes no ficheiro. Após isto, preenche os bytes especiais do pacote de dados (C, N, L2, L1), seguindo-se os bytes de informação a mandar. Do lado do Recetor, este não necessita de conhecer o tamanho do pacote de dados que receberá, uma vez que a camada da ligação lógica permite que este saiba quando um pacote termina – quando recebe a última FLAG.

7 Validação

Para validação do nosso programa, foram efetuados vários testes, aos quais resistiu. Destacam-se os seguintes:

- Envio de ficheiros de diversos tamanhos
- Envio de um ficheiro com variação do baudrate
- Envio de um ficheiro com variacao do tamanho dos pacotes max_size
- Interrupção da porta série por alguns segundos, e retoma desta antes do encerramento do programa
- Indução de ruído na porta série, de modo a induzir erros na transmissão da informação das tramas

8 Eficiência do protocolo de ligação de dados

Com o objetivo de avaliar a eficiência da nossa aplicação, efetuamos vários testes, com alterações a nível da capacidade da ligação (Baudrate), do tamanho dos campos de data das tramas I (MAX_SIZE), da percentagem de erros (FER) e dos atrasos de propagação.

8.1 Variação do FER

Pela análise do gráfico podemos concluir que, como era esperado, uma maior percentagem de erros induzidos nas tramas I leva a uma menor eficiência do programa, devido ao facto de o tratamento destes erros ocupar grande parte do tempo de execução (reenvio de tramas, no caso de erros no BCC2, e espera de TIMEOUT segundos por parte do emissor, no caso de erros no BCC1).

8.2 Variação do tamanho dos campos de informação das tramas I

Analisando este gráfico, rapidamente se conclui que quando maior for o valor do MAX_SIZE, que corresponde ao tamanho dos campos Data das tramas I, maior será a eficiência do programa. Isto acontece porque, dado o aumento do tamanho das tramas, menor será o número de tramas enviadas, pelo que a divisão dos pacotes será mais rápida, o que leva a um menor tempo de execução.

8.3 Variação da capacidade da ligação (Baudrate)

Este gráfico é também de fácil análise, concluindo-se que uma maior capacidade da ligação (Baudrate) leva a uma menor eficiência do programa. Ora, uma razão que encontramos para esta variação consiste no facto de o baudrate ser inversamente proporcional à eficiência: para um MAX_SIZE constante, um aumento da capacidade de ligação provocaria um maior gasto de recursos, tornando o programa menos eficiente.

8.4 Variação dos atrasos de propagação

Pela análise deste gráfico conclui-se que quanto maior for o atraso de propagação, o em conta que a eficiência e a baudrate são inversamente proporcionais, como é possível verificar na fórmula usada

($S = R/C$). menor será a eficiência, e este decréscimo dá-se de forma acentuada, uma vez que a maior parte do tempo de execução resultará destes atrasos, e não do tempo útil do programa.

9 Conclusões

A implementação do protocolo de ligação de dados que constituía o tema deste projeto deu-nos a conhecer novos conceitos, como Tramas e o mecanismo Stop and Wait, que pudemos meter em prática durante a sua implementação. O nosso grupo conseguiu terminar todas as metas que tínhamos em mente quando iniciamos o projeto, tendo passado no entanto por algumas dificuldades, aquando de todos os pormenores que permitem tornar a aplicação resistente a fenómenos de erros, que mais tarde conseguimos resolver.

Em suma, o projeto foi concluído com sucesso, apesar do reduzido tempo de acesso aos laboratórios, devido às condições pandémicas que se vivem, e serviu para um aprofundamento do conhecimento teórico e prático sobre ligações de dados, e as camadas que estas envolvem.

10 Anexos

Anexo I

const_defines.h

```
// ----- Format of Framing (tramas) -----

/*
 * Types of framing:
 * - Information framing:
 *   | F | A | C | BCC1 | D1 | Data | Dn | BCC2 | F |
 *
 * - Supervision framing and Unnumbered framing:
 *   | F | A | C | BCC1 | F |
 *
 */

#define FLAG 0x7E // Delimitation of framing (tramas)

#define A_Sender_Receiver 0x03 // Commands sent by Sender and answers sent by Receiver
#define A_Receiver_Sender 0x01 // Commands sent by Receiver and answers sent by Sender

#define C_SET 0x03 // Defines framing of type SET (set up)
#define C_DISC 0x0B // Defines framing of type DISC (disconnect)
#define C_UA 0x07 // Defines framing of type UA (unnumbered acknowledgment)

#define C_IO 0x00
#define C_I1 0x40

#define C_RR(N) (N << 7 | 0b101) // C_RR - Defines framing of type RR (N = 0 -> 0x05, N = 1
    -> 0x85)
#define C_REJ(N) (N << 7 | 0b1) //C_REJ - Defines framing of type REJ (N = 0 -> 0x01, N = 1
    -> 0x81)

/* BCC - Protection Camp - A^C (XOR / Exclusive OR)
 *
 * BCC_SET - BCC for framing of type SET (set up) - A^C_SET
 * BCC_DISC - BCC for framing of type DISC (disconnect) - A^C_DISC
 * BCC_UA - BCC for framing of type UA (unnumbered acknowledgment) - A^C_UA
 * BCC_RR - BCC for framing of type RR (receiver ready / positive ACK) - A^C_RR
 * BCC_REJ - BCC for framing of type REJ (reject / negative ACK) - A^C_REJ
 */

#define BCC_SET (A_Sender_Receiver ^ C_SET)
#define BCC_UA_Sender_Receiver (A_Sender_Receiver ^ C_UA)
#define BCC_UA_Receiver_Sender (A_Receiver_Sender ^ C_UA)
#define BCC_DISC_Sender_Receiver (A_Sender_Receiver ^ C_DISC)
#define BCC_DISC_Receiver_Sender (A_Receiver_Sender ^ C_DISC)

#define BCC_C_IO (A_Sender_Receiver ^ 0x00)
#define BCC_C_I1 (A_Sender_Receiver ^ 0x40)

#define BCC_RR(N) (A_Sender_Receiver ^ C_RR(N))
#define BCC_REJ(N) (A_Sender_Receiver ^ C_REJ(N))
```

```
// ----- Defines -----

// Boolean values
#define FALSE 0
#define TRUE 1

// Used in struct termios
#define BAUDRATE B38400

// Used in struct applicationLayer
#define RECEIVER 0
#define TRANSMITTER 1

// Timeout in seconds, to resend the frames
#define TIMEOUT 3

// Used in struct linkLayer
#define MAX_SIZE 8

// ESC byte, used in byte stuffing
#define ESC 0x7D

// MIN: Find minimal element, used in llwrite()
#define MIN(x, y) (((x) < (y)) ? (x) : (y))

// ----- Structures Declaration -----

// Estados
enum current_state {start, flag_rcv, a_rcv, c_rcv, bcc_ok, data_rcv, bcc2_ok, stop,
    finished};

// Aplicacao
struct applicationLayer {
    char port[20]; // Dispositivo /dev/ttySx, x = 0, 1
    int fileDescriptor; // Descritor correspondente a porta serie
    int status; // TRANSMITTER | RECEIVER
};

// -----
```

llfunctions.h

```
// ----- Interface Protocolo-Aplicacao -----

struct applicationLayer;

int llopen(struct applicationLayer *application);

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

int llread(int fd, unsigned char* buffer);

int llclose(struct applicationLayer *application);

// -----
```

llfunctions.c

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

#include "llfunctions.h"
#include "const_defines.h"
#include "messages.h"
#include "state_machines.h"

struct termios oldtio,newtio;

int erro = 0;
int Ns_Enviado_Write = 0;
int Ns_Recebido_Read = 0;
int t = 0;

int llopen(struct applicationLayer *application) {

    /*
     * 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.
     */

    application->fileDescriptor = open(application->port, O_RDWR | O_NOCTTY );
    if (application->fileDescriptor < 0) {perror(application->port); return -1; }

    if ( tcgetattr(application->fileDescriptor,&oldtio) == -1) { /* save current port
        settings */
        perror("tcgetattr");
        return -1;
    }
}
```

```

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

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

newtio.c_cc[VTIME] = TIMEOUT * 10; /* inter-character timer unused */
newtio.c_cc[VMIN] = 0; /* blocking read until 1 char received */

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

tcflush(application->fileDescriptor, TCIOFLUSH);

if ( tcsetattr(application->fileDescriptor, TCSANOW, &newtio) == -1) {
    perror("tcsetattr");
    return -1;
}

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

if (application->status == TRANSMITTER) {
    write_SET(application->fileDescriptor);
    int resent_times_open = 0;
    while (resent_times_open < 3) {
        if (!read_UA(application->fileDescriptor)) {
            write_SET(application->fileDescriptor);
            resent_times_open++;
        }
        else
            break;
    }
    if (resent_times_open >= 3)
        return -1;
}
else if (application->status == RECEIVER) {
    read_SET(application->fileDescriptor);
    write_UA(*application);
}

return application->fileDescriptor;
}

int llwrite(int fd, unsigned char* buffer, int length) {
    int j = 0;
    unsigned char stuffed_msg[MAX_SIZE * 2];

    // Prints the Data Sent
    printf("Sent:\n");
    for (int k = 0 ; k < length; k++) {
        printf("DATA[%d] = 0x%02x\n", k, buffer[k]);
    }
}

```

```
}
printf("\n");

// Calculate BCC2 with Data
unsigned char BCC2 = calculateBCC2All(buffer, length);

// Byte stuffing in Data
for (int i = 0; i < length; i++) {
    // 0x7e -> 0x7d 0x5e (FLAG byte)
    // 0x7d -> 0x7d 0x5d (ESC byte)
    if (buffer[i] == FLAG) {
        stuffed_msg[j] = ESC;
        stuffed_msg[j + 1] = 0x5e; // FLAG^0x20
        j += 2;
    }
    else if (buffer[i] == ESC) {
        stuffed_msg[j] = ESC;
        stuffed_msg[j + 1] = 0x5d; // ESC^0x20
        j += 2;
    }
    else {
        stuffed_msg[j] = buffer[i];
        j++;
    }
}

// Byte stuffing of BCC2
if (BCC2 == FLAG) {
    stuffed_msg[j] = ESC;
    stuffed_msg[j + 1] = (FLAG ^ 0x20); // 0x5e
    j += 2;
}
else if (BCC2 == ESC) {
    stuffed_msg[j] = ESC;
    stuffed_msg[j + 1] = (ESC ^ 0x20); // 0x5d
    j += 2;
}
else {
    stuffed_msg[j] = BCC2;
    j++;
}

// Adds the first 4 special bytes (F, A, C, BCC1)
int ind = 4, k = 0;

if(Ns_Enviado_Write == 0) {
    sprintf(buffer, "%c%c%c%c", FLAG, A_Sender_Receiver, C_I0, BCC_C_I0);
}
else {
    sprintf(buffer, "%c%c%c%c", FLAG, A_Sender_Receiver, C_I1, BCC_C_I1);
}

while (k < j) {
    buffer[ind] = stuffed_msg[k];
    ind++;
    k++;
}
```

```

}

// Adds BCC2 to original Data, right before last FLAG
buffer[ind] = FLAG;
ind++;
length = ind;

// Write I-frame to the port
int b = 0;
while (b < length + 6) {
    write(fd, &buffer[b], 1);
    b++;
}
t++;
// Receives RR or REJ answer
int received_NS;
int received_RR = read_RR(fd, &received_NS);
if ((!received_RR) || (received_NS == Ns_Enviado_Write)) {
    int resent_times_write = 0;
    while (resent_times_write < 3) {
        printf("Resending Frame...\n\n");
        // Re-Write I-frame to the port
        int b = 0;
        while (b < length + 6) {
            write(fd, &buffer[b], 1);
            b++;
        }

        if ((!read_RR(fd, &received_NS))) {
            resent_times_write++;
        }
        else if (received_NS != Ns_Enviado_Write)
            break;
    }
    if (resent_times_write >= 3)
        return -1;
}

// If the value is different, change Ns.
if (received_NS != Ns_Enviado_Write) { // Reader asked for next frame (received RR),
    change Ns
    Ns_Enviado_Write = received_NS;
}

return length;
}

int llread(int fd, unsigned char* buffer) {
    erro++;

    enum current_state DATA_state = start;
    int j = 0;
    unsigned char stuffed_msg[128];

    // Reads the Packet Received
    int index = 0;

```



```
while (DATA_state != stop) {
    read(fd, &stuffed_msg[index], 1);

    index = process_DATA(stuffed_msg, index, &DATA_state);

    printf("\n");
}

// Adds initial FLAG, A, C, BCC1 bytes
memset(buffer, 0, sizeof (buffer));
for (int i = 0; i < 4; i++) {
    buffer[j] = stuffed_msg[i];
    j++;
}

// Check BCC1
unsigned char BCC1 = (stuffed_msg[1] ^ stuffed_msg[2]);
if(Ns_Recebido_Read == 0) {
    if (BCC1 != BCC_C_I0) {
        printf("BCC1 ERROR\n");
        return -1;
    }
}
else {
    if (BCC1 != BCC_C_I1) {
        printf("BCC1 ERROR\n");
        return -1;
    }
}

for (int i = 4; i < index; i++) {
    // 0x7d 0x5e --> 0x7e (FLAG byte)
    // 0x7d 0x5d --> 0x7d (ESC byte)
    if(stuffed_msg[i] == ESC) {
        if (stuffed_msg[i + 1] == (FLAG ^ 0x20)) { // 0x5e
            buffer[j] = FLAG;
            i++;
            j++;
        }
        else if (stuffed_msg[i + 1] == (ESC ^ 0x20)) { // 0x5d
            buffer[j] = ESC;
            i++;
            j++;
        }
    }
    else {
        buffer[j] = stuffed_msg[i];
        j++;
    }
}

// Return only the DATA, remove the special bytes
unsigned char frame[128];
for (int k = 0 ; k < j; k++) {
    frame[k] = buffer[k];
}
```

```
// Sends RR answer
unsigned char BCC2 = calculateBCC2(buffer, j - 2);

if (BCC2 != buffer[j-2]) {
    printf("BCC2 ERROR. Asking Emissor to resend the packet...\n");

    write_REJ(fd, Ns_Recebido_Read);
    return -1;
}

memset(buffer, 0, sizeof (buffer));
for (int i = 0; i < j - 6; i++) {
    buffer[i] = frame[i + 4];
}

// Prints the Data received
printf("Received:\n");
for (int i = 0 ; i < j - 6; i++) {
    printf("DATA[%d] = 0x%02x\n", i, buffer[i]);
}
printf("\n");

// If received Ns is the same as the Ns sent by the Writer, change its value. Else,
// ignore the message. Send Ns anyway.
if(Ns_Recebido_Read == Ns_Enviado_Write) {
    Ns_Enviado_Write ^= 1;
}
else {
    j = 0;
}
write_RR(fd, Ns_Enviado_Write);

return j - 6;
}

int llclose(struct applicationLayer *application) {
    if (application->status == TRANSMITTER) {
        write_DISC(*application);
        read_DISC(application->fileDescriptor);
        write_UA(*application);
        return 0;
    }
    else if (application->status == RECEIVER) {
        read_DISC(application->fileDescriptor);
        write_DISC(*application);
        read_UA(application->fileDescriptor);
        return 0;
    }
    return -1;
}
```

messages.h

```
// ----- Check BCC2 Functions -----

unsigned char calculateBCC2All(unsigned char *message, int sizeMessage);

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

// ----- Input/Output Messages -----

struct applicationLayer;

void write_SET(int fd);

void read_SET(int fd);

void write_UA(struct applicationLayer app);

int read_UA(int fd); // TRUE if UA was received, FALSE otherwise

void write_DISC(struct applicationLayer app);

void read_DISC(int fd);

void write_RR(int fd, int Ns);

void write_REJ(int fd, int Ns);

int read_RR(int fd, int* received_NS); // TRUE if RR was received, and sets received_NS
    value

// -----
```

messages.c

```
#include <stdio.h>
#include <unistd.h>

#include "messages.h"
#include "const_defines.h"
#include "state_machines.h"
#include "llfunctions.h"

unsigned char SET[5] = {FLAG, A_Sender_Receiver, C_SET, BCC_SET, FLAG};
unsigned char UA_Sender_Receiver[5] = {FLAG, A_Sender_Receiver, C_UA,
    BCC_UA_Sender_Receiver, FLAG};
unsigned char UA_Receiver_Sender[5] = {FLAG, A_Receiver_Sender, C_UA,
    BCC_UA_Receiver_Sender, FLAG};
unsigned char DISC_Sender_Receiver[5] = {FLAG, A_Sender_Receiver, C_DISC,
    BCC_DISC_Sender_Receiver, FLAG};
unsigned char DISC_Receiver_Sender[5] = {FLAG, A_Receiver_Sender, C_DISC,
    BCC_DISC_Receiver_Sender, FLAG};
unsigned char DATA[128];
```

```
enum current_state SET_state = start;
enum current_state UA_state = start;
enum current_state DISC_state = start;
enum current_state RR_state = start;

unsigned char calculateBCC2All(unsigned char *message, int sizeMessage) {
    unsigned char BCC2 = message[0];
    for (int i = 1; i < sizeMessage; i++) {
        BCC2 ^= message[i];
    }

    return BCC2;
}

unsigned char calculateBCC2(unsigned char *message, int sizeMessage) {
    unsigned char BCC2 = message[4];
    for (int i = 5; i < sizeMessage; i++) {
        BCC2 ^= message[i];
    }

    return BCC2;
}

void write_SET(int fd) {
    int i = 0;
    while (i < 5) {
        write(fd, &SET[i], 1);
        i++;
    }

    printf("Sent: SET = 0x%02x 0x%02x 0x%02x 0x%02x 0x%02x \n", SET[0], SET[1], SET[2],
        SET[3], SET[4]);
}

void read_SET(int fd) {
    unsigned char SET_read[5];
    int i = 0;

    SET_state = start;
    while (SET_state != stop) {
        read(fd, &SET_read[i], 1);

        i = process_SET(SET_read[i], &SET_state);
    }

    printf("Received: SET = 0x%02x 0x%02x 0x%02x 0x%02x 0x%02x \n", SET_read[0], SET_read[1],
        SET_read[2], SET_read[3], SET_read[4]);
}

void write_UA(struct applicationLayer app) {
    int i = 0;
    while (i < 5) {
        if(app.status == RECEIVER) {
            write(app.fileDescriptor, &UA_Sender_Receiver[i], 1);
        }
        else {

```

```
    write(app.fileDescriptor, &UA_Receiver_Sender[i], 1);
}

i++;
}

if(app.status == RECEIVER) {
    printf("Sent: UA = 0x%02x 0x%02x 0x%02x 0x%02x 0x%02x \n", UA_Sender_Receiver[0],
        UA_Sender_Receiver[1], UA_Sender_Receiver[2], UA_Sender_Receiver[3],
        UA_Sender_Receiver[4]);
}
else printf("Sent: UA = 0x%02x 0x%02x 0x%02x 0x%02x 0x%02x \n", UA_Receiver_Sender[0],
    UA_Receiver_Sender[1], UA_Receiver_Sender[2], UA_Receiver_Sender[3],
    UA_Receiver_Sender[4]);
}

int read_UA(int fd) {
    unsigned char UA_read[5];
    int i = 0;

    int res;
    UA_state = start;
    while (UA_state != stop) {
        if ((res = read(fd, &UA_read[i], 1)) == 0) { // Didn't receive UA after timeout
            return FALSE;
        }

        i = process_UA(UA_read[i], &UA_state);
    }

    printf("Received: UA = 0x%02x 0x%02x 0x%02x 0x%02x 0x%02x \n", UA_read[0], UA_read[1],
        UA_read[2], UA_read[3], UA_read[4]);
    return TRUE;
}

void write_DISC(struct applicationLayer app) {
    int i = 0;
    while (i < 5) {
        if(app.status == TRANSMITTER) {
            write(app.fileDescriptor, &DISC_Sender_Receiver[i], 1);
        }
        else {
            write(app.fileDescriptor, &DISC_Receiver_Sender[i], 1);
        }

        i++;
    }

    if(app.status == TRANSMITTER) {
        printf("Sent: DISC = 0x%02x 0x%02x 0x%02x 0x%02x 0x%02x \n", DISC_Sender_Receiver[0],
            DISC_Sender_Receiver[1], DISC_Sender_Receiver[2], DISC_Sender_Receiver[3],
            DISC_Sender_Receiver[4]);
    }
    else {
```

```
    printf("Sent: DISC = 0x%02x 0x%02x 0x%02x 0x%02x 0x%02x \n", DISC_Receiver_Sender[0],
        DISC_Receiver_Sender[1], DISC_Receiver_Sender[2], DISC_Receiver_Sender[3],
        DISC_Receiver_Sender[4]);
}
}

void read_DISC(int fd) {
    unsigned char DISC_read[5];
    int i = 0;

    DISC_state = start;
    while (DISC_state != stop) {
        read(fd, &DISC_read[i], 1);

        i = process_DISC(DISC_read[i], &DISC_state);
    }

    printf("Received: DISC = 0x%02x 0x%02x 0x%02x 0x%02x 0x%02x \n", DISC_read[0],
        DISC_read[1], DISC_read[2], DISC_read[3], DISC_read[4]);
}

void write_RR(int fd, int Ns) {
    unsigned char RR[5] = { FLAG, A_Sender_Receiver, C_RR(Ns), BCC_RR(Ns), FLAG };
    int i = 0;
    while (i < 5) {
        write(fd, &RR[i], 1);
        i++;
    }

    printf("Sent: RR = 0x%02x 0x%02x 0x%02x 0x%02x 0x%02x \n\n", RR[0], RR[1], RR[2], RR[3],
        RR[4]);
}

void write_REJ(int fd, int Ns) {
    unsigned char REJ[5] = { FLAG, A_Sender_Receiver, C_REJ(Ns), BCC_REJ(Ns), FLAG };
    int i = 0;
    while (i < 5) {
        write(fd, &REJ[i], 1);
        i++;
    }

    printf("Sent: REJ = 0x%02x 0x%02x 0x%02x 0x%02x 0x%02x \n\n", REJ[0], REJ[1], REJ[2],
        REJ[3], REJ[4]);
}

int read_RR(int fd, int* received_NS) {
    unsigned char RR_read[5];
    int i = 0, res = 0;

    RR_state = start;
    while (RR_state != stop) {
        if ((res = read(fd, &RR_read[i], 1)) == 0) { // Didn't receive RR or REJ after timeout
            return FALSE;
        }

        i = process_RR_REJ(RR_read[i], &RR_state);
    }
}
```

```
}

if (((RR_read[2] == C_REJ(0)) || (RR_read[2] == C_REJ(1))) && ((RR_read[3] == BCC_REJ(0))
    || (RR_read[3] == BCC_REJ(1)))) {
    printf("Received: REJ = 0x%02x 0x%02x 0x%02x 0x%02x 0x%02x \n\n", RR_read[0],
        RR_read[1], RR_read[2], RR_read[3], RR_read[4]);
    return TRUE;
}

printf("Received: RR = 0x%02x 0x%02x 0x%02x 0x%02x 0x%02x \n\n", RR_read[0], RR_read[1],
    RR_read[2], RR_read[3], RR_read[4]);

*received_NS = (RR_read[2] & 0x80 ? 1 : 0);

return TRUE;
}
```

state_machines.h

```
// ----- State Machines Functions -----

enum current_state;

int process_SET(char received, enum current_state *state);

int process_UA(char received, enum current_state *state);

int process_DISC(char received, enum current_state *state);

int process_DATA(char* message, int index, enum current_state *state);

int process_RR_REJ(unsigned char received, enum current_state *state);

// -----
```

state_machines.c

```
#include "state_machines.h"
#include "const_defines.h"
#include "llfunctions.h"
#include <stdio.h>

extern int Ns_Enviado_Write;
extern int Ns_Recebido_Read;

int Ns = -1;

int process_SET(char received, enum current_state *state) {
    switch(*state) {
        case start:
            if (received == FLAG) {
                *state = flag_rcv;
                return 1;
            }
            break;
        case flag_rcv:
            if (received == FLAG) {
                *state = flag_rcv;
                return 1;
            }
            else if (received == A_Sender_Receiver) {
                *state = a_rcv;
                return 2;
            }
            else *state = start;
            break;
        case a_rcv:
            if (received == FLAG) {
                *state = flag_rcv;
                return 1;
            }
            else if (received == C_SET) {
```



```
        *state = c_rcv;
        return 3;
    }
    else *state = start;
    break;
case c_rcv:
    if (received == FLAG) {
        *state = flag_rcv;
        return 1;
    }
    else if (received == BCC_SET) {
        *state = bcc_ok;
        return 4;
    }
    else *state = start;
    break;
case bcc_ok:
    if (received == FLAG) {
        *state = stop;
    }
    else *state = start;
default:
    break;
}
return 0;
}

int process_UA(char received, enum current_state *state) {
    switch(*state) {
        case start:
            if (received == FLAG) {
                *state = flag_rcv;
                return 1;
            }
            break;
        case flag_rcv:
            if (received == FLAG) {
                *state = flag_rcv;
                return 1;
            }
            else if (received == A_Sender_Receiver || received == A_Receiver_Sender) {
                *state = a_rcv;
                return 2;
            }
            else *state = start;
            break;
        case a_rcv:
            if (received == FLAG) {
                *state = flag_rcv;
                return 1;
            }
            else if (received == C_UA) {
                *state = c_rcv;
                return 3;
            }
            else *state = start;
```

```
        break;
    case c_rcv:
        if (received == FLAG) {
            *state = flag_rcv;
            return 1;
        }
        else if (received == BCC-UA_Sender_Receiver || received == BCC-UA_Receiver_Sender) {
            *state = bcc_ok;
            return 4;
        }
        else *state = start;
        break;
    case bcc_ok:
        if (received == FLAG) {
            *state = stop;
        }
        else *state = start;
    default:
        break;
}
return 0;
}

int process_DISC(char received, enum current_state *state) {
    switch(*state) {
        case start:
            if (received == FLAG) {
                *state = flag_rcv;
                return 1;
            }
            break;
        case flag_rcv:
            if (received == FLAG) {
                *state = flag_rcv;
                return 1;
            }
            else if (received == A_Sender_Receiver || received == A_Receiver_Sender) {
                *state = a_rcv;
                return 2;
            }
            else *state = start;
            break;
        case a_rcv:
            if (received == FLAG) {
                *state = flag_rcv;
                return 1;
            }
            else if (received == C_DISC) {
                *state = c_rcv;
                return 3;
            }
            else *state = start;
            break;
        case c_rcv:
            if (received == FLAG) {
                *state = flag_rcv;
            }
        }
    }
}
```

```
        return 1;
    }
    else if (received == BCC_DISC_Sender_Receiver || received ==
        BCC_DISC_Receiver_Sender) {
        *state = bcc_ok;
        return 4;
    }
    else *state = start;
    break;
case bcc_ok:
    if (received == FLAG) {
        *state = stop;
    }
    else *state = start;
default:
    break;
}
return 0;
}

int process_DATA(char* message, int index, enum current_state *state) {
    unsigned char received = message[index];
    switch(*state) {
        case start:
            if (received == FLAG) {
                *state = flag_rcv;
                return 1;
            }
            break;
        case flag_rcv:
            if (received == FLAG) {
                *state = flag_rcv;
                return 1;
            }
            else if (received == A_Sender_Receiver) {
                *state = a_rcv;
                return 2;
            }
            else *state = start;
            break;
        case a_rcv:
            if (received == FLAG) {
                *state = flag_rcv;
                return 1;
            }
            else if (received == C_I0) {
                *state = c_rcv;
                Ns_Recebido_Read = 0;
                return 3;
            }
            else if (received == C_I1) {
                Ns_Recebido_Read = 1;
                *state = c_rcv;
                return 3;
            }
            else *state = start;
```

```
        break;
    case c_rcv:
        if (received == FLAG) {
            *state = flag_rcv;
            return 1;
        }
        else if ((received == BCC_C_I0) && (Ns_Recebido_Read == 0)) {
            *state = data_rcv;
            return 4;
        }
        else if ((received == BCC_C_I1) && (Ns_Recebido_Read == 1)) {
            *state = data_rcv;
            return 4;
        }
        else *state = start;
        break;
    case data_rcv:
        if (received == FLAG && message[index - 1] != ESC) {
            *state = stop;
        }
        index++;
        return index;
    default:
        break;
}
return 0;
}

int process_RR_REJ(unsigned char received, enum current_state *state) {
    switch(*state) {
        case start:
            if (received == FLAG) {
                *state = flag_rcv;
                return 1;
            }
            break;
        case flag_rcv:
            if (received == FLAG) {
                *state = flag_rcv;
                return 1;
            }
            else if (received == A_Sender_Receiver) {
                *state = a_rcv;
                return 2;
            }
            else *state = start;
            break;
        case a_rcv:
            if (received == FLAG) {
                *state = flag_rcv;
                return 1;
            }
            else if ((received == C_RR(0)) || (received == C_RR(1)) || (received == C_REJ(0)) ||
                    (received == C_REJ(1))) {
                *state = c_rcv;
                return 3;
            }
    }
}
```

```
    }
    else *state = start;
    break;
case c_rcv:
    if (received == FLAG) {
        *state = flag_rcv;
        return 1;
    }
    else if ((received == BCC_RR(0)) || (received == BCC_RR(1)) || (received ==
        BCC_REJ(0)) || (received == BCC_REJ(1))) {
        *state = bcc_ok;
        return 4;
    }
    else *state = start;
    break;
case bcc_ok:
    if (received == FLAG) {
        *state = stop;
    }
    else *state = start;
default:
    break;
}
return 0;
}
```

noncanonical.c

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

#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 <math.h>

#include "const_defines.h"
#include "llfunctions.h"

#define _POSIX_SOURCE 1 /* POSIX compliant source */

volatile int STOP=FALSE;

extern struct termios oldtio;

int main(int argc, char** argv)
{
    int c, res;
    char buf[255];

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

    struct applicationLayer application;

    application.status = RECEIVER;
    strncpy(application.port, argv[1], sizeof(application.port));

    if (llopen(&application) < 0) {
        printf("LLOPEN() failed\n");
        exit(2);
    }

    printf("LLOPEN() done successfully\n\n");

    // Read Control Start Packet
    printf("-- Start Control Packet --\n");
    unsigned char start_packet[128];
    if ((res = llread(application.fileDescriptor, start_packet)) < 0) {
        printf("LLREAD() failed\n");
        exit(3);
    }
}
```

```
// Check if the packet received was the Control Start Packet (C = 2)
if ((long int) start_packet[0] != 2) {
    printf("Received a wrong Start Packet (C != 2)");
    exit(4);
}

// Check if type of first parameter is the file size (T = 0)
if ((long int) start_packet[1] != 0) {
    printf("First Parameter is not File Size. (T != 0)");
    exit(4);
}

// Process size of file received in Control Start Packet
int size_digits = (int) start_packet[2];
long int size = 0;
for (int i = 0; i < size_digits; i++) {
    int pow = 1, n = size_digits - 1 - i;
    while (n > 0) {
        pow *= 10;
        n--;
    }
    size += (start_packet[i + 3] - 48) * pow;
}

// Check if type of second parameter is the file name (T = 1)
if ((long int) start_packet[size_digits + 3] != 1) {
    printf("Second Parameter is not File Name. (T != 1)");
    exit(4);
}

// Process name of file received in Control Start Packet
int name_bytes = (int) start_packet[size_digits + 4];
char file_name[128];
for (int j = 0; j < name_bytes; j++) {
    file_name[j] = start_packet[size_digits + 5 + j];
}

// Read Data Packets
FILE *file = fopen(argv[2], "wb+");
unsigned char data_packet[128];
while(TRUE) {
    if ((res = llread(application.fileDescriptor, data_packet)) < 0) {
        continue; // Re-read Data Packet
    }
    if ((long int) data_packet[0] == 3) // Received Control End Packet
        break;
    // Send the Data Packet received to the file
    int K = 256 * data_packet[2] + data_packet[3];
    for (int i = 0 ; i < K; i++) {
        fwrite((void *)&data_packet[i + 4], 1, 1, file);
    }
}

fclose(file);
```

```
printf("The received file, with original name %s, has %ld bytes. Copied to %s.\n\n",
      file_name, size, argv[2]);

if (llclose(&application) < 0) {
    printf("LLCLOSE() failed\n");
    exit(5);
}

printf("LLCLOSE() done successfully\n");

sleep(1);

tcsetattr(application.fileDescriptor, TCSANOW, &oldtio);
close(application.fileDescriptor);
return 0;
}
```

writenoncanonical.c

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

#include <termios.h>
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <unistd.h>
#include <string.h>
#include <sys/types.h>
#include <sys/stat.h>
#include <math.h>

#include "const_defines.h"
#include "llfunctions.h"

#define MODEMDEVICE "/dev/ttyS1"
#define _POSIX_SOURCE 1 /* POSIX compliant source */

volatile int STOP=FALSE;

extern struct termios oldtio;

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 input_file\n\tex: nserial /dev/ttyS1 pinguim.gif\n");
        exit(1);
    }

    struct applicationLayer application;

    application.status = TRANSMITTER;
    strncpy(application.port, argv[1], sizeof(application.port));

    if (llopen(&application) < 0) {
        printf("LLOPEN() failed\n");
        exit(2);
    }

    printf("LLOPEN() done successfully\n\n");

    // Read the Data Array from the file
    FILE *f;
    struct stat metadata;
    unsigned char *fileData;

    if ((f = fopen(argv[2], "rb")) == NULL) {
        perror("Error opening file!");
        exit(3);
    }
    stat(argv[2], &metadata);
    long int sizeFile = metadata.st_size;
```

```
printf("This file has %ld bytes \n\n", sizeFile);

fileData = (unsigned char *)malloc(sizeFile);

fread(fileData, sizeof(unsigned char), sizeFile, f);

// -----

// Calculate the number of Data Packets to send
int packet_number = sizeFile / MAX_SIZE;
packet_number += ((sizeFile % MAX_SIZE) ? 1 : 0);

// ----- Create Start Control Packet -----
unsigned char start_packet[128];
long int digits_V = log10l(sizeFile) + 1;
start_packet[0] = 2;

// Add file size info to Start Control Packet
start_packet[1] = 0;
start_packet[2] = digits_V;
unsigned char V_string[64];
sprintf(V_string, "%ld", sizeFile);
for (int i = 0 ; i < digits_V; i++) {
    start_packet[i + 3] = (int) V_string[i];
}

// Add file name info to Start Control Packet
start_packet[digits_V + 3] = 1;
start_packet[digits_V + 4] = strlen(argv[2]);
for (int j = 0; j < strlen(argv[2]); j++) {
    start_packet[digits_V + 5 + j] = argv[2][j];
}

int start_length = digits_V + 5 + strlen(argv[2]);
// -----

// Send Start Control Packet
printf("-- Start Control Packet --\n");
if (llwrite(application.fileDescriptor, start_packet, start_length) < 0) {
    printf("LLWRITE() failed\n");
    exit(4);
}

// Send Data Packets
unsigned char data_packet[128];
long int bytes_to_process = sizeFile;
int data_ind = 0;
for (int i = 1; i <= packet_number; i++) {
    memset(data_packet, 0, sizeof (data_packet));
    int K = MIN(MAX_SIZE, bytes_to_process);
    data_packet[0] = 1;
    data_packet[1] = i % 255;
    data_packet[2] = K / 256;
    data_packet[3] = K % 256;
    bytes_to_process -= K;
    for (int j = 0; j < K; j++) {
```

```
    data_packet[j + 4] = fileData[data_ind];
    data_ind++;
}
if (llwrite(application.fileDescriptor, data_packet, 4 + K) < 0) {
    printf("LLWRITE() failed\n");
    exit(4);
}
}

// Create End Control Packet
unsigned char end_packet[128];
end_packet[0] = 3;
end_packet[1] = 0;
end_packet[2] = digits_V;
digits_V = log10l(sizeFile) + 1;
sprintf(V_string, "%ld", sizeFile);
for (int i = 0 ; i < digits_V; i++) {
    end_packet[i + 3] = V_string[i];
}

// Send End Control Packet
printf("-- End Control Packet --\n");
if (llwrite(application.fileDescriptor, end_packet, 3 + digits_V) < 0) {
    printf("LLWRITE() failed\n");
    exit(4);
}

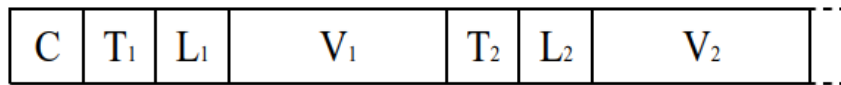
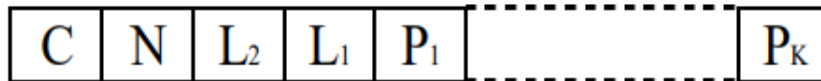
if (llclose(&application) < 0) {
    printf("LLCLOSE() failed\n");
    exit(5);
}

printf("LLCLOSE() done successfully\n");

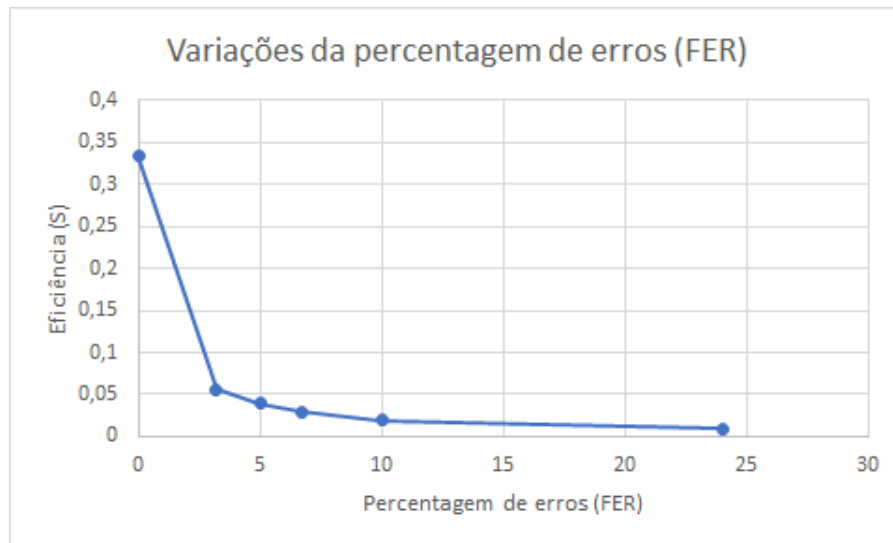
sleep(1);

if (tcsetattr(application.fileDescriptor, TCSANOW, &oldtio) == -1) {
    perror("tcsetattr");
    exit(-1);
}

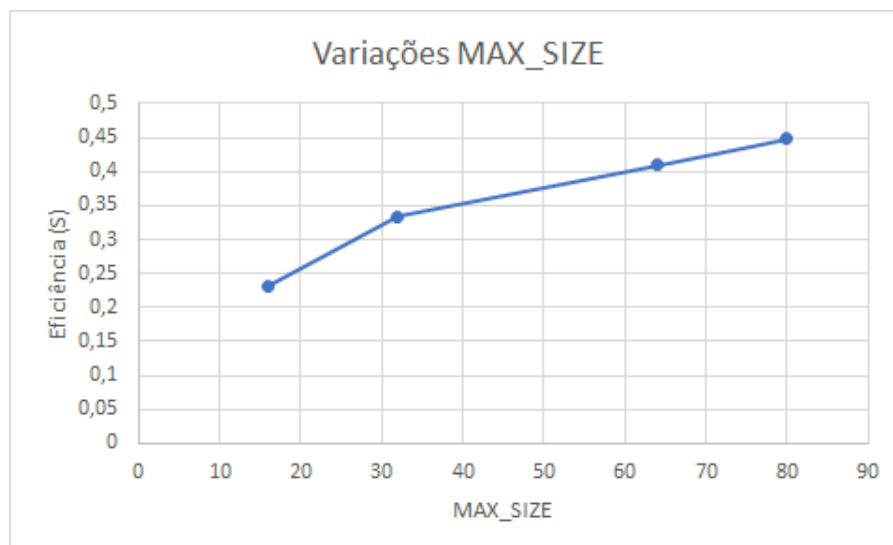
close(application.fileDescriptor);
return 0;
}
```

Anexo IIFigura 1: *Trama de controlo***Anexo III**Figura 2: *Pacotes de aplicação***Anexo IV**Figura 3: *Trama de informação*

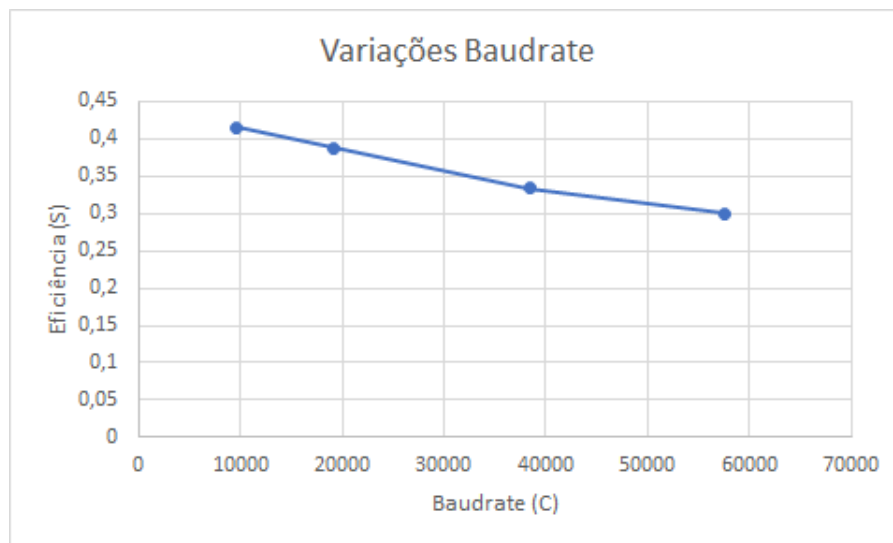
Anexo V

Figura 4: *Variação do FER*

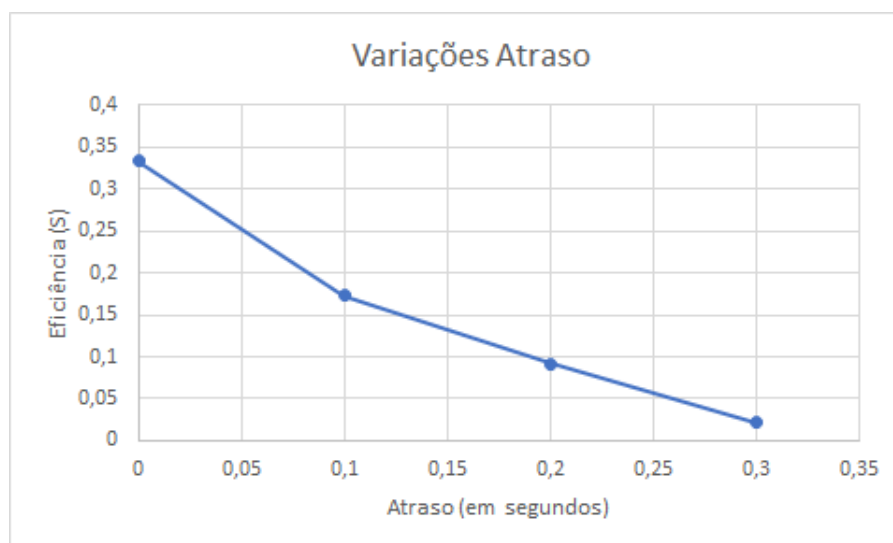
Anexo VI

Figura 5: *Variação do max size*

Anexo VII

Figura 6: *Variação da baudrate*

Anexo VIII

Figura 7: *Variação dos atrasos de propagação*