Protocolo de Ligação de Dados

Relatório

Universidade do Porto

Faculdade de Engenharia

FEUP

Redes de Computadores

3^o ano

Mestrado Integrado em Engenharia Informática e Computação

Turma 4

Carolina Moreira	201303494	up201303494@fe.up.pt
Daniel Fazeres	201502846	up201502846@fe.up.pt
José Peixoto	200603103	ei12134@fe.up.pt

10 de Novembro de 2016

Conteúdo

Resumo

No âmbito da unidade curricular de Redes de Computadores, foi-nos proposto o desenvolvimento de uma aplicação que testasse um protocolo de ligação de dados criado de raiz, transferindo um ficheiro recorrendo à porta de série $RS-232$. O trabalho permitiu praticar conceitos teóricos no desenho de um protocolo de ligação de dados como o sincronismo e delimitação de tramas, controlo de erros, controlo de fluxo recurso a mecanismos de transparência de dados na transmissão assíncrona.

Findo o projeto, notou-se a importância dos mecanismos que asseguram tolerância a falhas fornecidos pela camada de ligação de dados, uma vez que a camada física não é realmente fiável.

1 Introdução

O objetivo do trabalho realizado nas aulas laboratoriais da disciplina de Redes de Computadores é a implementação de um protocolo de ligação de dados que permita praticar conhecimentos acerca de transmissões de dados entre computadores, programando em baixo nível as características comuns a este tipos de protocolos como a transparência na transmissão de dados de forma assíncrona e organização da informação sob a forma de tramas.

Este relatório pretende explicar o projeto final descrevendo a sua estrutura e os principais casos de uso.

2 Arquitetura

O projeto está organizado em duas camadas principais: a camada de aplicação e a camada de ligação de dados. As camadas respeitam o princípio de independência uma vez que cada uma apenas se responsabiliza/conhece um tipo de tarefa específica, no caso da camada de aplicação, de mais alto nível, lida-se com a interação de ficheiros e pacotes de dados e no caso da ligação de dados são feitas as tarefas de mais baixo nível relacionadas com o processamento de tramas e a interação com a porta de série.

A camada de aplicação está implementada nos ficheiros `netlink.c`, `file.c` e `packets.c`.

A camada de ligação de dados está implementada nos ficheiros `serial_port.c` `data_link_io.c` e `data_link.c`.

3 Casos de uso principais

A utilização do programa divide-se em dois propósitos distintos: envio ou receção de um ficheiro. A fase de tratamento dos parâmetros opcionais passados pela linha de comandos é comum em ambos os casos e engloba a chamada de funções como: `parse_args`, `parse_serial_port_arg`, `parse_flags` e chamadas opcionais a outras funções consoante os parâmetros passados.

Envio de ficheiro

Após a interpretação dos parâmetros opcionais e a leitura do ficheiro, o programa invoca a função `send_file` da camada de aplicação para o envio de um ficheiro que por sua vez pede à camada de ligação de dados que estabeleça uma ligação pela porta de série na chamada à função `transmitter_connect` e transmita dados através da função `transmitter_write` e termine a ligação com a chamada `disconnect`.

A chamada `transmitter_connect` da camada da ligação de dados abre a porta de série envia a trama SET e recebe a trama UA. No envio de tramas que requerem confimação de receção é usada a função `f_send_acknowledged_frame`. Antes da chamada à função `transmitter_write`, o programa organiza a informação a enviar sob a forma de pacotes de dados nas funções `send_control_packet` ou `send_data_packets`.

Receção de ficheiro

Após a interpretação dos parâmetros opcionais e a leitura do ficheiro, o programa invoca a função `receive_file` da camada de aplicação para a receção de um ficheiro que por sua vez pede à camada de ligação de dados que estabeleça uma ligação pela porta de série com a chamada à função `receiver_listen` e receba pacotes de dados através da função `receiver_read` e termine a ligação com a chamada `disconnect`.

A chamada `receiver_listen` da camada da ligação de dados abre a porta de série e espera pela receção de uma trama SET enviando em seguida a confirmação de receção com a função `f_send_frame`. Na camada de ligação de dados é usada a função `f_receive_frame` na receção de tramas. Após a receção de um pacote de dados através da função `llread`, o programa descodifica os dados recebidos nas funções `parse_control_packet` ou `parse_data_packet` caso se espere receber um pacote de controlo ou de dados respectivamente.

4 Protocolo de ligação lógica

A camada de ligação lógica é responsável pela organização e controlo do envio e receção de informação através da ligação lógica, neste caso a porta

de série $RS-232$. Para tal, uma série de mecanismos são necessários para assegurar a transmissão com sucesso dos dados. Os dados são encapsulados em tramas com numeração e a delimitação das tramas é feita por uma sequêncial especial de oito bits. É também assegurada a transparência dos dados pela técnica de byte stuffing.

A proteção da integridade dos dados é feita pelo uso de um código detetor de erros, no caso das tramas S e U pelo $BCC1$ e nas tramas I existe um segundo código, o $BCC2$, que verifica a integridade do campo de dados.

Delimitação e envio de uma trama

```
Return_e f_send_frame(const int fd, const struct frame frame
    )
{
  byte *bp = g_buffer;

  *bp++ = FLAG;

  // write header
  *bp++ = frame.address;
  *bp++ = frame.control;
  *bp++ = frame.address ^ frame.control; // bcc

  // copy data
  if (frame.size > LL_MAX_PAYLOAD_UNSTUFFED) {
    return ERROR_CODE;

  } else if (frame.size > 0) { // frame might be 0 if it is
      supervision
    bp = copy_and_stuff_bytes(bp, frame.data, frame.size);
  }

  *bp++ = FLAG;

  if (serial_port_write(fd, g_buffer, bp - g_buffer) < 0) {
    return ERROR_CODE;
  }
  ++g_sent_frame_counter;

  return SUCCESS_CODE;
}
```

Verificação da integridade uma trama recebida

```
static Return_e parse_frame_from_array(struct frame* frame,
    byte *a)
{
  if (*a++ != FLAG) {
    return ERROR_CODE;
  }
  for (int i = 0; i <= 2; i++) { // the next fields should
      not have a FLAG
```

```
  if (a[i] == FLAG) {
    return BADFRAME_CODE;
  }
}

frame->address = *a++;
frame->control = *a++;
const byte header_bcc = *a++;
if (header_bcc != (frame->address ^ frame->control)) {
  ++g_header_bcc_error_counter;
  return BADFRAME_CODE;
}
frame->size = 0;

/* Supervision frame */
if (*a == FLAG) {
  return SUCCESS_CODE;
}

if (*(a + 1) == FLAG) {
  return BADFRAME_CODE;
}

/* Data frame */
byte data_bcc = 0;
size_t num_bytes = 0;
while (1) {
  if (num_bytes > LL_MAX_PAYLOAD_STUFFED) {
    return BADFRAME_CODE;
  }
  if (frame->size > frame->max_data_size) {
    return BADFRAME_CODE;
  }

  byte c;
  if (a[num_bytes] == BS_ESC) {
    fprintf(stderr, "----\n");
    // remove byte stuffing
    ++num_bytes;
    c = BS_OCT ^ a[num_bytes];
  } else {
    c = a[num_bytes];
  }
      ++num_bytes;
      frame->data[frame->size++] = c;
      fprintf(stderr, "%x\n", c);

  /*
   * Stop loop condition.
   */
  if (a[num_bytes] == FLAG) {
    if (frame->data[frame->size-1] != data_bcc) {
      ++g_data_bcc_error_counter;
      return BADFRAME_CODE;
```

```
        }
        return SUCCESS_CODE;
      } else {
            data_bcc ^= c;
            fprintf(stderr,"c = %x, bcc = %x\n",c,data_bcc);
          }

    }
}
```

5 Protocolo de aplicação

A camada de aplicação é responsável pela leitura/escrita dos dados do ficheiro a enviar/receber. Do lado do emissor, procede-se à segmentação do ficheiro em pacotes de dados que vão sendo numerados e enviados para a camada de ligação de dados, por forma a serem encaixados em tramas de informação e posteriormente enviados através da porta de série. Do lado do receptor, é feita a compilação e escritura dos dados recebidos num ficheiro em disco nomeado de acordo com a informação recebida nos pacotes de controlo. Quer no emissor quer no receptor, recorre-se à codificação das etapas sob a forma de máquinas de estado.

5.1 Envio de um ficheiro

A camada de aplicação pode interpretar os argumentos opcionais passados através da interface de linha de comandos para ler do disco um ficheiro para uma estrutura de dados que armazena os dados, o nome e o tamanho do ficheiro. Opcionalmente, só os dados de um ficheiro serão lidos do `stdin` para a estrutura de dados referida e será atribuído um nome de ficheiro predefinido.

```
struct file {
    const char* name;
    size_t size;
    char* data;
};
```

Após a leitura do ficheiro, a camada de aplicação entra numa máquina de estados com quatro estados ordenados: abertura de ligação, envio de pacote de controlo inicial, envio de pacotes de dados, envio de pacote de controlo final e fecho da ligação.

Método usado na abertura de ligação

```
int llopen(char *port, int transmitter);
```

Método usado para o envio de pacotes de controlo inicial e final

```
int send_control_packet(struct connection* connection,
    struct file *file,
        byte control_field);
```

Método usado para o envio de pacote de dados

```
int send_data_packets(struct connection* connection, struct
    file* file,
        size_t* num_data_bytes_sent, size_t* sequence_number
            );
```

Método usado para o envio dos pacotes para a camada de ligação de dados

```
int transmitter_write(struct connection* conn, byte*
    data_packet, size_t size);
```

Método usado no fecho da ligação

```
int llclose(const int fd);
```

5.2 Receção de um ficheiro

Após a interpretação dos parâmetros passados pela linha de comandos que indicam ao programa para receber um ficheiro, a camada de aplicação entra numa máquina de estados com quatro estados ordenados: abertura de ligação, receção de pacote de controlo inicial, receção de pacotes de dados e fecho da ligação. Após o estabelecimento de uma ligação com sucesso, o programa fica à espera da receção de um pacote de controlo com os dados relativos ao tamanho e nome do ficheiro. Posteriormente, inicia-se o processo de receção dos pacotes de dados com a informação contida no ficheiro até que se receba um pacote de controlo final, sinalizando o fim da receção do ficheiro.

Método usado para receber o pacote de controlo inicial

```
int receive_start_control_packet(const int fd,
    char **file_name, size_t *file_size)
```

Método usado para descodificar um pacote de controlo

```
int parse_control_packet(const int control_packet_length,
    byte *control_packet, char **file_name,
    size_t *file_size)
```

Método usado para receber pacotes de dados e escrever em disco

```
int receive_data_packets(const int fd, char* file_name,
    size_t file_size, int attempts_left)
```

Método usado para descodificar um pacote pacote de dados

```
int parse_data_packet(const int data_packet_length,
    byte *data_packet, char **data,
    size_t* sequence_number)
```

Método usado para descodificar um pacote pacote de dados

```
int parse_data_packet(const int data_packet_length,
    byte *data_packet, char **data,
    size_t* sequence_number)
```

6 Validação

O projeto inclui testes apenas à camada de ligação de dados nos ficheiros `data_link_test.c` e `serial_port_test.c`. No caso da porta de série, são feitos testes simples que validam os outputs dado um determinado input numa chamada directa das funções `read` e `write` da camada lógica.

No caso da ligação de dados é feito um teste ao nível do sistema de tramas incluíndo os códigos de verificação de integridade e o sistema de *byte stuffing*.

7 Elementos de valorização

7.1 Selecção de parâmetros pelo utilizador

Quando o programa é invocado pela linha de comandos de forma errónea ou sem quaisquer parâmetros adicionais, são mostrados os argumentos opcionais disponíveis que permitem configurar a execução do programa, nomeadamente o modo de operação (`receiver` ou `transmitter`), leitura do ficheiro a enviar do disco ou proveniente de dados redirecionados do `stdin`, selecção da baudrate, determinação do tamanho máximo de bytes de dados enviados em cada frame e do número de tentativas na recuperação de erros.

7.2 Implementação de REJ

Quando ocorrem erros no processamento de tramas recebidas na camada de ligação de dados, é enviada de forma preemptiva ao `timeout` uma trama com confirmação negativa (`REJ`) que permite a retransmissão da trama de informação.

```
else if (ret == BADFRAME_CODE) {
  /*
  * Send 'bad frame' acknowledgment.
  */
  byte c_out = data_reply_byte(conn->frame_number, FALSE);
  if (f_send_frame(conn->fd, FRAME(c_out)) != SUCCESS_CODE)
    break;
}
```

7.3 Verificação da integridade dos dados pela Aplicação

Após receção com sucesso do primeiro pacote de controlo pela camada de aplicação, é armazenado o tamanho expectável em bytes do ficheiro a receber, comparando-o no fim da sessão com o valor real de bytes dados recebidos. São também guardados os números de pacotes de dados perdidos e duplicados.

```
void receiver_stats()
{
    fprintf(stdout, "Receiver statistics\n");
    fprintf(stdout, "\treceived file bytes/file bytes:%zu/%
        zu\n",
            received_file_bytes, real_file_bytes);
    fprintf(stdout, "\tlost packets:%zu\n", lost_packets);
    fprintf(stdout, "\tduplicated packets:%zu\n",
        duplicated_packets);
}
```

8 Conclusões

O projeto pode ser sumariamente descrito pelo seu principal propósito que é o desenvolvimento de um protocolo de ligação de dados e o seu teste aquando da obtenção de sucesso na transferência de ficheiros entre dois computadores, com mecanismos de recuperação face a algumas situações de erros.

Findo o projeto, consideramos que atingimos os objetivos definidos tendo também implementado alguns dos elementos de valorização especificados no guião. Esta abordagem prática permitiu também uma melhor consciência do funcionamento e dos problemas inerentes às redes comunicações entre computadores, abordados nas aulas teóricas.

Referências

[1] Andrew S. Tanenbaum, David J. Wetherall, *Computer Networks*, Prentice Hall, 5th edition, 2011.

A Código fonte

A.1 Camada de aplicação

netlink.c

```
1  void receiver_stats()
2  #include <sys/types.h>
3  #include <sys/stat.h>
```

```
4  #include <fcntl.h>
5  #include <stdio.h>
6  #include <string.h>
7  #include <stdlib.h>
8  #include <termios.h>
9  #include <unistd.h>
10
11 #include "packets.h"
12 #include "file.h"
13 #include "netlink.h"
14 #include "serial_port.h"
15
16 struct file file_to_send;
17 int max_retries = 3;
18
19 void help(char **argv)
20 {
21   fprintf(stderr, "Usage: %s [OPTIONS] <serial port>\n",
       argv[0]);
22   fprintf(stderr, "\n Program options:\n");
23   fprintf(stderr, "  -t <FILEPATH>\t\ttransmit file over the
       serial port\n");
24   fprintf(stderr, "  -i\t\t\ttransmit data read from stdin\n
       ");
25   fprintf(stderr, "  -b <BAUDRATE>\t\tbaudrate of the serial
       port\n");
26   fprintf(stderr,
27       "  -p <DATASIZE>\t\tmaximum bytes of data transfered
           each frame\n");
28   fprintf(stderr, "  -r <RETRY>\t\tnumber of retry attempts\
       n");
29 }
30
31 int parse_serial_port_arg(int index, char **argv)
32 {
33   if ((strcmp("/dev/ttyS0", argv[index]) != 0)
34       && (strcmp("/dev/ttyS1", argv[index]) != 0)
35       && (strcmp("/dev/ttyS4", argv[index]) != 0)) {
36     fprintf(stderr, "Error: bad serial port value\n");
37     return -1;
38   }
39
40   return index;
41 }
42
43 int parse_baudrate_arg(int baurdate_index, char **argv)
44 {
45   if (strcmp("B50", argv[baurdate_index]) == 0) {
46     serial_port_baudrate = B50;
47     return 0;
48   } else if (strcmp("B75", argv[baurdate_index]) == 0) {
49     serial_port_baudrate = B75;
50     return 0;
51   } else if (strcmp("B110", argv[baurdate_index]) == 0) {
```

```
52      serial_port_baudrate = B110;
53      return 0;
54    } else if (strcmp("B134", argv[baurdate_index]) == 0) {
55      serial_port_baudrate = B134;
56      return 0;
57    } else if (strcmp("B150", argv[baurdate_index]) == 0) {
58      serial_port_baudrate = B150;
59      return 0;
60    } else if (strcmp("B200", argv[baurdate_index]) == 0) {
61      serial_port_baudrate = B200;
62      return 0;
63    } else if (strcmp("B300", argv[baurdate_index]) == 0) {
64      serial_port_baudrate = B300;
65      return 0;
66    } else if (strcmp("B600", argv[baurdate_index]) == 0) {
67      serial_port_baudrate = B600;
68      return 0;
69    } else if (strcmp("B1200", argv[baurdate_index]) == 0) {
70      serial_port_baudrate = B1200;
71      return 0;
72    } else if (strcmp("B1800", argv[baurdate_index]) == 0) {
73      serial_port_baudrate = B1800;
74      return 0;
75    } else if (strcmp("B2400", argv[baurdate_index]) == 0) {
76      serial_port_baudrate = B2400;
77      return 0;
78    } else if (strcmp("B4800", argv[baurdate_index]) == 0) {
79      serial_port_baudrate = B4800;
80      return 0;
81    } else if (strcmp("B9600", argv[baurdate_index]) == 0) {
82      serial_port_baudrate = B9600;
83      return 0;
84    } else if (strcmp("B19200", argv[baurdate_index]) == 0) {
85      serial_port_baudrate = B19200;
86      return 0;
87    } else if (strcmp("B38400", argv[baurdate_index]) == 0) {
88      serial_port_baudrate = B38400;
89      return 0;
90    }
91    fprintf(stderr, "Error: bad serial port baudrate value\n")
          ;
92    fprintf(stderr,
93        "Valid baudrates: B110, B134, B150, B200, B300, B600,
              B1200, B1800, B2400, B4800, B9600, B19200, B38400\
              n");
94    return -1;
95  }
96
97  void parse_max_packet_size(int packet_size_index, char **
        argv)
98  {
99    int val = atoi(argv[packet_size_index]);
100   if (val > FRAME_SIZE || val < 0)
101     max_data_transfer = FRAME_SIZE;
```

```
102   else
103     max_data_transfer = val;
104
105 #ifdef NETLINK_DEBUG_MODE
106   fprintf(stderr,"\nparse_max_packet_size:\n");
107   fprintf(stderr,"  max_packet_size=%d\n", max_data_transfer
        );
108 #endif
109 }
110
111 void parse_max_retries(int packet_size_index, char **argv)
112 {
113   int val = atoi(argv[packet_size_index]);
114   if (val <= 0)
115     max_retries = 4;
116   else
117     max_retries = 1 + val;
118
119 #ifdef NETLINK_DEBUG_MODE
120   fprintf(stderr,"\nmax_retries:\n");
121   fprintf(stderr,"  max_retries=%d\n", max_retries);
122 #endif
123 }
124
125 int parse_flags(int* t_index, int* i_index, int* b_index,
      int* p_index,
126     int* r_index, int argc, char **argv)
127 {
128   for (size_t i = 0; i < (argc - 1); i++) {
129     if ((strcmp("-t", argv[i]) == 0)) {
130       *t_index = i;
131     } else if ((strcmp("-i", argv[i]) == 0)) {
132       *i_index = i;
133     } else if ((strcmp("-b", argv[i]) == 0)) {
134       *b_index = i;
135     } else if ((strcmp("-p", argv[i]) == 0)) {
136       *p_index = i;
137     } else if ((strcmp("-r", argv[i]) == 0)) {
138       *r_index = i;
139     } else if ((argv[i][0] == '-')) {
140       return -1;
141     }
142   }
143 #ifdef NETLINK_DEBUG_MODE
144   fprintf(stderr,"\nparse_flags(): flag indexes\n");
145   fprintf(stderr,"  -t=%d\n  -i=%d\n  -b=%d\n  -p=%d\n  -r=%
        d\n", *t_index, *i_index, *b_index,
146       *p_index, *r_index);
147 #endif
148   return 0;
149 }
150
151 int parse_args(int argc, char **argv, int *is_transmitter)
152 {
```

```
153
154 #ifdef NETLINK_DEBUG_MODE
155   fprintf(stderr,"\nparse_args(): received arguments\n");
156   fprintf(stderr,"  argc=%d\n  argv=%s\n", argc, *argv);
157 #endif
158
159   if (argc < 2) {
160     return -1;
161   }
162
163   if (argc == 2)
164     return parse_serial_port_arg(1, argv);
165
166   int t_index = -1, i_index = -1, b_index = -1, p_index =
        -1, r_index = -1;
167
168   if (parse_flags(&t_index, &i_index, &b_index, &p_index, &
        r_index, argc,
169       argv)) {
170     fprintf(stderr, "Error: bad flag parameter\n");
171     return -1;
172   }
173
174   if (t_index > 0 && t_index < argc - 1) {
175     if (read_file_from_disk(argv[t_index + 1], &file_to_send
          ) < 0) {
176       return -1;
177     }
178     *is_transmitter = 1;
179   } else {
180     if (i_index > 0 && i_index < argc - 1) {
181       if (read_file_from_stdin(&file_to_send) < 0) {
182         return -1;
183       }
184       *is_transmitter = 1;
185     }
186   }
187
188   if (b_index > 0 && b_index < argc - 1) {
189     if (parse_baudrate_arg(b_index + 1, argv) != 0) {
190       return -1;
191     }
192   }
193
194   if (p_index > 0 && p_index < argc - 1) {
195     parse_max_packet_size(p_index + 1, argv);
196   }
197
198   if (r_index > 0 && r_index < argc - 1) {
199     parse_max_retries(r_index + 1, argv);
200   }
201
202   return parse_serial_port_arg(argc - 1, argv);
203 }
```

```
204
205 int main(int argc, char **argv)
206 {
207   int port_index = -1;
208   int is_transmitter = 0;
209
210   if ((port_index = parse_args(argc, argv, &is_transmitter))
        < 0) {
211     help(argv);
212     exit(EXIT_FAILURE);
213   }
214
215   if (is_transmitter) {
216     fprintf(stderr, "transmitting %s\n", file_to_send.name);
217     return send_file(argv[port_index], &file_to_send,
          max_retries);
218   } else {
219     fprintf(stderr, "receiving file\n");
220 #ifdef NETLINK_DEBUG_MODE
221     fprintf(stderr, "\tserial_port_baudrate:%d\n",
          serial_port_baudrate);
222     fprintf(stderr, "\tis_transmitter:%d\n", is_transmitter)
          ;
223 #endif
224     return receive_file(argv[port_index], max_retries);
225   }
226 }
```

file.c

```
1  #include <fcntl.h>
2  #include <stdio.h>
3  #include <stdlib.h>
4  #include <unistd.h>
5  #include <stdint.h>
6  #include <libgen.h>
7  #include <limits.h>
8  #include "file.h"
9
10 int read_file_from_stdin(struct file *f)
11 {
12   char *buffer;
13   if ((buffer = malloc(sizeof(char) * INT_MAX)) == NULL ) {
14     perror("read_file_from_stdin() buffer malloc error");
15     return -1;
16   }
17
18   size_t size = 0;
19
20   if ((size = fread(buffer, sizeof(char), INT_MAX, stdin)) <
        0) {
21     fprintf(stderr, "ERROR: reading from the stdin.\n");
22     return -1;
23   }
```

```
24
25  #ifdef APPLICATION_LAYER_DEBUG_MODE
26    fprintf(stderr, "read_file_from_stdin()\n\tname=%s\n\tsize
        =%zu\n\tdata=%s\n", "stdin.out", size,
27        buffer);
28  #endif
29
30    f->name = "output";
31    f->size = size;
32    f->data = buffer;
33
34    return 0;
35  }
36
37  int read_file_from_disk(char *name, struct file *f)
38  {
39    size_t length;
40    FILE *file = fopen(name, "r");
41
42    if (file != NULL ) {
43      fseek(file, 0L, SEEK_END);
44      length = ftell(file);
45      char *buffer = malloc(sizeof(char) * length);
46      if (buffer != NULL ) {
47        fseek(file, 0, SEEK_SET);
48        fread(buffer, 1, length, file);
49        fclose(file);
50        f->name = basename(name);
51        f->size = length;
52        f->data = buffer;
53        return 0;
54      }
55    }
56
57    fprintf(stderr, "Error: file %s is NULL.\n", name);
58    return -1;
59  }
```

packets.c

```
1  #include <stdio.h>
2  #include <string.h>
3  #include <time.h>
4  #include <stdlib.h>
5  #include <unistd.h>
6
7  #include "data_link.h"
8  #include "byte.h"
9  #include "packets.h"
10
11 int max_data_transfer = FRAME_SIZE;
12
13 size_t real_file_bytes = 0;
14 size_t received_file_bytes = 0;
```

```
15 size_t lost_packets = 0;
16 size_t duplicated_packets = 0;
17
18 struct connection g_connections[MAX_FD];
19
20 int send_file(char *port, struct file *file, int
       max_send_attempts)
21 {
22   fprintf(stderr, "send_file\n");
23   int fd = 0;
24   struct connection* connection;
25   int attempts_left = max_send_attempts;
26   int state = SND_OPEN_CONNECTION;
27   size_t num_data_bytes_sent = 0;
28   size_t sequence_number = 0;
29
30   while (attempts_left) {
31     switch (state) {
32     case SND_OPEN_CONNECTION:
33       fprintf(stderr, "open connection\n");
34       if ((fd = llopen(port, 1)) > 0) {
35         connection = &g_connections[fd];
36         attempts_left = max_send_attempts;
37         state = SND_START_CONTROL_PACKET;
38       } else {
39 #ifdef APPLICATION_LAYER_DEBUG_MODE
40         fprintf(stderr, "llopen() returned an error code\n")
               ;
41         fprintf(stderr, "\t%d attempts left\n",
               attempts_left - 1);
42 #endif
43         state = SND_OPEN_CONNECTION;
44         retry(&attempts_left);
45       }
46       break;
47     case SND_START_CONTROL_PACKET:
48       fprintf(stderr, "start control packet\n");
49       if (send_control_packet(connection, file,
             control_field_start)
50           < 0) {
51 #ifdef APPLICATION_LAYER_DEBUG_MODE
52         fprintf(stderr,
53             "start of transmission send_start_control_packet
                   () returned an error code\n");
54         fprintf(stderr, "\t%d attempts left\n",
               attempts_left - 1);
55 #endif
56         retry(&attempts_left);
57       } else {
58         attempts_left = max_send_attempts;
59         state = SND_DATA_PACKETS;
60       }
61       break;
62     case SND_DATA_PACKETS:
```

```
63        fprintf(stderr, "send data packets\n");
64        if (send_data_packets(connection, file, &
              num_data_bytes_sent,
65            &sequence_number) < 0) {
66  #ifdef APPLICATION_LAYER_DEBUG_MODE
67          fprintf(stderr, "send_data_packets() returned an
                error code\n");
68          fprintf(stderr, "\t%d attempts left\n",
                attempts_left - 1);
69  #endif
70          retry(&attempts_left);
71        } else {
72          attempts_left = max_send_attempts;
73          state = SND_CLOSE_CONTROL_PACKET;
74        }
75        break;
76      case SND_CLOSE_CONTROL_PACKET:
77        if (send_control_packet(connection, file,
              control_field_end) < 0) {
78  #ifdef APPLICATION_LAYER_DEBUG_MODE
79          fprintf(stderr,
80              "end of transmission send_control_packet()
                    returned an error code");
81          fprintf(stderr, "\t%d attempts left\n",
                attempts_left - 1);
82  #endif
83          retry(&attempts_left);
84        } else {
85          attempts_left = max_send_attempts;
86          state = SND_CLOSE_CONNECTION;
87        }
88        break;
89      case SND_CLOSE_CONNECTION:
90        if (llclose(fd) == 0) {
91          return 0;
92        } else {
93          state = RCV_CLOSE_CONNECTION;
94          retry(&attempts_left);
95        }
96        break;
97      default:
98        return -1;
99        break;
100     }
101   }
102   return -1;
103 }
104
105 int send_control_packet(struct connection* connection,
        struct file *file,
106     byte control_field)
107 {
108   // 5 bytes plus 2 specific data type sizes (value fields)
109   size_t control_packet_size = (5 + sizeof(size_t)
```

```
110         + ((strlen(file->name) + 1) * sizeof(char)));
111     if (control_packet_size > connection->packet_size) {
112       fprintf(stderr, "control_packet_size (%zu) > (%zu)
            allowed packet size",
113           control_packet_size, connection->packet_size);
114       return -1;
115     }
116
117   #ifdef APPLICATION_LAYER_DEBUG_MODE
118     fprintf(stderr, "send_control_packet()\n");
119     fprintf(stderr, "\tcontrol_field=%d\n", control_field);
120     fprintf(stderr, "\tcontrol_packet_size=%zu\n",
          control_packet_size);
121     fprintf(stderr, "\tpacket_size=%zu\n", (connection->
          packet_size));
122     fprintf(stderr, "\tl1=%zu\n", sizeof(size_t));
123     fprintf(stderr, "\tfile_size=%zu\n", file->size);
124     fprintf(stderr, "\tname=%s\n", file->name);
125     fprintf(stderr, "\tl2=%zu\n", strlen(file->name));
126   #endif
127
128     byte* control_packet;
129     if ((control_packet = malloc(control_packet_size * sizeof(
          byte))) == NULL ) {
130       perror("send_control_packet() control_packet malloc
            error");
131       return -1;
132     }
133     control_packet[control_field_index] = control_field;
134
135     // TLV (file size)
136     size_t v1_length = sizeof(size_t);
137     control_packet[control_packet_t1_index] =
          control_packet_tlv_type_filesize;
138     control_packet[control_packet_l1_index] = v1_length;
139
140   #ifdef APPLICATION_LAYER_DEBUG_MODE
141     fprintf(stderr, "\tv1_length=%zu\n", v1_length);
142   #endif
143
144     memcpy(control_packet + control_packet_v1_index, &(file->
          size), v1_length);
145
146     // TLV (file name)
147     size_t v2_length = strlen(file->name);
148     size_t control_packet_t2_index = 4 + v1_length;
149     size_t control_packet_l2_index = control_packet_t2_index +
           1;
150     size_t control_packet_v2_index = control_packet_l2_index +
           1;
151
152     control_packet[control_packet_t2_index] =
          control_packet_tlv_type_name;
153     control_packet[control_packet_l2_index] = v2_length;
```

```
154     memcpy(control_packet + control_packet_v2_index, (byte*)
            file->name,
155             v2_length);
156   //  control_packet[control_packet_l2_index + v2_length] =
          '\0';
157
158     if (transmitter_write(connection, control_packet,
            control_packet_size)
159             < 0) {
160       free(control_packet);
161       return -1;
162     }
163
164     free(control_packet);
165     return 0;
166   }
167
168   int send_data_packets(struct connection* connection, struct
        file* file,
169       size_t* num_data_bytes_sent, size_t* sequence_number)
170   {
171     fprintf(stderr, "send_data_packets\n");
172     byte* file_data_pointer = (byte*) file->data;
173     const byte* eof_data_pointer = ((byte*) file->data
174         + file->size * sizeof(char));
175
176     for (size_t i = 0; i < *num_data_bytes_sent; i++)
177       file_data_pointer++;
178
179     while (file_data_pointer < eof_data_pointer) {
180       fprintf(stderr, "while (file_data_pointer <
              eof_data_pointer)\n");
181       size_t max_data_size = connection->packet_size
182           - data_packet_header_size;
183       if (max_data_transfer > 0 && max_data_transfer <
              max_data_size) {
184         max_data_size = max_data_transfer;
185       }
186
187       size_t remaining_data_bytes = file->size - *
              num_data_bytes_sent;
188       size_t remainder = remaining_data_bytes % (max_data_size
              );
189       size_t data_bytes_to_send =
190           remainder == 0 ? (max_data_size) : remainder;
191
192       size_t data_packet_size = data_bytes_to_send +
              data_packet_header_size;
193
194       byte* data_packet;
195       if ((data_packet = malloc(data_packet_size * sizeof(byte
              ))) == NULL ) {
196         perror("send_control_packet() data_packet malloc error
              ");
```

```
197         return -1;
198       }
199
200       data_packet[control_field_index] = control_field_data;
201       data_packet[data_packet_sequence_number_index] = (*
              sequence_number)
202           % sequence_number_modulus;
203       (*sequence_number)++;
204       data_packet[data_packet_l2_index] = (data_bytes_to_send
              / 256);
205       data_packet[data_packet_l1_index] = (data_bytes_to_send
              % 256);
206       //fprintf(stderr,"sending packet %zu\n",
              data_packet_sequence_number_index);
207       fprintf(stderr, "sequence_number: %ld\n", *
              sequence_number);
208
209       for (size_t i = 0;
210           file_data_pointer < eof_data_pointer && i <
                  data_bytes_to_send;
211           i++) {
212         data_packet[i + data_packet_header_size] =
213             (byte) file->data[*num_data_bytes_sent];
214
215         file_data_pointer++;
216         (*num_data_bytes_sent)++;
217       }
218
219       if (transmitter_write(connection, data_packet,
              data_packet_size) < 0) {
220         free(data_packet);
221         fprintf(stderr, "transmitter write returned negative\n
                ");
222         return -1;
223       }
224
225       free(data_packet);
226     }
227     return 0;
228   }
229
230   int receive_file(char *port, int max_receive_attempts)
231   {
232     int fd = 0;
233     int attempts_left = max_receive_attempts;
234     char *file_name;
235     size_t file_size;
236     int state = RCV_OPEN_CONNECTION;
237
238     while (attempts_left) {
239       switch (state) {
240       case RCV_OPEN_CONNECTION:
241         fprintf(stderr, "opening connection..\n");
242         if ((fd = llopen(port, 0)) > 0) {
```

```
243           state = RCV_START_CONTROL_PACKET;
244           attempts_left = max_receive_attempts;
245         } else {
246           retry(&attempts_left);
247         }
248         break;
249
250       case RCV_START_CONTROL_PACKET:
251         fprintf(stderr, "expecting control packet\n");
252         if (receive_start_control_packet(fd, &file_name, &
                file_size) < 0) {
253   #ifdef APPLICATION_LAYER_DEBUG_MODE
254           fprintf(stderr,
255               "receive_start_control_packet() returned an
                    error code\n");
256           fprintf(stderr, "\t%d attempts left\n",
                  attempts_left - 1);
257   #endif
258           retry(&attempts_left);
259           break;
260         } else {
261           state = RCV_DATA_PACKETS;
262           attempts_left = max_receive_attempts;
263           real_file_bytes = file_size;
264         }
265         break;
266
267       case RCV_DATA_PACKETS:
268         fprintf(stderr, "expecting data packet\n");
269         if (receive_data_packets(fd, file_name, file_size,
                attempts_left)
270             < 0) {
271           receiver_stats();
272           return -1;
273           break;
274         } else {
275           state = RCV_CLOSE_CONNECTION;
276           attempts_left = max_receive_attempts;
277         }
278         break;
279
280       case RCV_CLOSE_CONNECTION:
281         if (llclose(fd) == 0) {
282           receiver_stats();
283           return 0;
284         } else {
285           state = RCV_CLOSE_CONNECTION;
286           retry(&attempts_left);
287         }
288         break;
289       default:
290         receiver_stats();
291         return -1;
292       }
```

```
293     }
294     return -1;
295 }
296
297 int receive_start_control_packet(const int fd, char **
        file_name,
298     size_t *file_size)
299 {
300     byte *control_packet;
301     int control_packet_length = 0;
302
303     if ((control_packet_length = llread(fd, &control_packet))
            < 0) {
304         free(control_packet);
305         return -1;
306     }
307
308     byte control_field = control_packet[control_field_index];
309     if (control_field == control_field_start) {
310         return parse_control_packet(control_packet_length,
              control_packet,
311             file_name, file_size);
312     }
313
314 #ifdef APPLICATION_LAYER_DEBUG_MODE
315     fprintf(stderr, "receive_data_packet(): bad control field
          value\n");
316 #endif
317
318     free(control_packet);
319     return -1;
320 }
321
322 int receive_data_packets(const int fd, char* file_name,
        size_t file_size,
323     int attempts_left)
324 {
325     FILE* received_file = fopen(file_name, "w");
326     int receive_return_value = 1;
327     size_t sequence_number = 0;
328
329 #ifdef APPLICATION_LAYER_DEBUG_MODE
330     fprintf(stderr, "receive_data_packets()\n");
331     fprintf(stderr, "\tfile_name=%s\n", file_name);
332     fprintf(stderr, "\tfile_size=%zu\n", file_size);
333 #endif
334
335     while (receive_return_value > 0 && attempts_left > 0) {
336
337         char *file_data;
338
339         if ((receive_return_value = receive_data_packet(fd, &
              file_data,
340             received_file_bytes, &sequence_number)) < 0) {
```

```
341 #ifdef APPLICATION_LAYER_DEBUG_MODE
342       fprintf(stderr, "receive_data_packet() returned an
              error code\n");
343       fprintf(stderr, "\t%d attempts left\n", attempts_left
              - 1);
344 #endif
345       retry(&attempts_left);
346       receive_return_value = 1;
347     } else {
348       sequence_number++;
349       received_file_bytes += receive_return_value;
350
351 #ifdef APPLICATION_LAYER_DEBUG_MODE
352       fprintf(stderr, "\treceive_return_value=%d\n",
              receive_return_value);
353       fprintf(stderr, "\treceived_file_bytes=%zu\n",
              received_file_bytes);
354 #endif
355
356       if ((fwrite(file_data, sizeof(char),
              receive_return_value,
357           received_file)) < 0) {
358         fprintf(stderr, "Error: file write error\n");
359         return -1;
360       }
361
362       if (receive_return_value > 0) {
363         free(file_data);
364       }
365     }
366   }
367
368 #ifdef APPLICATION_LAYER_DEBUG_MODE
369   fprintf(stderr,"receive_data_packets()\n");
370   fprintf(stderr,"\tfile_data_length=%zu\n",
        received_file_bytes);
371 #endif
372
373   if (attempts_left <= 0) {
374     return -1;
375   }
376
377   return fclose(received_file);
378 }
379
380 int parse_control_packet(const int control_packet_length,
      byte *control_packet,
381     char **file_name, size_t *file_size)
382 {
383 // TLV (file size)
384   if (control_packet[control_packet_t1_index]
385       != control_packet_tlv_type_filesize) {
386     fprintf(stderr, "parse_control_packet(): bad type 1");
387     return -1;
```

```
388     }
389     size_t v1_length = control_packet[control_packet_l1_index
            ];
390
391     if (v1_length != sizeof(size_t)) {
392       fprintf(stderr, "parse_control_packet(): bad L1 - file
              size length");
393       return -1;
394     }
395
396     size_t *file_size_tmp;
397
398     if ((file_size_tmp = malloc(sizeof(size_t))) == NULL ) {
399       perror("parse_control_packet() file_size_tmp malloc
              error");
400       return -1;
401     }
402
403     memcpy(file_size_tmp, (control_packet +
            control_packet_v1_index),
404            v1_length);
405     *file_size = *file_size_tmp;
406
407   // TLV (file name)
408     size_t control_packet_t2_index = control_packet_v1_index +
            v1_length + 1;
409     size_t control_packet_l2_index = control_packet_t2_index +
            1;
410     size_t control_packet_v2_index = control_packet_l2_index +
            1;
411
412     byte t2 = *(control_packet + control_packet_t2_index);
413
414     if (t2 != control_packet_tlv_type_name) {
415       fprintf(stderr, "parse_control_packet(): bad type 2");
416       free(file_size_tmp);
417       return -1;
418     }
419
420     size_t v2_length = *(control_packet +
            control_packet_l2_index);
421
422     if ((*file_name = malloc(v2_length * sizeof(char))) ==
            NULL ) {
423       perror("parse_control_packet() file_name malloc error");
424       free(file_size_tmp);
425       return -1;
426     }
427
428     memcpy(*file_name, (control_packet +
            control_packet_v2_index), v2_length);
429
430   #ifdef APPLICATION_LAYER_DEBUG_MODE
431     fprintf(stderr, "\tl1=%zu\n", v1_length);
```

```
432   fprintf(stderr, "\tfile_size=%zu\n", *file_size);
433   fprintf(stderr, "\tl2=%zu\n", v2_length);
434   fprintf(stderr, "\tname=%s\n", *file_name);
435 #endif
436   free(control_packet);
437   return 0;
438 }
439
440 int parse_data_packet(const int data_packet_length, byte *
      data_packet,
441     char **data, size_t* sequence_number)
442 {
443   int data_size = data_packet[data_packet_l2_index] * 256
444       + data_packet[data_packet_l1_index];
445 #ifdef APPLICATION_LAYER_DEBUG_MODE
446   fprintf(stderr, "parse_data_packet()\n");
447   fprintf(stderr, "\tcontrol_field=%d\n", data_packet[
        control_field_index]);
448   fprintf(stderr, "\tsequence_number=%d\n",
449       data_packet[data_packet_sequence_number_index]);
450   fprintf(stderr, "\tdata_size=%d\n", data_size);
451 #endif
452
453   if ((*data = malloc(sizeof(char) * data_size)) == NULL ) {
454     perror("parse_data_packet() data malloc error");
455     return -1;
456   }
457
458   memcpy(*data, (data_packet + data_packet_header_size *
        sizeof(byte)),
459       data_size);
460
461   size_t received_sequence_number =
462       data_packet[data_packet_sequence_number_index];
463   size_t expected_sequence_number = *sequence_number
464       % sequence_number_modulus;
465   if (received_sequence_number != expected_sequence_number)
        {
466 #ifdef APPLICATION_LAYER_DEBUG_MODE
467     fprintf(stderr, "bad packet sequence number: (received %
          zu) <-> (expected %zu)\n", received_sequence_number,
           expected_sequence_number);
468     free(data_packet);
469     return -1;
470 #endif
471     if (received_sequence_number > expected_sequence_number)
          {
472
473       while (*sequence_number % sequence_number_modulus
474           != received_sequence_number) {
475         (*sequence_number)++;
476         lost_packets++;
477       }
478     } else {
```

```
479         duplicated_packets++;
480         *sequence_number = expected_sequence_number;
481       }
482       //    free(data_packet);
483 //    free(*data);
484 //    return -1;
485     }
486     free(data_packet);
487     return data_size;
488 }
489
490 int llread(const int fd, byte **packet)
491 {
492     struct connection* c = &g_connections[fd];
493
494 // maximum size of a packet
495     size_t packet_size = c->packet_size * sizeof(byte);
496
497     if ((*packet = malloc(packet_size)) == NULL ) {
498       perror("llread() packet malloc error");
499       return -1;
500     }
501
502     int packet_length = 0;
503     if (c->is_active) {
504       if ((packet_length = receiver_read(c, *packet,
              packet_size,
505             NUM_FRAMES_PER_CALL)) < 0) {
506         fprintf(stderr, "llread(): error in receiver_read()\n"
                );
507         free(*packet);
508         return -1;
509       }
510     } else {
511       fprintf(stderr, "llread(): connection is not active\n");
512       free(*packet);
513       return -1;
514     }
515
516     return packet_length;
517 }
518
519 int receive_data_packet(const int fd, char **file_data,
520       size_t received_file_bytes, size_t* sequence_number)
521 {
522     byte *data_packet;
523     int data_packet_length = 0;
524
525     if ((data_packet_length = llread(fd, &data_packet)) < 0) {
526       return -1;
527     }
528
529 #ifdef APPLICATION_LAYER_DEBUG_MODE
530     fprintf(stderr, "receive_data_packet()\n");
```

```
531     fprintf(stderr, "\treceived_data_bytes=%d\n",
            data_packet_length);
532   #endif
533
534     byte control_field = data_packet[control_field_index];
535     if (control_field == control_field_data) {
536   #ifdef APPLICATION_LAYER_DEBUG_MODE
537       fprintf(stderr, "\tdata packet\n");
538   #endif
539
540       return parse_data_packet(data_packet_length, data_packet
              , file_data,
541           sequence_number);
542     } else if (control_field == control_field_end) {
543   #ifdef APPLICATION_LAYER_DEBUG_MODE
544       fprintf(stderr, "\tend control packet\n");
545   #endif
546       char* file_name;
547       size_t file_size;
548       if (parse_control_packet(data_packet_length, data_packet
              , &file_name,
549           &file_size) == 0) {
550         return 0;
551       } else {
552         return -1;
553       }
554     }
555
556     fprintf(stderr, "receive_data_packet(): bad control field
            value\n");
557     free(data_packet);
558     return -1;
559   }
560
561   int llopen(char *port, int transmitter)
562   {
563     struct connection conn;
564     strcpy(conn.port, port);
565     conn.frame_size = FRAME_SIZE;
566     conn.micro_timeout_ds = MICRO_TIMEOUT_DS;
567     conn.timeout_s = TIMEOUT_S;
568     conn.num_retransmissions = NUM_RETRANSMISSIONS;
569     conn.close_wait_time = CLOSE_WAIT_TIME;
570     conn.packet_size = FRAME_SIZE;
571
572     if ((conn.is_transmitter = transmitter)) {
573       if (transmitter_connect(&conn) < 0) {
574         return -1;
575       }
576     } else {
577       if (receiver_listen(&conn)) {
578         return -1;
579       }
580     }
```

```
581
582   g_connections[conn.fd] = conn;
583   return conn.fd;
584 }
585
586 void print_status(time_t t0, size_t num_bytes, unsigned long
      counter)
587 {
588   double dt = difftime(time(NULL ), t0);
589   double speed = ((double) (num_bytes * 8)) / dt;
590   fprintf(stderr, "----------------------\n");
591   fprintf(stderr,
592       "Link layer transmission %ld: %lf bit per sec; %ldB of
            data\n",
593       counter, speed, num_bytes);
594   fprintf(stderr, "----------------------\n");
595 }
596
597 int llclose(const int fd)
598 {
599   return disconnect(&g_connections[fd]);
600 }
601
602 void receiver_stats()
603 {
604   fprintf(stdout, "Receiver statistics\n");
605   fprintf(stdout, "\treceived file bytes/file bytes:%zu/%zu\
      n",
606       received_file_bytes, real_file_bytes);
607   fprintf(stdout, "\tlost packets:%zu\n", lost_packets);
608   fprintf(stdout, "\tduplicated packets:%zu\n",
      duplicated_packets);
609 }
610
611 void retry(int* attempt)
612 {
613   (*attempt)--;
614   if (*attempt <= 0)
615     return;
616 #ifdef APPLICATION_LAYER_DEBUG_MODE
617   fprintf(stderr, "\tnew attempt in 5 seconds .");
618 #endif
619   sleep(1);
620 #ifdef APPLICATION_LAYER_DEBUG_MODE
621   fprintf(stderr, " .");
622 #endif
623   sleep(1);
624 #ifdef APPLICATION_LAYER_DEBUG_MODE
625   fprintf(stderr, " .");
626 #endif
627   sleep(1);
628 #ifdef APPLICATION_LAYER_DEBUG_MODE
629   fprintf(stderr, " .");
630 #endif
```

```
631   sleep(1);
632 #ifdef APPLICATION_LAYER_DEBUG_MODE
633   fprintf(stderr, " .\n");
634 #endif
635   sleep(1);
636 }
```

A.2 Camada de ligação de dados

serial_port.c

```
1  #include <sys/types.h>
2  #include <sys/stat.h>
3  #include <fcntl.h>
4  #include <termios.h>
5  #include <stdio.h>
6  #include <strings.h>
7  #include <stdlib.h>
8  #include <unistd.h>
9  #include <fcntl.h>
10 #include <errno.h>
11
12 #include "netlink.h"
13 #include "serial_port.h"
14
15 typedef unsigned char byte;
16 int serial_port_baudrate = B19200;
17
18 #define _POSIX_SOURCE 1 /* POSIX compliant source */
19
20 struct termios g_oldtio;
21
22 byte g_previous_last_byte = 0;
23 byte serial_port_previous_last_byte()
24 {
25   return g_previous_last_byte;
26 }
27
28 byte g_last_byte = 0;
29 byte serial_port_last_byte()
30 {
31   return g_last_byte;
32 }
33
34 int serial_port_open(const char *dev_name, const int
       micro_timeout)
35 {
36 #ifdef SERIAL_PORT_DEBUG_MODE
37   fprintf(stderr,"serial_port_open(): entering function; dev
         = %s\n, timeout = \
38             %d\n",dev_name,micro_timeout);
39 #endif
40
41   /*
```

```
42      Open serial port device for reading and writing and not
            as controlling
43      tty because we don't want to get killed if linenoise
            sends CTRL-C.
44      */
45    int fd = -1;
46    struct termios newtio;
47
48    fd = open(dev_name, O_RDWR | O_NOCTTY);
49    if (fd < 0) {
50      perror(dev_name);
51      return -1;
52    }
53
54  #ifdef SERIAL_PORT_DEBUG_MODE
55    fprintf(stderr,"isatty()=%d, ttyname()=%s\n",isatty(fd),
          ttyname(fd));
56    fprintf(stderr,"fd = %d\n",fd);
57  #endif
58
59    /* Port settings */
60    if (tcgetattr(fd, &g_oldtio) == -1) { /* save current port
          settings */
61      perror("tcgetattr");
62      return -1;
63    }
64
65    bzero(&newtio, sizeof(newtio)); /* clear struct for new
          port settings */
66    newtio.c_cflag = serial_port_baudrate | CS8 | CLOCAL |
          CREAD;
67    newtio.c_iflag = IGNPAR;
68    newtio.c_oflag = 0;
69    newtio.c_lflag = 0;
70
71    /* 0 => inter-character timer unused */
72    newtio.c_cc[VTIME] = micro_timeout;
73
74    /* VMIN=1 => blocking read until 1 character is received
          */
75    //newtio.c_cc[VMIN] = (micro_timeout == 0) ? 1 : 0;
76    newtio.c_cc[VMIN] = 1;
77
78  #ifdef SERIAL_PORT_DEBUG_MODE
79    fprintf(stderr,"serial_port_open(): timeout=%d, c_cc[VMIN
          ]=%d\n",micro_timeout,
80          newtio.c_cc[VMIN]);
81  #endif
82
83    tcflush(fd, TCIFLUSH);
84    if (tcsetattr(fd, TCSANOW, &newtio) == -1) {
85      perror("tcsetattr");
86      exit(-1);
87    }
```

```
88    return fd;
89  }
90
91  int serial_port_close(int fd, int close_wait_time)
92  {
93  #ifdef SERIAL_PORT_DEBUG_MODE
94    fprintf(stderr,"serial_port_close(): waiting %d seconds to
          close...\n",
95          close_wait_time);
96  #endif
97    sleep(close_wait_time);
98
99    int ret = tcsetattr(fd, TCSANOW, &g_oldtio);
100   if (ret == -1) {
101     perror("tcsetattr");
102     return -1;
103   }
104   return close(fd);
105 }
106
107 int serial_port_write(int fd, byte *data, int len)
108 {
109 #ifdef SERIAL_PORT_DEBUG_MODE
110   fprintf(stderr,"serial_port_write(): writting: length = %d
          , fd = %d\n",len,fd);
111 #endif
112
113     //fprintf(stderr,"write\n");
114   int result = write(fd, data, len);
115
116   if (result < 0) {
117     fprintf(stderr, "serial_port_write(): error %d, errno =
          %x\n", result,
118         errno);
119 #ifdef SERIAL_PORT_DEBUG_MODE
120   } else {
121     fprintf(stderr,"serial_port_write(): wrote %d bytes\n",
          result);
122 #endif
123   }
124
125   return result;
126 }
127
128 /** \brief Read from serial port until either:
129  * - a delimiter char is found
130  * - the maximum number of chars is read
131  * - there is a timeout
132  *
133  * @return Number of chars read or negative number if error
134  * */
135 int serial_port_read(int fd, byte *data, byte delim, int
      maxc)
136 {
```

```
137 #ifdef SERIAL_PORT_DEBUG_MODE
138   fprintf(stderr,"serial_port_read(): entering function\n");
139   fprintf(stderr,"                    delimiter = %x\n",(
        char)delim);
140 #endif
141
142   g_previous_last_byte = g_last_byte;
143
144     //fprintf(stderr,"read\n");
145   byte *p = data;
146   int nc = 0; // num chars read so far
147   do {
148     int ret = read(fd, &g_last_byte, 1);
149     if (ret == 0) {
150 #ifdef SERIAL_PORT_DEBUG_MODE
151       fprintf(stderr,"serial_port_read(): micro timeout tick
            \n");
152 #endif
153       break;
154     } else if (ret < 0 && errno == EINTR) { // interrupted,
          possibly by an alarm
155 #ifdef SERIAL_PORT_DEBUG_MODE
156     fprintf(stderr,"serial_port_read(): received interrupt\n
          ");
157 #endif
158       return 0;
159     } else if (ret < 0) {
160 #ifdef SERIAL_PORT_DEBUG_MODE
161       fprintf(stderr,"serial_port_read(): ret = %d, errno =
            %d\n",ret,errno);
162 #endif
163     }
164 #ifdef SERIAL_PORT_PRINT_ALL_CHARS
165     fprintf(stderr,"< %x\n",g_last_byte);
166     //fprintf(stderr,"c: %d/%c, nc: %d, ret: %d\n",c,c,nc,
          ret);
167 #endif
168
169     *p++ = g_last_byte;
170     nc++;
171   } while (nc < maxc && g_last_byte != delim);
172
173 #ifdef SERIAL_PORT_DEBUG_MODE
174   //fprintf(stderr,"serial_port_read(): read (%d): %.*s\n",
        nc,nc,data);
175 #endif
176
177   return nc;
178 }
```

data_link.c

```
1 #include <stdio.h>
2
```

```
3  #include "serial_port.h"
4  #include "data_link.h"
5  #include "data_link_codes.h"
6  #include "data_link_io.h"
7  #include <string.h>
8  #include <stdlib.h>
9
10 #define TRUE 1
11 #define FALSE 0
12
13 static long g_use_limited_rejected_retries = 1; // true or
       false
14
15 byte data_reply_byte(unsigned long frame_number, int
       accepted)
16 {
17   return (accepted ? C_RR : C_REJ) | ((frame_number % 2) ? 0
         : (1 << 7));
18 }
19
20 byte data_control_byte(unsigned long frame_number)
21 {
22   return (frame_number % 2 == 0) ? 0 : (1 << 6);
23 }
24
25 static int handle_disconnect(struct connection* conn)
26 {
27   int ret = 0;
28
29   int ntries = conn->num_retransmissions;
30   while (1) {
31     struct frame reply;
32     if ((ntries = f_send_acknowledged_frame(conn->fd, ntries
           ,
33          conn->timeout_s, DISC, &reply)) < 0) {
34       ret = -1;
35       break;
36     }
37     if (reply.control == C_UA) {
38       break;
39     }
40   }
41
42   conn->is_active = 0;
43   if (serial_port_close(conn->fd, 0) < 0 || ret < 0) {
44     return -1;
45   }
46   return 0;
47 }
48
49 /*
50  * TRANSMITTER
51  */
52
```

```
53 /** \brief Establish logical connection.
54  *
55  * Open serial port, send SET, receive UA. */
56 int transmitter_connect(struct connection* conn)
57 {
58   conn->is_active = 0;
59   conn->max_buffer_size = LL_MAX_PAYLOAD_STUFFED;
60   conn->frame_number = 0;
61
62   if ((conn->fd = serial_port_open(conn->port, conn->
       micro_timeout_ds)) < 0) {
63 #ifdef DATA_LINK_DEBUG_MODE
64     fprintf(stderr,
65         "transmitter_connect(): could not open %s\n",conn->
            port);
66 #endif
67     return conn->fd;
68   }
69
70   /* Send SET frame and receive UA.  */
71   int ntries = conn->num_retransmissions;
72   while (1) {
73     struct frame reply;
74     if ((ntries = f_send_acknowledged_frame(conn->fd, ntries
         ,
75         conn->timeout_s, SET, &reply)) < 0) {
76 #ifdef DATA_LINK_DEBUG_MODE
77       fprintf(stderr,"transmitter_connect(): no connection.\
           n");
78 #endif
79       return -1;
80     }
81
82     if (reply.control == C_UA) {
83       break;
84     }
85   }
86
87   conn->is_active = 1;
88 #ifdef DATA_LINK_DEBUG_MODE
89   fprintf(stderr,"Connection established.\n");
90 #endif
91   return 0;
92 }
93
94 int transmitter_write(struct connection* conn, byte*
     data_packet, size_t size)
95 {
96   fprintf(stderr," #-################################### \n
       ");
97   fprintf(stderr,"\n");
98   fprintf(stderr," BEGIN TRANSMIT %zu\n", conn->frame_number
       );
99   fprintf(stderr,"\n");
```

```
100     fprintf(stderr," ###################################### \n
            ");
101
102     struct frame out_frame = { .address = A, .control =
            data_control_byte(
103         conn->frame_number), .size = size, .data = data_packet
                };
104
105     byte success_rep = data_reply_byte(conn->frame_number,
            TRUE);
106     byte rej_rep = data_reply_byte(conn->frame_number, FALSE);
107       fprintf(stderr,"success_rep = %x\n",success_rep);
108       fprintf(stderr,"rej_rep = %x\n",rej_rep);
109
110     /* Send data frame and receive confirmation.  */
111     int ntries = conn->num_retransmissions;
112     while (1) {
113       struct frame reply_frame;
114           fprintf(stderr,"trying to send frame %lu\n",conn->
                frame_number);
115       if ((ntries = f_send_acknowledged_frame(conn->fd, ntries
              ,
116           conn->timeout_s, out_frame, &reply_frame)) < 0) {
117               fprintf(stderr,"failed acknowledged frame\n");
118         return -1;
119       }
120           fprintf(stderr," ---- control = %x\n",reply_frame.
                control);
121       if (reply_frame.control == rej_rep) {
122               fprintf(stderr,"rejected frame\n");
123         if (g_use_limited_rejected_retries) {
124           --ntries;
125         }
126       }
127       if (reply_frame.control == success_rep) {
128               fprintf(stderr,"accepted frame\n");
129         break;
130       }
131     }
132
133     conn->frame_number++;
134       fprintf(stderr,"new frame number: %zu\n",conn->
              frame_number);
135     return 0;
136   }
137
138   /** \brief Establish logical connection.
139    *
140    * Open serial port, send SET, receive UA. */
141   int disconnect(struct connection* conn)
142   {
143     int return_value = 0;
144
145     /* Send DISC and receive DISC.  */
```

```
146   int ntries = conn->num_retransmissions;
147   while (1) {
148     struct frame reply;
149     if ((ntries = f_send_acknowledged_frame(conn->fd, ntries
          ,
150          conn->timeout_s, DISC, &reply)) < 0) {
151       return_value = -1;
152       break;
153     }
154     if (reply.control == C_DISC) {
155       break;
156     }
157   }
158
159   if (return_value >= 0) {
160     if (f_send_frame(conn->fd, UA) != SUCCESS_CODE) {
161       return_value = -1;
162     }
163   }
164
165   conn->is_active = 0;
166
167   // Close port
168   if (serial_port_close(conn->fd, conn->close_wait_time) <
       0) {
169     return_value = -1;
170   }
171
172 #ifdef DATA_LINK_DEBUG_MODE
173   if (return_value < 0) {
174     fprintf(stderr,"disconnect(): failed to close connection
          .\n");
175   }
176 #endif
177   return return_value;
178 }
179
180 /*
181  * RECEIVER
182  */
183
184 // TODO
185 int receiver_listen(struct connection* conn)
186 {
187   conn->max_buffer_size = LL_MAX_PAYLOAD_STUFFED;
188   conn->frame_number = 0;
189
190   if ((conn->fd = serial_port_open(conn->port, conn->
       micro_timeout_ds)) < 0) {
191 #ifdef DATA_LINK_DEBUG_MODE
192     fprintf(stderr,"listen(): could not open %s\n",conn->
          port);
193 #endif
194     return conn->fd;
```

```
195   }
196
197   while (1) {
198     struct frame in;
199     if (f_receive_frame(conn->fd, &in, 0) == ERROR_CODE) {
200       return -1;
201     }
202         fprintf(stderr,"receiver_listen: %x\n",in.control);
203     if (in.control == C_SET) {
204       f_send_frame(conn->fd, UA);
205       conn->is_active = 1;
206 #ifdef DATA_LINK_DEBUG_MODE
207       fprintf(stderr,"listen(): connection established.\n");
208 #endif
209       return 0;
210     }
211   }
212 }
213
214 int receiver_read(struct connection* conn, byte *begin,
      size_t max_data_size,
215     const int max_num_frames)
216 {
217   int num_frames = 0;
218   byte *p = begin;
219   byte *end = begin + max_data_size;
220
221   while (p < end && (num_frames < max_num_frames ||
        max_num_frames == 0)) {
222     fprintf(stderr," ######################################
          \n");
223     fprintf(stderr,"\n");
224     fprintf(stderr," BEGIN RECEIVE %zu\n", conn->
          frame_number);
225     fprintf(stderr,"\n");
226     fprintf(stderr," ######################################
          \n");
227
228     struct frame in;
229     in.data = p;
230     in.max_data_size = end - p;
231     Return_e ret = f_receive_frame(conn->fd, &in, 0);
232
233     if (ret == ERROR_CODE) {
234       return -1;
235     } else if (ret == TIMEOUT_CODE) {
236       break;
237     } else if (ret == BADFRAME_CODE) {
238 #ifdef DATA_LINK_DEBUG_MODE
239       fprintf(stderr,"receiver_read(): parsing: bad frame.\n
            ");
240 #endif
241       /*
242        * Send 'bad frame' acknowledgment.
```

```
243         */
244         byte c_out = data_reply_byte(conn->frame_number, FALSE
                );
245         if (f_send_frame(conn->fd, FRAME(c_out)) !=
                SUCCESS_CODE) {
246           break;
247         }
248       } else if (in.control == C_DISC) {
249         handle_disconnect(conn);
250         break;
251       } else if (in.control != data_control_byte(conn->
              frame_number)) {
252         /*
253          * Frame number mismatch.
254          */
255 #ifdef DATA_LINK_DEBUG_MODE
256         fprintf(stderr,"receiver_read(): bad control byte.\n")
                ;
257         fprintf(stderr,"receiver_read(): %x, %x.\n",
258             in.control,data_control_byte(conn->frame_number));
259 #endif
260         byte control = data_reply_byte(conn->frame_number,
                FALSE);
261         // reject this frame
262         if (f_send_frame(conn->fd, FRAME(control)) !=
                SUCCESS_CODE) {
263           break;
264         }
265       } else {
266 #ifdef DATA_LINK_DEBUG_MODE
267         fprintf(stderr,"receiver_read(): received: \"%.*s\".\n
                ",
268             (int)in.size,p);
269 #endif
270
271         num_frames++;
272         p += in.size;
273
274         byte control = data_reply_byte(conn->frame_number,
                TRUE);
275         if (f_send_frame(conn->fd, FRAME(control)) !=
                SUCCESS_CODE) {
276           break;
277         }
278         conn->frame_number++;
279               fprintf(stderr,"new frame number: %zu\n",conn->
                    frame_number);
280       }
281     }
282     return p - begin;
283 }
284
285 // TODO
286 int wait_for_disconnect(struct connection* conn, int timeout
```

```
    )
{
  while (1) {
    struct frame in;
    f_receive_frame(conn->fd, &in, 0);
    if (in.control == C_DISC) {
      return handle_disconnect(conn);
    } else {
#ifdef DATA_LINK_DEBUG_MODE
      fprintf(stderr,
          "receiver_wait_disconnect(): frame ignored, C=%x.\
              n",
          in.control);
#endif
    }
  }
  return -1;
}

#if 0
// ------------------------

// Function to print the pack content
char* packet_content(const char* packet, const int size)
{
  const char *hex = "0123456789ABCDEF";
  char *content = (char *) malloc(sizeof(char) * (3 * size))
      ;
  char *pout = content;
  const char *pin = packet;

  int i;

  if (pout) {

    for (i = 0; i < size - 1; i++) {
      *pout++ = hex[(*pin>>4)&0xF];
      *pout++ = hex[(*pin++)&0xF];
      *pout++ = ':';
    }
    *pout++ = hex[(*pin>>4)&0xF];
    *pout++ = hex[(*pin++)&0xF];
    *pout = 0;
  }

  return content;
}
#endif
```

data_link_io.c

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

```
4  #include <stdlib.h>
5
6  #include "serial_port.h"
7  #include "data_link.h"
8  #include "data_link_io.h"
9  #include "data_link_codes.h"
10 #include "byte.h"
11
12 volatile int g_timeout_alarm = 0;
13 void set_timeout_alarm()
14 {
15   g_timeout_alarm = 1;
16 }
17
18 static byte g_buffer[LL_MAX_FRAME_SZ]; /** Local array for
       frame building. */
19 static long g_sent_frame_counter = 0;
20 static long g_rec_frame_counter = 0;
21 static long g_header_bcc_error_counter = 0;
22 static long g_data_bcc_error_counter = 0;
23
24 struct frame FRAME(const byte control)
25 {
26   struct frame super = { .address = A, .control = control, .
       size = 0 };
27   return super;
28 }
29
30 void f_print_frame(const struct frame frame)
31 {
32   fprintf(stderr, "Frame:\n");
33   fprintf(stderr, "A:%o C:%o S:%zu\n", frame.address, frame.
       control,
34           frame.size);
35   if (frame.size > 0) {
36     for (int i = 0; i < frame.size; i++) {
37       putc(frame.data[i], stderr);
38     }
39     putc('\n', stderr);
40   }
41   putc('\n', stderr);
42 }
43
44 void f_dump_frame_buffer(const char *filename)
45 {
46   FILE* f;
47   if ((f = fopen(filename, "w")) == NULL ) {
48     fprintf(stderr, "f_dump_frame_buffer(): file error: line
         : %d\n",
49             __LINE__);
50   } else if (fprintf(f, "%.*s", LL_MAX_FRAME_SZ, g_buffer) <
       0) {
51     fprintf(stderr, "f_dump_frame_buffer(): file error: line
         : %d\n",
```

```
52          __LINE__);
53    } else if (fclose(f) == EOF) {
54      fprintf(stderr, "f_dump_frame_buffer(): file error: line
            : %d\n",
55          __LINE__);
56    }
57  }
58
59  /* Reads array and builds a "struct Frame* frame*" from it
60   * - checks if its a supervision or data frame
61   * - checks bcc
62   * - destuffs bytes
63  netlink.c * - returns SUCCESS_CODE, ERROR_CODE, or
        BADFRAME_CODE (when bcc is wrong, or
64   *   data is too large)
65   */
66  static Return_e parse_frame_from_array(struct frame* frame,
        byte *a)
67  {
68  #ifdef DATA_LINK_DEBUG_MODE
69    fprintf(stderr,"  parse_frame_from_array(): entering
          function.\n");
70    //f_dump_frame_buffer("FRAME");
71  #endif
72
73    if (*a++ != FLAG) {
74  #ifdef DATA_LINK_DEBUG_MODE
75      fprintf(stderr,"  parse_frame_from_array(): error:
            missing flag: \
76                  (line %d).\n",__LINE__);
77  #endif
78      return ERROR_CODE;
79    }
80    for (int i = 0; i <= 2; i++) { // the next fields should
          not have a FLAG
81      if (a[i] == FLAG) {
82  #ifdef DATA_LINK_DEBUG_MODE
83        fprintf(stderr,"  parse_frame_from_array(): error:
              unexpected flag \
84                    (line %d).\n",__LINE__);
85  #endif
86        return BADFRAME_CODE;
87      }
88    }
89
90    frame->address = *a++;
91    frame->control = *a++;
92    const byte header_bcc = *a++;
93    if (header_bcc != (frame->address ^ frame->control)) {
94  #ifdef DATA_LINK_DEBUG_MODE
95      fprintf(stderr,"  parse_frame_from_array(): error:
            header bcc: %d.\n",__LINE__);
96  #endif
97      ++g_header_bcc_error_counter;
```

```
98      return BADFRAME_CODE;
99    }
100   frame->size = 0;
101
102   /* Supervision frame */
103   if (*a == FLAG) {
104 #ifdef DATA_LINK_DEBUG_MODE
105     fprintf(stderr,"  parse_frame_from_array(): read a
          supervision frame.\n");
106 #endif
107     return SUCCESS_CODE;
108   }
109
110   if (*(a + 1) == FLAG) {
111 #ifdef DATA_LINK_DEBUG_MODE
112     fprintf(stderr,"  parse_frame_from_array(): error: only
          1B remaining.\n");
113 #endif
114     return BADFRAME_CODE;
115   }
116
117   /* Data frame */
118   byte data_bcc = 0;
119   size_t num_bytes = 0;
120   while (1) {
121     if (num_bytes > LL_MAX_PAYLOAD_STUFFED) {
122 #ifdef DATA_LINK_DEBUG_MODE
123       fprintf(stderr,"  parse_frame_from_array(): line %d.\n
            ",__LINE__);
124 #endif
125       return BADFRAME_CODE;
126     }
127     if (frame->size > frame->max_data_size) {
128 #ifdef DATA_LINK_DEBUG_MODE
129       fprintf(stderr,"  parse_frame_from_array(): line %d.\n
            ",__LINE__);
130 #endif
131       return BADFRAME_CODE;
132     }
133
134     byte c;
135     if (a[num_bytes] == BS_ESC) {
136       fprintf(stderr, "----\n");
137       // remove byte stuffing
138       ++num_bytes;
139       c = BS_OCT ^ a[num_bytes];
140     } else {
141       c = a[num_bytes];
142     }
143         ++num_bytes;
144         frame->data[frame->size++] = c;
145         fprintf(stderr, "%x\n", c);
146
147     /*
```

```
148       * Stop loop condition.
149       */
150      if (a[num_bytes] == FLAG) {
151        if (frame->data[frame->size-1] != data_bcc) {
152          ++g_data_bcc_error_counter;
153  #ifdef DATA_LINK_DEBUG_MODE
154          fprintf(stderr,"parse_frame_from_array(): data bcc
                 error: line %d.\n",__LINE__);
155          fprintf(stderr, "frame size %ld\n", frame->size);
156          fprintf(stderr, "data bcc = %x\n", data_bcc);
157          fprintf(stderr, "a[num_bytes-1] = %x\n", a[num_bytes
                 -1]);
158  #endif
159          return BADFRAME_CODE;
160        }
161  #ifdef DATA_LINK_DEBUG_MODE
162        fprintf(stderr,"  parse_frame_from_array(): successful
              read.\n");
163  #endif
164        return SUCCESS_CODE;
165      } else {
166              data_bcc ^= c;
167              fprintf(stderr,"c = %x, bcc = %x\n",c,data_bcc);
168          }
169
170    }
171  }
172
173  static byte *
174  copy_and_stuff_bytes(byte *dest, const byte *src, const
       size_t src_size)
175  {
176    int bcc = 0;
177    for (int i = 0; i <= src_size; ++i) {
178          byte c;
179          if (i != src_size) {
180              c = src[i];
181              bcc ^= c;
182              fprintf(stderr,"c = %x, bcc = %x\n",c,bcc);
183              //fprintf(stderr, "%2x\n", c);
184          } else {
185              fprintf(stderr,"bcc = %x\n",bcc);
186              c = bcc;
187          }
188      if (c == FLAG || c == BS_ESC) {
189        *dest++ = BS_ESC;
190        *dest++ = BS_OCT ^ c;
191      } else {
192        *dest++ = c;
193      }
194    }
195    fprintf(stderr, "size %ld (not counting bcc)\n", src_size)
         ;
196    return dest;
```

```
197 }
198
199 /** \brief Send any type of frame.
200  *
201  * Compose a g_buffer[] array from a Frame and send it to
        the serial port.
202  *
203  * @return ERROR_CODE or ERROR_SUCCESS.
204  */
205 Return_e f_send_frame(const int fd, const struct frame frame
      )
206 {
207 #ifdef DATA_LINK_DEBUG_MODE
208   fprintf(stderr,"f_send_frame(): beginning frame writing (C
        =0x%2x, %zu bytes)\n",
209       frame.control,frame.size);
210 #endif
211
212   byte *bp = g_buffer;
213
214   *bp++ = FLAG;
215
216   // write header
217   *bp++ = frame.address;
218   *bp++ = frame.control;
219   *bp++ = frame.address ^ frame.control; // bcc
220
221   // copy data
222   if (frame.size > LL_MAX_PAYLOAD_UNSTUFFED) {
223 #ifdef DATA_LINK_DEBUG_MODE
224     fprintf(stderr,"f_send_frame(): tried to send too big a
          frame \
225                 (%zu bytes)\n",frame.size);
226 #endif
227     return ERROR_CODE;
228
229   } else if (frame.size > 0) { // frame might be 0 if it is
        supervision
230     bp = copy_and_stuff_bytes(bp, frame.data, frame.size);
231 #ifdef DATA_LINK_DEBUG_MODE
232     fprintf(stderr,"f_send_frame(): unstuffed data size %ld
          .\n",frame.size);
233 #endif
234   }
235
236   *bp++ = FLAG;
237
238   if (serial_port_write(fd, g_buffer, bp - g_buffer) < 0) {
239 #ifdef DATA_LINK_DEBUG_MODE
240     fprintf(stderr,"f_send_frame(): writting failed.\n");
241 #endif
242     return ERROR_CODE;
243   }
244   ++g_sent_frame_counter;
```

```
245 #ifdef DATA_LINK_DEBUG_MODE
246   fprintf(stderr,"f_send_frame(): finished sending frame #%
        ld\n",
247        g_sent_frame_counter);
248 #endif
249   return SUCCESS_CODE;
250 }
251
252 void start_alarm(int s)
253 {
254 #ifdef DATA_LINK_DEBUG_MODE
255   fprintf(stderr,"Setting alarm: %d sec.\n",s);
256 #endif
257   signal(SIGALRM, set_timeout_alarm);  // TODO: put in init
        function
258   g_timeout_alarm = 0;
259   alarm(s);
260 }
261
262 /**
263  */
264 Return_e f_receive_frame(const int fd, struct frame* frame,
      const int timeout_s)
265 {
266 #ifdef DATA_LINK_DEBUG_MODE
267   fprintf(stderr,"  f_receive_frame(): beginning frame
        reception.\n");
268 #endif
269
270   const int using_timeout = (timeout_s > 0);
271
272   if (using_timeout) {
273     start_alarm(timeout_s);
274   }
275   while (1) {
276     while (serial_port_last_byte() != FLAG) { // first flag
277 #ifdef DATA_LINK_DEBUG_MODE
278     fprintf(stderr,"  f_receive_frame(): looking for next
          flag.\n");
279 #endif
280
281       if (serial_port_read(fd, g_buffer, FLAG,
            LL_MAX_FRAME_SZ) < 0) {
282         return ERROR_CODE;
283       }
284       if (using_timeout && g_timeout_alarm) {
285         return TIMEOUT_CODE;
286       }
287
288 #ifdef DATA_LINK_DEBUG_MODE
289       fprintf(stderr,"  f_receive_frame(): last byte=%x.\n",
290           serial_port_last_byte());
291 #endif
292     }
```

```
293 #ifdef DATA_LINK_DEBUG_MODE
294     fprintf(stderr,"  f_receive_frame(): First FLAG detected
        .\n");
295 #endif
296     g_buffer[0] = FLAG;
297
298     // skip initial flags and read
299     while (1) {
300       if (using_timeout) {
301         start_alarm(timeout_s);
302       }
303       int ret = serial_port_read(fd, g_buffer + 1, FLAG,
304           LL_MAX_FRAME_SZ - 1);
305       if (using_timeout && g_timeout_alarm) {
306         return TIMEOUT_CODE;
307       }
308       if (ret < 0) {
309         fprintf(stderr, "  f_receive_frame(): error.\n");
310         return -1;
311       }
312       if (ret > 1) {
313         break;
314       }
315     }
316
317     if (serial_port_last_byte() == FLAG) { // final flag
318 #ifdef DATA_LINK_DEBUG_MODE
319     fprintf(stderr,"  f_receive_frame(): Last FLAG detected
        .\n");
320 #endif
321       Return_e ret = parse_frame_from_array(frame, g_buffer)
          ;
322       if (ret == SUCCESS_CODE) {
323         ++g_rec_frame_counter;
324       }
325             else if (ret == BADFRAME_CODE) {
326                 fprintf(stderr,"bad frame detected while
                    parsing\n");
327             }
328       return ret;
329     }
330     if (using_timeout && g_timeout_alarm) {
331       return TIMEOUT_CODE;
332     }
333   }
334 }
335
336 /** Sends 'frame' and gets reply. */
337 int f_send_acknowledged_frame(const int fd, const unsigned
    num_retransmissions,
338     const int timeout_s, struct frame out_frame, struct
        frame *reply)
339 {
340   int ntries = (num_retransmissions <= 0) ? -1 :
```

```
        num_retransmissions;
341
342     while (ntries > 0) {
343   #ifdef DATA_LINK_DEBUG_MODE
344       fprintf(stderr,"f_send_acknowledged_frame(): ntries = %d
              .\n",ntries);
345   #endif
346
347       if (f_send_frame(fd, out_frame) == ERROR_CODE) {
348   #ifdef DATA_LINK_DEBUG_MODE
349         fprintf(stderr,"f_send_acknowledged_frame(): error
              writting\n");
350   #endif
351         return -1;
352       }
353
354       reply->control = 0;
355       Return_e ret = f_receive_frame(fd, reply, timeout_s);
356
357       if (ret == ERROR_CODE) {
358   #ifdef DATA_LINK_DEBUG_MODE
359         fprintf(stderr,"f_send_acknowledged_frame(): error
              reading\n");
360   #endif
361         return -1;
362       } else if (ret == TIMEOUT_CODE) {
363   #ifdef DATA_LINK_DEBUG_MODE
364         fprintf(stderr,"f_send_acknowledged_frame(): timeout\n
              ");
365   #endif
366         --ntries;
367         continue;
368       } else if (ret == BADFRAME_CODE) {     // reset number
            of attempts
369   #ifdef DATA_LINK_DEBUG_MODE
370           fprintf(stderr,"f_send_acknowledged_frame(): bad
                frame\n");
371   #endif
372         ntries--;
373         continue;
374           } else if ((reply->control & 7) == C_REJ) {
375               fprintf(stderr,"detected rejected frame while
                    parsing\n");
376               ntries--;
377       } else {
378         break;
379       }
380     }
381
382     return ntries;
383   }
```

A.3 Ficheiros com funções de validação

data_link_test.c

```
1  #include "data_link_codes.h"
2  #include "data_link_io.h"
3  #include "data_link.h"
4  #include "serial_port.h"
5  #include <stdio.h>
6  #include <string.h>
7  #include <assert.h>
8  #include <unistd.h>
9  #include <termios.h> // Baudrate
10 #define DEVICE "/dev/ttyS0"
11
12 int TRANSMITTER = 0;
13
14 struct connection CONNECTION = { .max_buffer_size =
       LL_MAX_PAYLOAD_STUFFED,
15     .num_retransmissions = 3, .baudrate = B300, .timeout_s =
           3,
16     .micro_timeout_ds = 11, .close_wait_time = 3 };
17
18 int are_frames_equal(struct frame f1, struct frame f2)
19 {
20   if (f1.address != f2.address) {
21     fprintf(stderr, "are_frames_equal(): %d\n", __LINE__);
22     return 0;
23   }
24   if (f1.control != f2.control) {
25     fprintf(stderr, "are_frames_equal(): %d\n", __LINE__);
26     return 0;
27   }
28   if (f1.size != f2.size) {
29     fprintf(stderr, "are_frames_equal(): %d\n", __LINE__);
30     return 0;
31   }
32   for (size_t i = 0; i < f1.size; i++) {
33     if (f1.data[i] != f2.data[i]) {
34       fprintf(stderr, "are_frames_equal(): %d\n", __LINE__);
35       return 0;
36     }
37   }
38   return 1;
39 }
40
41 // Print how the arguments must be
42 void help(char **argv)
43 {
44   printf("Usage: %s [OPTION] <serial port>\n", argv[0]);
45   printf("\n Program options:\n");
46   printf("  -t          transmit data over the serial port\n"
         );
47 }
```

```
48
49  // Verifies serial port argument
50  int parse_serial_port_arg(int index, char **argv)
51  {
52    char *dev = argv[index];
53    if ((strcmp("/dev/ttyS0", dev) != 0) && (strcmp("/dev/
        ttyS1", dev) != 0)
54        && (strcmp("/dev/ttyS4", dev) != 0)) {
55      return -3;
56    }
57    return index;
58  }
59
60  // Verifies arguments
61  int parse_args(int argc, char **argv)
62  {
63    if (argc < 2)
64      return -1;
65
66    if (argc == 2)
67      return parse_serial_port_arg(1, argv);
68
69    if (argc == 3) {
70      if ((strcmp("-t", argv[1]) != 0))
71        return -2;
72      else
73        TRANSMITTER = 1;
74
75      return parse_serial_port_arg(2, argv);
76    } else
77      return -1;
78  }
79
80  int test_1(struct connection* conn)
81  {
82    if (TRANSMITTER) {
83      f_print_frame(SET);
84      if (f_send_frame(conn->fd, SET) != SUCCESS_CODE) {
85        f_dump_frame_buffer("FRAME");
86        printf("line: %d\n", __LINE__);
87        return 1;
88      }
89
90    } else {
91
92      struct frame frame;
93      Return_e ret = f_receive_frame(conn->fd, &frame, 0);
94      f_print_frame(frame);
95      f_print_frame(SET);
96      f_dump_frame_buffer("FRAME");
97
98      if (ret != SUCCESS_CODE) {
99        printf("ret: %d\n", (int) ret);
100       printf("line: %d\n", __LINE__);
```

```
101         return 1;
102       }
103       if (!are_frames_equal(frame, SET)) {
104         printf("line: %d\n", __LINE__);
105         return 1;
106       }
107     }
108     return 0;
109   }
110
111   int test_2(struct connection* conn)
112   {
113     if (TRANSMITTER) {
114       sleep(1);
115
116       f_print_frame(SET);
117       struct frame reply;
118       if (0 > f_send_acknowledged_frame(conn->fd, 1, 10, SET,
              &reply)) {
119         printf("line: %d\n", __LINE__);
120         return -1;
121       }
122       if (reply.control != C_UA) {
123         f_dump_frame_buffer("FRAME");
124         printf("line: %d\n", __LINE__);
125         return -1;
126       }
127     } else {
128       struct frame reply;
129       Return_e ret = f_receive_frame(conn->fd, &reply, 30);
130       if (ret == ERROR_CODE) {
131         fprintf(stderr, "ret = %d\n", ret);
132         printf("line: %d\n", __LINE__);
133         return 1;
134       }
135       if (reply.control == C_SET) {
136         f_send_frame(conn->fd, UA);
137       }
138     }
139     return 0;
140   }
141
142   int test_3(struct connection* conn)
143   {
144     int test_timeout_time = 3;
145
146     if (TRANSMITTER) {
147       f_print_frame(SET);
148       f_dump_frame_buffer("FRAME");
149       struct frame reply;
150       if (0
151           > f_send_acknowledged_frame(conn->fd, 3,
                test_timeout_time, SET,
152               &reply)) {
```

```
153         printf("line: %d\n", __LINE__);
154         return 1;
155       }
156       if (reply.control != C_UA) {
157         printf("line: %d\n", __LINE__);
158         return 1;
159       }
160     } else {
161       printf("Sleeping for %d seconds...", test_timeout_time +
              1);
162       sleep(test_timeout_time + 1); // force timeout
163 
164       struct frame reply;
165       Return_e ret;
166 
167       ret = f_receive_frame(conn->fd, &reply, 3);
168       if (ret == ERROR_CODE) {
169         fprintf(stderr, "ret = %d\n", ret);
170         printf("line: %d\n", __LINE__);
171         return 1;
172       }
173       ret = f_receive_frame(conn->fd, &reply, 3);
174       if (ret == ERROR_CODE) {
175         fprintf(stderr, "ret = %d\n", ret);
176         printf("line: %d\n", __LINE__);
177         return 1;
178       }
179       if (reply.control == C_SET) {
180         f_send_frame(conn->fd, UA);
181       }
182     }
183     return 0;
184 }
185 
186 int test_4(struct connection *conn)
187 {
188   if (TRANSMITTER) {
189     if (transmitter_connect(conn) < 0) {
190       printf("line: %d\n", __LINE__);
191       return 1;
192     }
193     printf("Connection established.\n");
194     if (disconnect(conn) < 0) {
195       printf("line: %d\n", __LINE__);
196       return 1;
197     }
198   } else {
199     if (receiver_listen(conn) < 0) {
200       printf("line: %d\n", __LINE__);
201       return 1;
202     }
203     if (wait_for_disconnect(conn, 0) < 0) {
204       printf("line: %d\n", __LINE__);
205       return 1;
```

```
206       }
207     }
208     return 0;
209   }
210
211   int test_single_message(struct connection *conn, byte* data)
212   {
213     if (TRANSMITTER) {
214       if (transmitter_connect(conn) < 0) {
215         printf("line: %d\n", __LINE__);
216         return 1;
217       }
218
219       byte* s = data;
220       if (transmitter_write(conn, s, strlen((char*) s) + 1) <
              0) {
221         printf("line: %d\n", __LINE__);
222         return 1;
223       }
224       printf("--- Transmitted: %s\n", (char*) s);
225
226       if (disconnect(conn) < 0) {
227         printf("line: %d\n", __LINE__);
228         return 1;
229       }
230     } else {
231       if (receiver_listen(conn) < 0) {
232         printf("line: %d\n", __LINE__);
233         return 1;
234       }
235
236       byte dest[8000];
237
238       if (receiver_read(conn, dest, 8000, 0) < 0) {
239         printf("line: %d\n", __LINE__);
240         return 1;
241       }
242       printf("--- Received: %s\n", (char*) dest);
243       if (strcmp((char*) dest, (char*) data) != 0) {
244         printf("%s\n", (char*) dest);
245         printf("%s\n", (char*) data);
246         printf("line: %d\n", __LINE__);
247         return 1;
248       }
249     }
250     return 0;
251   }
252
253   int test_5(struct connection* conn)
254   {
255     char *data = "isto e um teste";
256     return test_single_message(conn, (byte*) data);
257   }
258
```

```
259 int test_6(struct connection* conn)
260 {
261   char data[] = "Flag: x, Escape: x";
262   data[6] = FLAG;
263   data[17] = BS_ESC;
264   return test_single_message(conn, (byte*) data);
265 }
266
267 int send_message(struct connection* conn, byte* s)
268 {
269   int len = strlen((char*) s);
270   if (len == 0) {
271     len = 1;
272   }
273   if (transmitter_write(conn, s, len) < 0) {
274     printf("line: %d\n", __LINE__);
275     return 1;
276   }
277   printf("--- Transmitted: %s\n", (char*) s);
278   return 0;
279 }
280
281 int test_7(struct connection* conn)
282 {
283   char data1[] = "isto ";
284   char data2[] = "e ";
285   char data3[] = "um ";
286   char data4[] = "teste ";
287   char data5[] = "com ";
288   char data6[] = "varias ";
289   char data7[] = "tramas.";
290   char data8[] = "";
291   char final_string[] = "isto e um teste com varias tramas."
       ;
292
293   printf("data1 = %s\n", data1);
294
295   if (TRANSMITTER) {
296     if (transmitter_connect(conn) < 0) {
297       printf("line: %d\n", __LINE__);
298       return 1;
299     }
300     send_message(conn, (byte*) data1);
301     send_message(conn, (byte*) data2);
302     send_message(conn, (byte*) data3);
303     send_message(conn, (byte*) data4);
304     send_message(conn, (byte*) data5);
305     send_message(conn, (byte*) data6);
306     send_message(conn, (byte*) data7);
307     send_message(conn, (byte*) data8);
308
309     if (disconnect(conn) < 0) {
310       printf("line: %d\n", __LINE__);
311       return 1;
```

```
312       }
313     } else {
314       if (receiver_listen(conn) < 0) {
315         printf("line: %d\n", __LINE__);
316         return 1;
317       }
318
319       byte dest[8000];
320
321       if (receiver_read(conn, dest, 8000, 0) < 0) {
322         printf("line: %d\n", __LINE__);
323         return 1;
324       }
325       printf("--- Received: %s\n", (char*) dest);
326       if (strcmp((char*) dest, final_string) != 0) {
327         printf("%s\n", (char*) dest);
328         printf("%s\n", final_string);
329         printf("line: %d\n", __LINE__);
330         return 1;
331       }
332     }
333     return 0;
334   }
335
336   int main(int argc, char *argv[])
337   {
338     int i;
339     if ((i = parse_args(argc, argv)) < 0) {
340       help(argv);
341       printf("line: %d\n", __LINE__);
342       return 1;
343     }
344
345     struct connection conn = CONNECTION;
346
347     strcpy(conn.port, argv[i]);
348
349     if ((conn.fd = serial_port_open(conn.port, conn.
          micro_timeout_ds)) < 0) {
350       printf("line: %d\n", __LINE__);
351       return 1;
352     }
353     assert(test_1(&conn) == 0);
354     printf(" ------------ Passed test 1\n");
355     assert(test_2(&conn) == 0);
356     printf(" ------------ Passed test 2\n");
357     assert(test_3(&conn) == 0);
358     printf(" ------------ Passed test 3\n");
359     if (serial_port_close(conn.fd, 3) < 0) {
360       printf("line: %d\n", __LINE__);
361       return 1;
362     }
363
364     assert(test_4(&conn) == 0);
```

```
365     printf(" ------------ Passed test 4\n");
366     assert(test_5(&conn) == 0);
367     printf(" ------------ Passed test 5\n");
368     assert(test_6(&conn) == 0);
369     printf(" ------------ Passed test 6\n");
370     assert(test_7(&conn) == 0);
371     printf(" ------------ Passed test 7\n");
372     printf("Finished\n");
373     return 0;
374 }
```

serial_port_test.c

```
1  #include <fcntl.h>
2  #include <stdio.h>
3  #include <string.h>
4  #include <stdlib.h>
5  #include <unistd.h>
6  #include <assert.h>
7
8  #include "serial_port.h"
9  #include "data_link.h"
10 #include "byte.h"
11
12 #define FALSE 0
13 #define TRUE 1
14
15 #define BUFSIZE 4096
16
17 int is_transmitter = FALSE;
18
19 // Print how the arguments must be
20 void help(char **argv)
21 {
22   printf("Usage: %s [OPTION] <serial port>\n", argv[0]);
23   printf("\n Program options:\n");
24   printf("  -t         transmit data over the serial port\n"
       );
25 }
26
27 // Verifies serial port argument
28 int parse_serial_port_arg(int index, char **argv)
29 {
30     char *dev = argv[index];
31   if ( (strcmp("/dev/ttyS0", dev)!= 0) &&
32     (strcmp("/dev/ttyS1", dev)!=0) &&
33     (strcmp("/dev/ttyS4", dev)!=0) ) {
34     return -3;
35     }
36   return index;
37 }
38
39 // Verifies arguments
40 int parse_args(int argc, char **argv)
```

```
41 {
42   if (argc < 2)
43     return -1;
44
45   if (argc == 2)
46     return parse_serial_port_arg(1, argv);
47
48   if (argc == 3) {
49     if ( (strcmp("-t", argv[1]) != 0) )
50       return -2;
51     else is_transmitter = TRUE;
52
53     return parse_serial_port_arg(2, argv);
54   }
55   else return -1;
56 }
57
58 int send_receive_test(char* port,byte* test_message)
59 {
60     int timeout = 0;
61     int fd = serial_port_open(port,timeout);
62     if (fd < 0) {
63         fprintf(stderr,"serial_port_test: serial_port_open
              returned %d\n",fd);
64         printf("line: %d\n",__LINE__);
65         return 1;
66     }
67
68     byte s[BUFSIZE];
69     if (is_transmitter) {
70         int len = strlen((char*)test_message);
71         if (serial_port_write(fd,(byte*)test_message,len+1)
              < 0) {
72             printf("line: %d\n",__LINE__);
73             return 1;
74         }
75         printf("len = %d\n",len);
76         //printf("Message sent: %s\n",s);
77
78         byte s[BUFSIZE];
79         for (int i=0; i < BUFSIZE; i++) {
80             s[i] = 1;
81         }
82         int r = serial_port_read(fd,s,'\0',BUFSIZE);
83         if (r <= 0) {
84             printf("r = %d\n",r);
85             printf("line: %d\n",__LINE__);
86             return 1;
87         }
88         //printf("Message received: %s\n",s);
89
90   if (strcmp((char*)test_message,(char*)s) != 0) {
91         printf("r = %d\n",r);
92     printf("Test failed\n");
```

```
93          /*
94          for (int i = 0; test_message[i] != '\0'; ++i) {
95              if (test_message[i] != s[i]) {
96                  printf("test_message %x\n",test_message[i]);
97                  printf("s %x\n",s[i]);
98              }
99          }
100         */
101     return -1;
102   }
103
104     } else {
105         if (serial_port_read(fd,s,'\0',BUFSIZE) < 0) {
106             printf("line: %d\n",__LINE__);
107             return 1;
108         }
109         //printf("Message received: %s\n",s);
110
111         int len = strlen((char*)s);
112         if (serial_port_write(fd,s,len+1) < 0) {
113             printf("line: %d\n",__LINE__);
114             return 1;
115         }
116         //printf("Message sent: %s\n",(char*)s);
117     }
118
119     if (serial_port_close(fd,3) < 0) {
120         fprintf(stderr,"serial_port_test: serial_port_close
                returned \
121                 negative\n");
122         printf("line: %d\n",__LINE__);
123         return 1;
124     }
125     return 0;
126 }
127
128
129 int test1(int argc,char **argv)
130 {
131      // Verifies arguments
132      int i = -1;
133      if ( (i = parse_args(argc, argv)) < 0 ) {
134       help(argv);
135              printf("line: %d\n",__LINE__);
136       return 1;
137      }
138
139     if (send_receive_test(argv[i],(byte*)"Um pequeno passo
            para o homem...") == 0) {
140         printf("Test 1 passed\n");
141     }
142     return 0;
143 }
144
```

```
145 int get_frame(byte *dest,byte *src,byte flag)
146 {
147     for (int i = 0; i < BUFSIZE; i++) {
148         if (src[i] == flag) {
149             dest[i] = '\0';
150             return i;
151         }
152         dest[i] = src[i];
153     }
154     return -1;
155 }
156
157 int test2(int argc,char **argv)
158 {
159     // Verifies arguments
160     int i = -1;
161     if ((i = parse_args(argc, argv)) < 0 ) {
162         help(argv);
163         printf("line: %d\n",__LINE__);
164        return 1;
165     }
166
167     int timeout = 0;
168     int fd = serial_port_open(argv[i],timeout);
169     if (fd < 0) {
170         fprintf(stderr,"serial_port_test: serial_port_open
            returned %d\n",fd);
171         printf("line: %d\n",__LINE__);
172         return 1;
173     }
174
175
176     if (is_transmitter) {
177         byte *test_string = (byte*) "
            F0001FF0002F0003F0004F  ";
178
179         int len = strlen((char*)test_string);
180         if (serial_port_write(fd,test_string,len+1) < 0) {
181             printf("line: %d\n",__LINE__);
182             return 1;
183         }
184     } else {
185         // Read until first flag
186         byte tmp[BUFSIZE];
187         for (int i = 0; i < BUFSIZE; i++) { // init
188             tmp[i] = 'x';
189         }
190         if (serial_port_read(fd,tmp,'F',BUFSIZE) < 0) {
191             printf("line: %d\n",__LINE__);
192             return 1;
193         }
194
195         byte dest[BUFSIZE];
196         for (int i = 0; i < BUFSIZE; i++) { // init
```

```
197             dest[i] = 'x';
198         }
199
200         byte *frames[] =
201         { (byte*)"0001", (byte*)"0002", (byte*)"0003", (byte
                *)"0004" };
202
203         // Read a few frames
204         for (int i = 0; i < 4; i++) {
205             // Read a frame
206             if (serial_port_read(fd,tmp,'F',BUFSIZE) < 0) {
207                 printf("line: %d\n",__LINE__);
208                 return 1;
209             }
210
211             byte plb = serial_port_previous_last_byte();
212             printf("previous last byte: %c\n",plb);
213             if (plb != 'F') {
214                 printf("line: %d\n",__LINE__);
215                 return 1;
216             }
217
218             int size = get_frame(dest,tmp,'F');
219             if (size < 0) {
220                 printf("line: %d\n",__LINE__);
221                 return 1;
222             } else if (size == 0) {
223                 // Space in between 'F's
224                 --i;
225             } else {
226                 printf("frame %d: %s\n",i,(char*)dest);
227                 if (strcmp((char*)dest,(char*)frames[i]) !=
                        0) {
228                     printf("line: %d\n",__LINE__);
229                     return 1;
230                 }
231             }
232         }
233     }
234
235     if (serial_port_close(fd,3) < 0) {
236         fprintf(stderr,"serial_port_test: serial_port_close
                returned \
237                 negative\n");
238         return 1;
239     }
240
241     printf("Test 2 passed\n");
242     return 0;
243 }
244
245 int test3(int argc,char **argv)
246 {
247     // Verifies arguments
```

```
248     int i = -1;
249     if ( (i = parse_args(argc, argv)) < 0 ) {
250         help(argv);
251         printf("line: %d\n",__LINE__);
252         return 1;
253     }
254 
255     byte message[256];
256     for (int j = 0; j < 256; ++j) {
257       message[j] = j+1;
258     }
259     message[255] = '\0';
260     //message[0] = 100;
261     //message[1] = 101;
262     //message[2] = 0;
263 
264     if (send_receive_test(argv[i],message) == 0) {
265         printf("Test 3 passed\n");
266     }
267     return 0;
268 }
269 
270 int main(int argc, char **argv)
271 {
272     //printf("Test 1...\n");
273     //assert(test1(argc,argv) == 0);
274 
275     //printf("Test 2...\n");
276     //assert(test2(argc,argv) == 0);
277 
278     printf("Test 3...\n");
279     assert(test3(argc,argv) == 0);
280   return 0;
281 }
```