

**Trabalho Laboratorial nº1:**

**Ligação de Dados**

**MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA INFORMÁTICA E COMPUTAÇÃO**

Turma 3 Grupo x:

Antero Gandra, up201607926

Francisco Moreira, up201607929

Sumário

Realizado no contexto da unidade curricular de Redes de Computadores, foi requisitado aos alunos a implementação de um protocolo de comunicação assíncrona para a transmissão de um ficheiro através de uma porta série RS-232.

Introdução

Este projeto tem como objectivo a implementação de uma aplicação na linguagem C com o intuito de transmitir um ficheiro pela porta série entre 2 computadores. Mais relevante que apenas esta transmissão é a elaboração de um protocolo de ligação eficiente e robusto para lidar com possíveis erros nesta transmissão. Além disso é desejavel que a aplicação seja bastante abstrata de modo que algumas funções e funcionalidades possam ser usadas para outros fins que não apenas a transferência de um ficheiro. Por fim pretende-se analisar a solução obtida, tal é o objectivo deste relatório.

O relatório encontra-se dividido nas seguintes secções:

* **Arquitetura** – onde se descrevem os diferentes blocos funcionais e interfaces;
* **Estrutura do código** – onde se descrevem as APIs, as principais estruturas de dados, as principais funções e a relação das funções com a arquitetura);
* **Casos de uso principais** - onde se identificam os casos principais de uso e as sequências de chamada de funções para cada;
* **Protocolo de ligação lógica**- onde se identificam os principais aspetos funcionais e se descreve a sua estratégia de implementação;
* **Protocolo de aplicação** - onde se identificam os principais aspetos funcionais e se descreve a sua estratégia de implementação;
* **Validação** - onde se descrevem os testes efetuados;
* **Eficiência do protocolo de ligação de dados**- onde fazemos uma caraterização estatística da eficiência do protocolo, com recurso a medidas sobre o código desenvolvido.
* **Conclusões** - onde resumimos a informação apresentada nas secções anteriores e refletimos sobre os objetivos de aprendizagem alcançados

Arquitetura

**Camadas de protocolo**

O trabalho está organizado em duas camadas – *layers* – que permitem o correto funcionamento da aplicação: a camada do *protocolo de ligação de dados* e a camada de *aplicação*, que estão implementados em diferentes ficheiros *source* e *header*. Os ficheiros link.ce link.h representam a camada de ligação de dados enquanto os ficheiros application.c e application.h representam a camada de aplicação.

A camada do protocolo de ligação de dados contém funções genéricas que relacionadas com a porta série, tratando do estabelecimento da ligação e da transferência de dados e deteção de erros.

A camada de aplicação por outro lado contém funções mais especificas relacionadas, neste caso, com a transferência de um ficheiro pela porta serie.

**Interface e opções**

A interface é proporcionada pelos ficheiros da camada da aplicação que indica informação sobre o estado da transferência do ficheiro. No entanto, a camada de ligação de dados pode por vezes colocar informação na interface quando ocorrem erros.

As opções de ligação como *baud rate, timeout, timeout tries* e tamanho máximo da mensagem podem ser alteradas no ficheiro settings.txt. Adicionalmente existe uma opção neste ficheiro que indica a possibilidade de ser gerado um erro aleatório em cada mensagem transferida. Esta opção foi usada para testar e comparar a eficiência do protocolo, deve obviamente ser colocada a 0 para uso real.

Estrutura do código

O código encontra-se dividido em 3 ficheiros correspondentes às 2 camadas da arquitetura e um outro ficheiro alarme.c que trata de processar timeouts gerados pelo sinal SIGALRM do sistema.

Naturalmente cada um destes ficheiros possui um header file correspondente onde estão declaradas as funções e estruturas de dados usadas, assim como algumas macros.

**Ligação de dados (link.c e link.h):**

* **Funções**:
  + **llopen**: estabelece a ligação entre o ‘writer’ e o ‘reader’.
  + **llclose**: fecha a ligação e entre o ‘writer’ e o ‘reader’.
  + **llwrite**: envia uma mensagem e espera pela resposta.
  + **llread**: lê uma mensagem e verifica os erros.
  + **stuff**: realiza o stuffing das mensagens.
  + **destuff**: realiza o destuffing das mensagens.
  + **processBCC**: calcula o BCC.
  + **receiveMessage**: lê uma mensagem. (é chamada pelo llwrite).
  + **identifyMessageControl**: identifica se uma mensagem tem o tipo previsto.
  + **sendCommand**: prepara e envia um comando.
  + **sendMessage**: prepara e envia uma mensagem.
  + **printStats**: imprime na linha de comandos as estatisticas da ligação.
  + **statisticsSetup**: inicializa as estatisticas da ligação.
  + **connectionSettings**: lê as settings pretendidas para a ligação.
* **Estruturas de dados:**
  + **State**: Estados da máquina de estados
  + **Mode**: Modo da aplicação, ‘writer’ ou ‘reader’
  + **Control**: Tipo do comando de controlo
  + **MessageType**: Tipo de mensagem
  + **ErrorType**: Tipo de erro
  + **Data**: lista de caracteres e tamanho da informação, usado em Message
  + **Message**: Informação de uma mensagem
  + **Stats**: Estatisticas da ligação
  + **Settings**: Opções da ligação

**Aplicação (application.c e application.h):**

* **Funções**:
  + **main**: Inicio do programa e processamento dos parâmetros
  + **sendFile**: Envio de um ficheiro
  + **receiveFile**: Receção de um ficheiro
  + **receiveControl**: Receção de um pacote de controlo
  + **receiveData**: Receção de um pacote de dados
  + **sendControl**: Envio de um pacote de controlo
  + **sendData**: Envio de um pacote de dados
  + **fileSize**: Lê o tamanho de um ficheiro
  + **openFile**: Abre um ficheiro
* **Estruturas de dados:**
  + **AppControlType**: Tipo de pacote
  + **Parameter**: Tipo de parâmetro no pacote de controlo (Size ou Name)

**Alarme (alarm.c e alarm.h):**

* **Funções**:
  + **alarmHandler**: Handler do alarme.
  + **setAlarm**: Configura o alarme.
  + **stopAlarm**: Para o alarme.

**Casos de uso principais**

Os casos de uso desta aplicação são a interface em que se escolhe o ficheiro e a porta série a usar e a transferência desse ficheiro.

Na interface o utilizador dá inicio à aplicação com os argumentos porta série e ficheiro a ser enviado. No caso do receptor apenas é necessária a porta série.

A transferência do ficheiro ocorre na seguinte sequência:

1. Configuração da ligação usando o ficheiro **settings.txt**
2. Recetor inicia-se com número da porta e fica à espera
3. Transmissor estabelece a ligação com o receptor
4. Transmissor envia os dados
5. Recetor recebe os dados e guarda num ficheiro
6. Ligação é terminada

**Protocolo de ligação lógica**

**Camada de ligação de dados**: camada baixo nível responsável pela interação direta com a porta série.

**As funcionalidades implementadas por esta camada são:**

* abertura e fecho da porta série;
* leitura e escrita de tramas de informação e controlo;
* criação de tramas de controlo;
* *byte* *stuffing* e *byte destuffing, framing* e *deframing* de uma trama;

**Funções implementadas:**

* **llread** - responsável pela leitura de informação através da porta série,

1. Aplica *destufffing* e *deframing*  na trama recebida.
2. **Se ocorrer um erro no *destuffing* ou na framediferente de *BCC2,***a trama é descartada e espera por uma nova.
3. **Se houver um erro no *BCC2***, a trama é descartada, o recetor envia uma trama de controlo REJ, apesar de continuar á espera de uma nova.
4. **Se a trama for recebida corretamente**, é retornada e o recetor envia uma trama de controlo tipo RR.

* **llwrite** - responsável pelo envio de informação através da Porta Série.

1. Recebe a mensagem a enviar da camada superior e aplica-lhe *framing* e *stuffing*.
2. Tenta escrever a trama e **se não receber** uma resposta RR durante um intervalo de tempo anteriormente definido, este reenvia a trama um determinado número de vezes.
3. Se não tiver sucesso retorna erro.

* **llopen** - responsável por abrir a ligação pela porta série com as configurações escolhidas e estabelecer a ligação com SET do ‘writer’.

Depois aguarda pela resposta UA do ‘reader’.

* **llclose** – responsável por finalizara ligação pela porta série trocando comandos DISC entre o writer e o reader e um UA do writer para confirmar o fim da ligação. No fim as definições iniciais da porta série são repostas.
* **stuff** – que faz o *byte stuffing* da trama.
* **destuff** – que faz o *byte destuffing* da trama.
* **identifyMessageControl –** que verifica o tipo de uma mensagem de controlo.
* **receiveMessage –** que lê uma trama e faz o seu processamento, incluindo verificar todos os campos, fazer destuffing, verificar erros BCC e verificar tipo de mensagem por fim retornando uma estrutura de dados com a informação importante.
* **processBCC** **-** que recebe uma lista de caracteres e retorna o seu BCC respondente. É usada para depois comparar o BCC recebido e o esperado.
* **sendCommand –** que prepara e envia uma trama de controlo (Supervisão/Não Numerada).
* **sendMessage –** que prepara e envia uma trama com dados (Informação).
* **connectionSettings –** que abre o ficheiro de configurações ‘settings.txt’ e coloca essas configurações numa estrutura de dados usada pela camada lógica durante a sua execução.
* **statisticsSetup –** que inicializa as estatisticas a 0 e guarda o valor do tempo.
* **printStats –** que imprime no ecrã as estatísticas da ligação.

Protocolo de aplicação

**Camada de aplicação**: camada de alto nível que trata do envio e da receção do ficheiro fonte através do API fornecido pela camada da ligação de dados.

**As funcionalidades implementadas por esta camada são:**

* iniciar a ligação;
* **se for emissor**: ler o ficheiro fonte e dividi-lo em pacotes de dados;
* **se for recetor:** recompor o ficheiro fonte através de pacotes de dados;
* enviar e receber os pacotes;
* terminar a ligação.

Foi assim desenvolvido o API (application.c) que gere a interação dos pacotes de dados

**Em relação aos pacotes de dados:**

* **sendData** que cria e envia o pacote de dados (utilizando llwrite);
* **receiveData** que recolhe a informação do ficheiro original e recebe o pacote de dados (utilizando llread).

**Em relação aos pacotes de controlo:**

* **sendControl** que cria e envia o pacote de controlo (utilizando llwrite);
* **receiveControl** que recebe o pacote (utilizando llread).

**Outras:**

* **sendFile (emissor)** que inicia a ligação, lê o ficheiro fonte e divide em pacotes de dados, envia-os e termina a ligação. Utiliza 3 funções do API da ligação de dados: llopen, llwrite e llclose e API de pacotes.
* **receiveFile (recetor)** que inicia a ligação, lê os pacotes de dados, reconstrói o ficheiro fonte e termina a ligação. Utiliza 3 funções do API da ligação de dados: llopen, llread e llclose e API de pacotes.
* **openFile (emissor)** que abre o ficheiro pedido para ser enviado.
* **fileSize (emissor)** que retorna o tamanho de um ficheiro

Validação

Para validar do programa desenvolvido, garantindo, desta forma, que funcionava corretamente com o respetivo protocolo, foram realizados vários testes durante o desenvolvimento e demonstração do programa.

Foram testados vários ficheiros, de diferentes tipos e tamanhos e enviados com diferentes baudrates e tamanhos de pacotes de informação.

Também foram realizados testes de interrupção da comunicação na Porta Série e de introdução de erros através do curto-circuito existente nas portas.

Todos estes testes foram realizados no momento de avaliação, na presença do professor.

Eficiência do protocolo de ligação de dados

De forma a avaliar a eficiência do protocolo e tirar mais conclusões foram realizados vários testes como foi proposto. Todos os testes foram feitos fazendo a média de 3 medições para diminiuir desvios e irregularidas.

**- Variar FER**

Apartir destes gráficos podemos verificar que tal como esperado a eficiência do protocolo baixa drasticamente em caso de erros de BCC1 visto que o recetor não responde e o emissor tem de esperar pelo timeout. Além disso os erros de BCC2 não causam grande alteração da eficiência do protocolo visto que nestes erros a trama é reenviada imediatamente.

**- Variar T\_prop**

Como seria de esperar o atraso no processamento de cada trama faz diminuir muito a eficiência do protocolo.

**- Variar C(BaudRate)**

O aumento do BaudRate(C) faz aumentar a eficiência do protocolo visto que os dados são transmitidos mais rapidamente.

**- Variar tamanho dos pacotes(tramas I)**

De forma geral o aumento do tamanha da trama I faz aumentar a eficiência do protocolo até ao tamanho 512, no entanto aumentando para 1024 nota-se uma diminuição da eficiência. Isto poderá ocorrer porque o processamento dos dados demora mais tempo e tal como vimos anteriormente na variação de T\_prop isto faz diminuir a eficiência.

Em relação ao protocolo utilizado, a nossa aplicação baseia-se no protocolo *Stop and Wait* para controlo e recuperação de erros. Quando o emissor manda qualquer tipo de tramas fica à espera de uma resposta do emissor. Essa resposta poderá ser positiva ou negativa caso se verifiquem erros e assim o emissor saberá se é necessário reenviar a mesma trama. Para tratar duplicados é usada uma numeração das tramas que pode ser 0 ou 1.

Conclusões

O grupo considera que este projeto foi concluido com sucesso tendo produzido uma aplicação eficaz para a transferência de um ficheiro pela porta série mas também reforçado os seus conhecimentos sobre os procedimentos de mais baixo nível envolvidos nesta operação. Adicionalmente a noção de independência entre camadas no desenvolvimento desta aplicação foi bastante elucidativa e interessante.

Relativamente ao progresso do projeto é de notar que o facto do seu desenvolvimento necessitar de uma configuração de 2 computadores ligados por porta série dificultou bastante o rapido desenvolvimento deste. Nas primeiras semanas o grupo esteve dependente de progredir no projeto nas aulas práticas e em outros momentos na mesma sala do departamento. Apenas foi possível progredir efectivamente após configurar nos computadores próprios uma ligação de porta série simulada usando 2 máquinas virtuais.

Anexo I – Código fonte

alarm.h

#pragma once

#define TRUE 1

#define FALSE 0

extern int alarmFired;

void alarmHandler(int signal);

void setAlarm();

void stopAlarm();

alarm.c

#include <stdio.h>

#include <signal.h>

#include <unistd.h>

#include "alarm.h"

#include "link.h"

int alarmFired = FALSE;

void alarmHandler(int signal)

{

if (signal != SIGALRM)

return;

alarmFired = TRUE;

stats->timeouts++;

printf("Connection time out!\n");

//Set alarm again

alarm(settings->timeout);

}

void setAlarm()

{

//Setup

struct sigaction action;

action.sa\_handler = alarmHandler;

sigemptyset(&action.sa\_mask);

action.sa\_flags = 0;

sigaction(SIGALRM, &action, NULL);

//Set alarm

alarmFired = FALSE;

alarm(settings->timeout);

}

void stopAlarm()

{

//Setup

struct sigaction action;

action.sa\_handler = alarmHandler;

sigemptyset(&action.sa\_mask);

action.sa\_flags = 0;

sigaction(SIGALRM, &action, NULL);

//Block alarm

alarm(0);

}

application.h

#pragma once

typedef enum

{

CTRL\_START = 1,

CTRL\_DATA = 2,

CTRL\_END = 3

} AppControlType;

typedef enum

{

FILE\_SIZE,

FILE\_NAME

} Parameter;

FILE \*openFile(char \*fileName);

int fileSize(FILE \*file);

void sendControl(int fd, int cmd, char \*fileS, char \*fileName);

void sendData(int fd, int N, const char\* buffer, int length);

void sendFile(char \*fileName, int fd);

char\* receiveControl(int fd, int\* controlPackageType, int\* fileLength);

void receiveData(int fd, int\* N, char\*\* buf, int\* length);

void receiveFile(int fd);

application.c

#include <sys/types.h>

#include <sys/stat.h>

#include <fcntl.h>

#include <termios.h>

#include <stdio.h>

#include <unistd.h>

#include <stdlib.h>

#include <strings.h>

#include <string.h>

#include <limits.h>

#include "application.h"

#include "link.h"

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

{

//Random seed

srand(time(NULL));

//Incorrect argument number

if (argc < 2)

{

printf("Usage:\tnserial SerialPort file File\n\tex: 0 pinguim.gif\n");

exit(1);

}

//Get port

int portN = atoi(argv[1]);

//Incorrect port identifier

if (portN < 0 || portN > 3)

{

printf("Usage:\tnserial SerialPort file File\n\tex: 0 pinguim.gif\n");

exit(1);

}

//Proper port format

char port[11] = "/dev/ttyS";

strcat(port, argv[1]);

printf("Using port: %s\n", port);

//File to be sent (and Mode assignment)

Mode mode;

if (argc == 3)

{

mode = WRITER;

printf("File provided to be sent: %s\n", argv[2]);

}

else

{

mode = READER;

printf("No file provided, receiving\n");

}

//Setup Link Settings

connectionSettings(port, mode);

//Setup Statistics

statisticsSetup();

//File descriptor of connection

int fd;

//Open connection

fd = llopen();

//Send/Receive file

if (settings->mode == WRITER)

sendFile(argv[2], fd);

else

receiveFile(fd);

//Close connection

llclose(fd);

//Print Statistics

printStats();

return 0;

}

FILE \*openFile(char \*fileName)

{

//Open file

FILE \*file = fopen(fileName, "rb");

if (!file)

{

printf("ERROR: Could not open file, exiting...\n");

exit(ERROR);

}

return file;

}

int fileSize(FILE \*file)

{

//Save start position

long int currentPosition = ftell(file);

//End of file

if (fseek(file, 0, SEEK\_END) == -1)

{

printf("ERROR: Could not get file size.\n");

exit(ERROR);

}

//Size

long int size = ftell(file);

//Recover start position

fseek(file, 0, currentPosition);

return size;

}

void sendControl(int fd, int cmd, char \*fileS, char \*fileName)

{

//Package size

int packageS = strlen(fileS) + strlen(fileName) + 5;

//Setup package

unsigned char controlPackage[packageS];

int index = 0;

int i;

//Command

controlPackage[index++] = cmd;

//File size

controlPackage[index++] = FILE\_SIZE;

controlPackage[index++] = strlen(fileS);

for (i = 0; i < strlen(fileS); i++)

controlPackage[index++] = fileS[i];

//File name

controlPackage[index++] = FILE\_NAME;

controlPackage[index++] = strlen(fileName);

for (i = 0; i < strlen(fileName); i++)

controlPackage[index++] = fileName[i];

//Print information

if (cmd == CTRL\_START)

{

printf("File name: %s\n", fileName);

printf("File size: %s (bytes)\n", fileS);

}

//Send package

if (!llwrite(fd, controlPackage, packageS))

{

printf("ERROR: Could not send control package to link\n");

free(controlPackage);

exit(ERROR);

}

}

void sendData(int fd, int N, const char \*buffer, int length)

{

//Construct header

unsigned char C = CTRL\_DATA;

unsigned char L2 = length / 256;

unsigned char L1 = length % 256;

//Package size

int packageSize = 4 + length;

//Allocate all space

unsigned char \*package = (unsigned char \*)malloc(packageSize);

//Package Header

package[0] = C;

package[1] = N;

package[2] = L2;

package[3] = L1;

//Copy chunk to package

memcpy(&package[4], buffer, length);

//Write package

if (!llwrite(fd, package, packageSize))

{

printf("ERROR: Could not send data package to link\n");

free(package);

exit(ERROR);

}

free(package);

}

void sendFile(char \*fileName, int fd)

{

//Open file to be sent

FILE \*file = openFile(fileName);

//File size

int fileS = fileSize(file);

char fileSizeBuf[sizeof(int) \* 3 + 2];

snprintf(fileSizeBuf, sizeof fileSizeBuf, "%d", fileS);

//Start Packet

sendControl(fd, CTRL\_START, fileSizeBuf, fileName);

printf("Sending...\n");

//File buffer

int maxSize = settings->messageDataMaxSize;

char \*fileBuf = malloc(maxSize);

//Read chunks

int readBytes = 0, i = 0;

while ((readBytes = fread(fileBuf, sizeof(char), maxSize, file)) > 0)

{

//Send data packet

sendData(fd, (i++) % 255, fileBuf, readBytes);

//Reset file buffer

fileBuf = memset(fileBuf, 0, maxSize);

}

free(fileBuf);

//Close file

if (fclose(file) != 0)

{

printf("ERROR: Unable to close file.\n");

exit(ERROR);

}

//End Packet

sendControl(fd, CTRL\_END, "0", "");

printf("File successfully sent.\n");

}

char\* receiveControl(int fd, int \*controlPackageType, int \*fileLength)

{

//Read package

unsigned char \*package;

if (llread(fd, &package) < 0)

{

printf("ERROR: Could not read control package from link\n");

exit(ERROR);

}

//Control package type

\*controlPackageType = package[0];

//Check if it's end

if (\*controlPackageType == CTRL\_END)

return NULL;

//If not then extract information

int i = 0, index = 1, octs = 0;

for (i = 0; i < 2; i++)

{

int paramType = package[index++];

//Parameter is file size

if (paramType == FILE\_SIZE)

{

octs = (int)package[index++];

char \*length = malloc(octs);

memcpy(length, &package[index], octs);

\*fileLength = atoi(length);

free(length);

index+=octs;

}

//Parameter is file name

else if (paramType == FILE\_NAME)

{

octs = (int)package[index++];

char\* buf = malloc(octs);

memcpy(buf, &package[index], octs);

buf[octs] = '\0';

return buf;

}

}

return NULL;

}

void receiveData(int fd, int\* N, char\*\* buf, int\* length) {

    unsigned char\* package;

    //Read package

    int size = llread(fd, &package);

    if (size < 0) {

        printf("ERROR: Could not read data package from link\n");

        exit(ERROR);

    }

//Extract information

    int C = package[0];

    \*N = (unsigned char) package[1];

    int L2 = package[2];

    int L1 = package[3];

    //Check if it's Data

    if (C != CTRL\_DATA) {

        printf("ERROR: Wrong data package received, expected CTRL\_DATA\n");

        exit(ERROR);

    }

    //Size of file chunk

    \*length = L1 + 256 \* L2;

    //File chunk

    \*buf = malloc(\*length);

    //Copy to buffer

    memcpy(\*buf, &package[4], \*length);

    free(package);

}

void receiveFile(int fd)

{

//Receive control

int controlStart;

int fileSize;

char \*fileName = receiveControl(fd, &controlStart, &fileSize);

//Not start control package

if (controlStart != CTRL\_START)

{

printf("ERROR: Wrong control package received, expected CTRL\_START");

exit(ERROR);

}

//Create file

FILE \*file = fopen(fileName, "wb");

if (file == NULL)

{

printf("ERROR: Failed to create output\n");

exit(ERROR);

}

printf("Created output file: %s\n", fileName);

printf("File size: %d (bytes)\n", fileSize);

printf("Receiving...\n");

//Receive data

int total = 0, N = -1;

while (total != fileSize)

{

int lastN = N;

char \*fileBuf = NULL;

int length = 0;

//Receive data

receiveData(fd, &N, &fileBuf, &length);

//Check sequence

if (N != 0 && lastN + 1 != N)

{

printf("ERROR: Received sequence no. was %d instead of %d.\n", N, lastN + 1);

free(fileBuf);

exit(ERROR);

}

//Write to file

fwrite(fileBuf, sizeof(char), length, file);

free(fileBuf);

//Add to total

total += length;

}

//Close file

if (fclose(file) != 0)

{

printf("ERROR: Failed to close file\n");

exit(ERROR);

}

//Receive end control

int controlPackageTypeReceived = -1;

receiveControl(fd, &controlPackageTypeReceived, 0);

//Not end control package

if (controlPackageTypeReceived != CTRL\_END)

{

printf("ERROR: Wrong control package received, expected CTRL\_END");

exit(ERROR);

}

printf("File successfully received.\n");

}

link.h

#pragma once

#include <termios.h>

#include <time.h>

#define ERROR -1

typedef enum

{

START,

FLAG\_RCV,

A\_RCV,

C\_RCV,

BCC\_OK,

STOP

} State;

typedef enum

{

WRITER,

READER

} Mode;

typedef enum

{

C\_SET = 0x03,

C\_UA = 0x07,

C\_RR = 0x05,

C\_REJ = 0x01,

C\_DISC = 0x0B

} Control;

typedef enum

{

COMMAND,

DATA,

INVALID

} MessageType;

typedef enum

{

INPUT\_OUTPUT\_ERROR,

BCC1\_ERROR,

BCC2\_ERROR

} ErrorType;

struct Data

{

unsigned char \*message;

int size;

};

typedef struct

{

MessageType type;

ErrorType error;

Control control;

int ns;

int nr;

struct Data data;

} Message;

typedef struct

{

struct timespec startTime;

int sent;

int received;

int timeouts;

int sentRR;

int sentREJ;

int receivedRR;

int receivedREJ;

} Stats;

#define BIT(n) (0x01 << n)

typedef struct

{

char port[20];

Mode mode;

int baudRate;

int messageDataMaxSize;

int ns;

int timeout;

int numTries;

char frame[256];

struct termios oldtio, newtio;

int errorChance;

} Settings;

extern Settings \*settings;

extern Stats \*stats;

void connectionSettings(char \*port, Mode mode);

void statisticsSetup();

void printStats();

void sendCommand(int fd, Control com);

void sendMessage(int fd, const unsigned char \*message, int messageSize);

int identifyMessageControl(Message \*msg, Control command);

Message \*receiveMessage(int fd);

unsigned char processBCC(const unsigned char \*buf, int size);

int stuff(unsigned char \*\*buf, int bufSize);

int destuff(unsigned char \*\*buf, int bufSize);

int llopen();

int llclose(int fd);

int llwrite(int fd, const unsigned char \*buf, int bufSize);

int llread(int fd, unsigned char \*\*message);

link.c

#include <sys/types.h>

#include <sys/stat.h>

#include <fcntl.h>

#include <termios.h>

#include <stdio.h>

#include <unistd.h>

#include <stdlib.h>

#include <strings.h>

#include <string.h>

#include <limits.h>

#include "link.h"

#include "alarm.h"

Settings \*settings;

Stats \*stats;

const int FLAG = 0x7E;

const int A = 0x03;

const int ESCAPE = 0x7D;

//Identify Baudrate

int findBaudrate(char \*baudrateS)

{

int baudrate = atoi(baudrateS);

switch (baudrate)

{

case 0:

return B0;

case 50:

return B50;

case 75:

return B75;

case 110:

return B110;

case 134:

return B134;

case 150:

return B150;

case 200:

return B200;

case 300:

return B300;

case 600:

return B600;

case 1200:

return B1200;

case 1800:

return B1800;

case 2400:

return B2400;

case 4800:

return B4800;

case 9600:

return B9600;

case 19200:

return B19200;

case 38400:

return B38400;

default:

return -1;

}

}

//Setup connection settings

void connectionSettings(char \*port, Mode mode)

{

//Allocate Settings

settings = (Settings \*)malloc(sizeof(Settings));

//Settings file

FILE \*settingsFile = fopen("settings.txt", "r");

//Read fields

char data[256];

//Baud rate

char \*baud;

if (fgets(data, 256, settingsFile) != NULL)

baud = &data[9];

int len = strlen(baud);

baud[len - 1] = '\0';

printf("Baud rate set to: %s\n", baud);

settings->baudRate = findBaudrate(baud);

//Max size

char \*size;

if (fgets(data, 256, settingsFile) != NULL)

size = &data[12];

len = strlen(size);

size[len - 1] = '\0';

printf("Size set to: %s(bytes)\n", size);

settings->messageDataMaxSize = atoi(size);

//Timeout

char \*timeout;

if (fgets(data, 256, settingsFile) != NULL)

timeout = &data[8];

len = strlen(timeout);

timeout[len - 1] = '\0';

printf("Timeout set to: %s(seconds)\n", timeout);

settings->timeout = atoi(timeout);

//Tries

char \*tries;

if (fgets(data, 256, settingsFile) != NULL)

tries = &data[6];

len = strlen(tries);

tries[len - 1] = '\0';

printf("Tries set to: %s(attempts)\n", tries);

settings->numTries = atoi(tries);

//Error chance

char \*error;

if (fgets(data, 256, settingsFile) != NULL)

error = &data[6];

len = strlen(error);

error[len - 1] = '\0';

printf("Error chance set to: %s(%% error chance per message)\n", error);

settings->errorChance = atoi(error);

strcpy(settings->port, port);

settings->mode = mode;

settings->ns = 0;

}

//Initialize statistics

void statisticsSetup(){

stats = (Stats \*)malloc(sizeof(Stats));

//Start clock

clock\_gettime(CLOCK\_REALTIME, &stats->startTime);

//Reset values

stats->sent = 0;

stats->received = 0;

stats->timeouts = 0;

stats->sentRR = 0;

stats->sentREJ = 0;

stats->receivedRR = 0;

stats->receivedREJ = 0;

}

double timeSpecToSeconds(struct timespec\* ts){

return (double)ts->tv\_sec + (double)ts->tv\_nsec / 1000000000.0;

}

//Print statistics

void printStats(){

printf("Connection statistics:\n");

struct timespec endTime;

clock\_gettime(CLOCK\_REALTIME, &endTime);

printf("\t- Total time: %lf seconds\n", (timeSpecToSeconds(&endTime)-timeSpecToSeconds(&stats->startTime)));

printf("\t- Messages sent: %d\n", stats->sent);

printf("\t- Messages received: %d\n", stats->received);

printf("\t- Timeouts occured: %d\n", stats->timeouts);

printf("\t- RR sent: %d\n", stats->sentRR);

printf("\t- REJ sent: %d\n", stats->sentREJ);

printf("\t- RR received: %d\n", stats->receivedRR);

printf("\t- REJ received: %d\n", stats->receivedREJ);

}

//Prepares and sends command to fd

void sendCommand(int fd, Control com)

{

//Command size

const int commandMaxSize = 5 \* sizeof(char);

//Prepare command

unsigned char \*command = malloc(commandMaxSize);

command[0] = FLAG;

command[1] = A;

command[2] = com;

if (com == C\_REJ || com == C\_RR)

command[2] |= (settings->ns << 7);

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

command[4] = FLAG;

//Stuffing

int commandSize = stuff(&command, (commandMaxSize));

//Send command

if (write(fd, command, commandSize) != (commandMaxSize))

printf("ERROR: Could not write %s command.\n", command);

//Free command

free(command);

if (com == C\_REJ)

        stats->sentREJ++;

    else if (com == C\_RR)

        stats->sentRR++;

}

int identifyMessageControl(Message \*msg, Control command)

{

return msg->type == COMMAND && msg->control == command;

}

Message \*receiveMessage(int fd)

{

//Setup message

Message \*msg = (Message \*)malloc(sizeof(Message));

msg->type = INVALID;

msg->ns = msg->nr = -1;

State state = START;

int size = 0;

unsigned char \*message = malloc(settings->messageDataMaxSize);

//State Machine

volatile int done = FALSE;

while (!done)

{

unsigned char ch;

//Not stopping yet

if (state != STOP)

{

//Read

int numReadBytes = read(fd, &ch, 1);

//Empty

if (!numReadBytes)

{

free(message);

msg->type = INVALID;

msg->error = INPUT\_OUTPUT\_ERROR;

return msg;

}

}

//State jumping

switch (state)

{

case START:

if (ch == FLAG)

{

message[size++] = ch;

state = FLAG\_RCV;

}

break;

case FLAG\_RCV:

if (ch == A)

{

message[size++] = ch;

state = A\_RCV;

}

else if (ch != FLAG)

{

size = 0;

state = START;

}

break;

case A\_RCV:

if (ch != FLAG)

{

message[size++] = ch;

state = C\_RCV;

}

else if (ch == FLAG)

{

size = 1;

state = FLAG\_RCV;

}

else

{

size = 0;

state = START;

}

break;

case C\_RCV:

if (ch == (message[1] ^ message[2]))

{

message[size++] = ch;

state = BCC\_OK;

}

else if (ch == FLAG)

{

size = 1;

state = FLAG\_RCV;

}

else

{

size = 0;

state = START;

}

break;

case BCC\_OK:

if (ch == FLAG)

{

if (msg->type == INVALID)

msg->type = COMMAND;

message[size++] = ch;

state = STOP;

}

else if (ch != FLAG)

{

if (msg->type == INVALID)

msg->type = DATA;

//Need to expand space

if (size % settings->messageDataMaxSize == 0)

{

int mFactor = size / settings->messageDataMaxSize + 1;

message = (unsigned char \*)realloc(message, mFactor \* settings->messageDataMaxSize);

}

message[size++] = ch;

}

break;

case STOP:

message[size] = 0;

done = TRUE;

break;

default:

break;

}

}

//Destuff

size = destuff(&message, size);

unsigned char A = message[1];

unsigned char C = message[2];

unsigned char BCC1 = message[3];

//BCC1 check (header)

if (BCC1 != (A ^ C))

{

printf("ERROR: invalid BCC1.\n");

free(message);

msg->type = INVALID;

msg->error = BCC1\_ERROR;

return msg;

}

//Message is a command

if (msg->type == COMMAND)

{

//Identify command

switch (message[2] & 0x0F)

{

case C\_SET:

msg->control = C\_SET;

break;

case C\_UA:

msg->control = C\_UA;

break;

case C\_RR:

msg->control = C\_RR;

break;

case C\_REJ:

msg->control = C\_REJ;

break;

case C\_DISC:

msg->control = C\_DISC;

break;

default:

printf("ERROR: control field not recognized.\n");

msg->control = C\_SET;

}

//Control

Control control = message[2];

if (msg->control == C\_RR || msg->control == C\_REJ)

msg->nr = (control >> 7) & BIT(0);

if (msg->control == C\_REJ)

            stats->receivedREJ++;

        else if (msg->control == C\_RR)

            stats->receivedRR++;

}

//Message is data

else if (msg->type == DATA)

{

stats->received++;

msg->data.size = size - 6 \* sizeof(char);

//Check BCC2 (data)

unsigned char calcBCC2 = processBCC(&message[4], msg->data.size);

unsigned char BCC2 = message[4 + msg->data.size];

if (calcBCC2 != BCC2)

{

printf("ERROR: invalid BCC2: 0x%02x != 0x%02x.\n", calcBCC2, BCC2);

free(message);

msg->type = INVALID;

msg->error = BCC2\_ERROR;

return msg;

}

msg->ns = (message[2] >> 6) & BIT(0);

//Copy the message

msg->data.message = malloc(msg->data.size);

memcpy(msg->data.message, &message[4], msg->data.size);

}

free(message);

return msg;

}

void sendMessage(int fd, const unsigned char \*message, int messageSize)

{

//Setup message

unsigned char \*msg = malloc(6 \* sizeof(char) + messageSize);

unsigned char C = settings->ns << 6;

unsigned char BCC1 = A ^ C;

unsigned char BCC2 = processBCC(message, messageSize);

msg[0] = FLAG;

msg[1] = A;

msg[2] = C;

msg[3] = BCC1;

memcpy(&msg[4], message, messageSize);

//Induce Error Header

if(rand()%100 > (100-settings->errorChance)){

printf("Randomly added header error...\n");

msg[1] ++;

}

//Induce Error Data

if(rand()%100 > (100-settings->errorChance)){

printf("Randomly added data error...\n");

msg[5] ++;

}

msg[4 + messageSize] = BCC2;

msg[5 + messageSize] = FLAG;

messageSize += 6 \* sizeof(char);

//Stuffing

messageSize = stuff(&msg, messageSize);

//Send

int numWrittenBytes = write(fd, msg, messageSize);

if (numWrittenBytes != messageSize)

perror("ERROR: error while sending message.\n");

free(msg);

stats->sent++;

}

unsigned char processBCC(const unsigned char \*buf, int size)

{

unsigned char BCC = 0;

int i = 0;

for (; i < size; i++)

BCC ^= buf[i];

return BCC;

}

//Stuffing

int stuff(unsigned char \*\*buf, int bufSize)

{

int newBufSize = bufSize;

int i;

for (i = 1; i < bufSize - 1; i++)

if ((\*buf)[i] == FLAG || (\*buf)[i] == ESCAPE)

newBufSize++;

\*buf = (unsigned char \*)realloc(\*buf, newBufSize);

for (i = 1; i < bufSize - 1; i++)

{

if ((\*buf)[i] == FLAG || (\*buf)[i] == ESCAPE)

{

memmove(\*buf + i + 1, \*buf + i, bufSize - i);

bufSize++;

(\*buf)[i] = ESCAPE;

(\*buf)[i + 1] ^= 0x20;

}

}

return newBufSize;

}

//Destuffing

int destuff(unsigned char \*\*buf, int bufSize)

{

int i;

for (i = 1; i < bufSize - 1; ++i)

{

if ((\*buf)[i] == ESCAPE)

{

memmove(\*buf + i, \*buf + i + 1, bufSize - i - 1);

bufSize--;

(\*buf)[i] ^= 0x20;

}

}

\*buf = (unsigned char \*)realloc(\*buf, bufSize);

return bufSize;

}

int llopen()

{

printf("Estabilishing connection...\n");

//=== Provided code ===

int fd = open(settings->port, O\_RDWR | O\_NOCTTY);

if (fd < 0)

{

perror(settings->port);

exit(ERROR);

}

if (tcgetattr(fd, &settings->oldtio) == ERROR)

{

perror("tcgetattr");

exit(ERROR);

}

bzero(&settings->newtio, sizeof(settings->newtio));

settings->newtio.c\_cflag = settings->baudRate | CS8 | CLOCAL | CREAD;

settings->newtio.c\_iflag = IGNPAR;

settings->newtio.c\_oflag = 0;

settings->newtio.c\_lflag = 0;

settings->newtio.c\_cc[VTIME] = 1;

settings->newtio.c\_cc[VMIN] = 0;

tcflush(fd, TCIOFLUSH);

if (tcsetattr(fd, TCSANOW, &settings->newtio) == ERROR)

{

perror("tcsetattr error");

exit(ERROR);

}

//========================

int tries = 0, connected = 0;

//Writer mode

if (settings->mode == WRITER)

{

while (!connected)

{

if (tries == 0 || alarmFired)

{

//Reset alarm

alarmFired = FALSE;

//Number of tries exceeded

if (tries >= settings->numTries)

{

stopAlarm();

printf("ERROR: Maximum number of retries exceeded.\n");

printf("Connection aborted\n");

exit(ERROR);

}

//Send SET command

sendCommand(fd, C\_SET);

//Restart alarm

if (++tries == 1)

setAlarm();

}

//Receive response

if (identifyMessageControl(receiveMessage(fd), C\_UA))

connected = 1;

}

//Stop alarm

stopAlarm();

}

//Reader mode

else if (settings->mode == READER)

{

while (!connected)

{

//Receive setup and respond

if (identifyMessageControl(receiveMessage(fd), C\_SET))

{

sendCommand(fd, C\_UA);

connected = 1;

}

}

}

printf("Connection established\n");

return fd;

}

int llclose(int fd)

{

printf("Terminating connection...\n");

int tries = 0;

int in = TRUE;

switch (settings->mode)

{

case WRITER:

{

while (in)

{

if (tries == 0 || alarmFired)

{

alarmFired = FALSE;

if (tries >= settings->numTries)

{

stopAlarm();

printf("ERROR: Maximum number of retries exceeded.\n");

printf("Connection aborted\n");

return ERROR;

}

//Send disconnect

sendCommand(fd, C\_DISC);

if (++tries == 1)

setAlarm();

}

//Receive disconnect

if (identifyMessageControl(receiveMessage(fd), C\_DISC))

in = 0;

}

stopAlarm();

//Send UA to finalize

sendCommand(fd, C\_UA);

//Syncronize fd to make sure it sends C\_UA command before closing and resetting settings

sync();

printf("Connection terminated\n");

break;

}

case READER:

{

while (in)

{

//Receive disconnect

if (identifyMessageControl(receiveMessage(fd), C\_DISC))

in = 0;

}

int uaReceived = FALSE;

while (!uaReceived)

{

if (tries == 0 || alarmFired)

{

alarmFired = FALSE;

if (tries >= settings->numTries)

{

stopAlarm();

printf("ERROR: Maximum number of retries exceeded.\n");

printf("Connection aborted\n");

return ERROR;

}

//Send disconnect

sendCommand(fd, C\_DISC);

if (++tries == 1)

setAlarm();

}

//Receive UA

if (identifyMessageControl(receiveMessage(fd), C\_UA))

uaReceived = TRUE;

}

stopAlarm();

printf("Connection terminated\n");

break;

}

default:

break;

}

//Reset oldtio

if (tcsetattr(fd, TCSANOW, &settings->oldtio) == -1)

{

perror("tcsetattr");

return 0;

}

//Close file descriptor

close(fd);

return ERROR;

}

int llwrite(int fd, const unsigned char \*buf, int bufSize)

{

int tries = 0;

while (1)

{

if (tries == 0 || alarmFired)

{

alarmFired = 0;

if (tries >= settings->numTries)

{

stopAlarm();

printf("ERROR: Maximum number of retries exceeded.\n");

return 0;

}

//Send message

sendMessage(fd, buf, bufSize);

if (++tries == 1)

setAlarm();

}

//Response

Message \*receivedMessage = receiveMessage(fd);

//Receiver ready / positive ACK

if (identifyMessageControl(receivedMessage, C\_RR))

{

if (settings->ns != receivedMessage->nr)

settings->ns = receivedMessage->nr;

stopAlarm();

break;

}

//Reject / negative ACK

else if (identifyMessageControl(receivedMessage, C\_REJ))

{

stopAlarm();

tries = 0;

}

}

stopAlarm();

return 1;

}

int llread(int fd, unsigned char \*\*message)

{

Message \*msg = NULL;

int done = FALSE;

while (!done)

{

//Read message

msg = receiveMessage(fd);

//Message type

switch (msg->type)

{

case INVALID:

//BCC error

if (msg->error == BCC2\_ERROR)

{

sendCommand(fd, C\_REJ);

}

break;

case COMMAND:

//DISC command

if (msg->control == C\_DISC)

done = TRUE;

break;

case DATA:

//Check message order

if (settings->ns == msg->ns)

{

\*message = malloc(msg->data.size);

memcpy(\*message, msg->data.message, msg->data.size);

free(msg->data.message);

//Send response

settings->ns = !msg->ns;

sendCommand(fd, C\_RR);

done = TRUE;

}

else{

printf("Wrong message ns associated: ignoring\n");

settings->ns = msg->ns;

}

break;

default:

stopAlarm();

return -1;

}

}

//Alarm stopped by receiver

stopAlarm();

return 1;}