

RCI Peer-to-Peer Stream Delivery Network

Code Name: I am root!

*Redes de Computadores e Internet
2º Semestre 2018/2019
Projecto de Laboratório*

Índice

1. Descrição do projecto	1
Introdução.....	1
Identificação dos <i>streams</i>	2
Descoberta de pontos de acesso	2
Adesão à árvore de escoamento	2
Abandono da árvore de escoamento – terminação da aplicação	3
Interrupção e restabelecimento do <i>stream</i>	3
Monitorizar a estrutura da árvore de escoamento	3
Multiplexagem de dados nas sessões TCP.....	3
2. Invocação e arranque da aplicação <i>iamroot</i>	4
3. Interface de utilizador	5
<i>streams</i>	5
<i>status</i>	5
<i>display on/off</i>	6
<i>format ascii/hex</i>	6
<i>debug on/off</i>	6
<i>tree</i>	6
<i>exit</i>	6
4. Protocolo de comunicação com o servidor de raízes.....	7
WHOISROOT.....	7
URROOT	8
ROOTIS	8
REMOVE	9
DUMP	9
STREAMS	9
ERROR	10
5. Protocolo de comunicação com o servidor de acesso	10
POPREQ.....	10
POPRESP	10
6. Protocolo de comunicação entre pares	11
Adesão à árvore de escoamento	11
WELCOME (↓).....	11
NEW_POP (↑)	12
REDIRECT (↓)	12

Interrupção e estabelecimento do <i>stream</i>	13
STREAM_FLOWING (↓).....	13
BROKEN_STREAM (↓).....	13
Encapsulamento dos dados do <i>stream</i>	13
DATA (↓)	13
Descoberta de pontos de acesso	13
POP_QUERY (↓)	13
POP_REPLY (↑).....	14
Monitorização da estrutura da árvore de escoamento	15
TREE_QUERY (↓).....	15
TREE_REPLY (↑)	15
7. Desenvolvimento	16
8. Bibliografia	17
9. Entrega do Projecto.....	17

1. Descrição do projecto

Introdução

Pretende-se neste projecto desenvolver uma aplicação, designada **iamroot**, com a qual um conjunto de pares mantém uma rede em árvore, construída à base de sessões TCP estabelecidas entre eles, a qual é usada para a disseminação de um conteúdo **stream** disponibilizado por um servidor TCP designado **fonte**.

O servidor fonte aceita, em simultâneo, um número finito de sessões TCP, sendo que o tráfego de dados nestas sessões é estritamente no sentido servidor – cliente (jusante), e deve ser encarado como uma sequência potencialmente ilimitada de *bytes (stream)*. O desenvolvimento dos servidores fonte não faz parte deste projecto.

A disseminação de um conteúdo *stream* pelas aplicações **iamroot** será realizada através de uma **árvore de escoamento**, na qual

- cada nó é uma aplicação **iamroot**;
- cada aresta é uma sessão TCP entre aplicações pares;
- existe um nó, designado **raiz**, directamente ligado ao servidor fonte como seu cliente.

Assim, cada par terá uma sessão TCP a montante, de onde recebe o *stream*, e uma ou mais sessões TCP a jusante, para onde envia o *stream* recebido. Esta arquitectura está ilustrada no exemplo apresentado na figura 1.

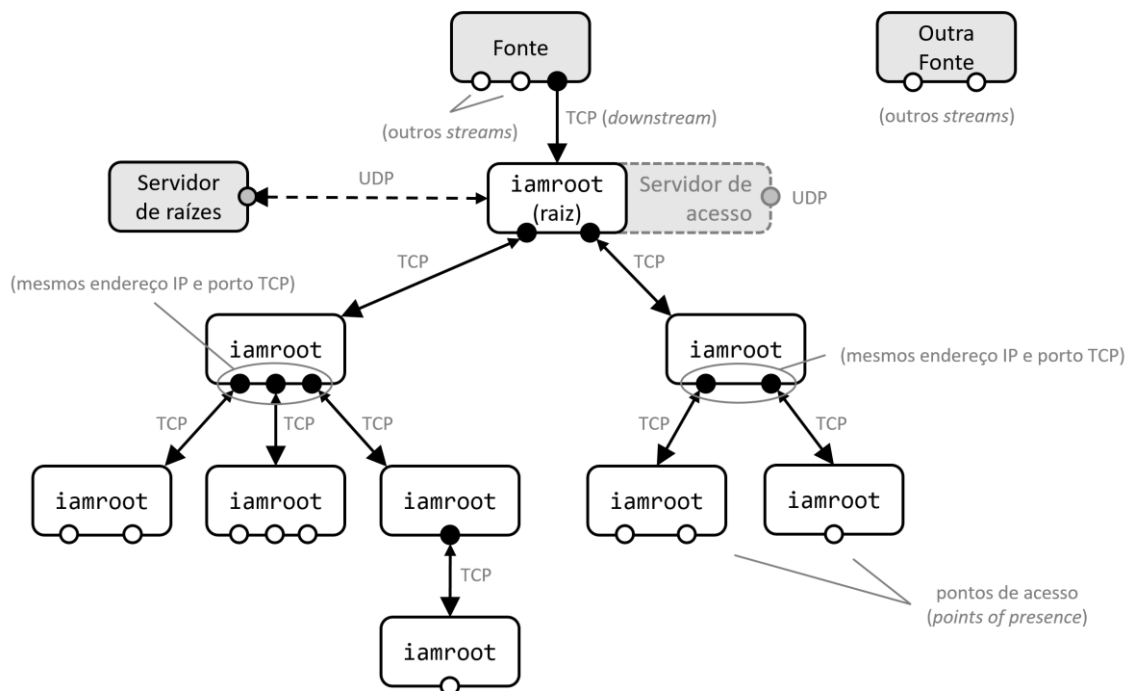


Figura 1: Exemplo de uma árvore de escoamento usada para a disseminação de um conteúdo *stream* através da aplicação **iamroot**.

A adesão de novos pares à árvore de escoamento será feita com o auxílio de um **servidor de acesso**, implementado na raiz de cada árvore de escoamento. Este servidor faz parte da aplicação **iamroot**, e fornece o endereço IP e porto TCP onde o *stream* pode ser descarregado (**ponto de acesso – point of presence**).

Como suporte ao funcionamento da aplicação *iamroot*, existirá um **servidor de raízes** onde estará registado, para cada *stream*, qual o respectivo servidor de acesso. O desenvolvimento do servidor de raízes não faz parte deste projecto.

O abandono da árvore de escoamento, por um par, é feito através da terminação das sessões TCP e, no caso de ser raiz, da remoção do registo no servidor de raízes. No caso de abandono de um par a montante, há que garantir o restabelecimento do *stream* para os pares a jusante.

A aplicação *iamroot* deve disponibilizar uma interface de utilizador, do tipo linha de comandos, através da qual o utilizador pode visualizar a funcionalidade da aplicação.

Identificação dos *streams*

Cada *stream* é identificado por um nome, pelo endereço IP e pelo porto TCP do servidor fonte, que são conhecidos do utilizador e especificados na invocação da aplicação.

A manipulação dos identificadores dos *streams* deve ser insensível ao uso de maiúsculas.

Streams com identificadores diferentes devem ser considerados *streams* distintos, embora possam ter, como fonte, o mesmo servidor (mesmo endereço IP e porto TCP).

Descoberta de pontos de acesso

A descoberta de pontos de acesso ao *stream* é feito pela raiz, através de uma interrogação difundida a jusante, pela árvore de escoamento, até que sejam alcançados pares com capacidade para aceitar sessões TCP. Cada par com capacidade disponível deve responder a montante indicando o endereço IP e o porto TCP onde está disponível para aceitar sessões TCP e quantas sessões TCP ainda estão disponíveis. Na propagação, a montante, até à raiz, destas respostas, os pares devem apenas propagar as primeiras *n* respostas recebidas, sendo o valor de *n* escolhido pela raiz.

As interrogações e respectivas respostas são acompanhadas por um identificador numérico único, escolhido pela raiz. Este identificador é usado pelos pares para identificar a interrogação a que diz respeito uma resposta recebida a jusante.

O número de sessões TCP que cada par servirá a jusante é escolhido na invocação da aplicação, deve ser maior ou igual a um, e pode variar de par para par.

Adesão à árvore de escoamento

Na adesão à árvore de escoamento de um *stream*, um par deve interrogar o servidor de raízes no sentido de lhe ser indicado o endereço IP e o porto UDP do servidor de acesso da raiz.

No caso de, no servidor de raízes, não estar registada uma raiz para o *stream* em questão, o par deverá constituir-se raiz da árvore de escoamento e estabelecer uma sessão TCP directamente com o servidor fonte. Sendo raiz, o par deverá refrescar periodicamente o registo no servidor de raízes, dado que cada registo tem uma validade limitada, sendo eliminado quando a sua validade expirar.

Se no servidor de raízes já estiver registada a raiz para o *stream* em questão, o par deve interrogar o servidor de acesso da raiz no sentido de lhe ser indicado um ponto de acesso.

Ao estabelecer uma sessão TCP com o ponto de acesso que lhe foi indicado, o par deve estar preparado para o facto de esse ponto de acesso poder ter sido, entretanto, ocupado, já não estando, portanto, disponível.

Se o ponto de acesso estiver disponível, o par recebe uma mensagem confirmando a adesão à árvore de escoamento, devendo de seguida enviar a montante a identificação do novo ponto de acesso que passará agora a fazer parte da árvore de escoamento.

Se o ponto de acesso não estiver disponível, o par recebe uma mensagem que o redireccionará para outro ponto de acesso mais a jusante, com o qual deverá estabelecer a sessão TCP. A sessão TCP anteriormente estabelecida, com o ponto de acesso não disponível, deverá ser terminada. Note-se que, neste processo de adesão pode ocorrer mais do que um redireccionamento.

Abandono da árvore de escoamento – terminação da aplicação

Em caso de terminação, um par abandona a árvore de escoamento através do fecho das suas sessões TCP. O abandono de um par é detectado pelos seus vizinhos através da detecção da terminação das sessões TCP. No caso de ser raiz da árvore de escoamento, o par deve retirar o registo do servidor de raízes antes de terminar as sessões a jusante.

Interrupção e restabelecimento do *stream*

No desenvolvimento da aplicação *iamroot*, devem ser implementados mecanismos que permitam o restabelecimento da disseminação do *stream* pela árvore de escoamento em caso de interrupção das sessões TCP. Estas situações podem ocorrer por abandono de pares que a jusante tenham outros pares, ou por falha das respectivas sessões TCP.

Se um par detectar que uma das suas sessões TCP a jusante terminou, então passa a ter capacidade para aceitar uma nova sessão TCP. Este é o caso em que o par está imediatamente a montante da interrupção do *stream*.

Se um par detectar que a sua sessão TCP a montante terminou, então deve adoptar os procedimentos de adesão à árvore de escoamento. Este é o caso em que o par está imediatamente a jusante da interrupção do *stream*.

Para além disto, todos os pares a jusante de uma sessão TCP que tenha sido interrompida devem ter indicação da interrupção do *stream*.

Quando um par adere à árvore de escoamento deve assumir que o *stream* está interrompido, pelo que, se não estiver, lhe deve ser enviada uma mensagem a indicar o estabelecimento do *stream*, mensagem essa que deve ser difundida a jusante.

Monitorizar a estrutura da árvore de escoamento

Devem ser implementados mecanismos que permitam, à raiz, monitorizar a estrutura da árvore de escoamento, num dado instante, após solicitação na interface de utilizador.

Esta monitorização é feita através do uso de mensagens que permitem à raiz interrogar um dado par (identificado pelo endereço TCP e pelo porto TCP do ponto de acesso que disponibiliza) acerca da sua capacidade (quantas sessões TCP suporta) e ocupação (qual o endereço IP e o porto TCP de cada ponto de acesso disponibilizado pelos pares imediatamente a jusante). Estas mensagens devem ser propagadas a jusante até se atingir o par em questão. A respectiva resposta deve ser propagada a montante até à raiz.

Multiplexagem de dados nas sessões TCP

Os dados do *stream* partilham as sessões TCP com dados de controlo, como por exemplo as interrogações e respostas associadas à descoberta de um ponto de acesso. Estes diferentes tipos de dados são encapsulados em mensagens com cabeçalhos específicos que permitem a quem as recebe identificar o tipo de dados que contém.

2. Invocação e arranque da aplicação *iamroot*

A aplicação *iamroot* é invocada da seguinte forma:

```
iamroot [<streamID>] [-i <ipaddr>] [-t <tpport>] [-u <uport>]  
        [-s <rsaddr>[:<rsport>]]  
        [-p <tcpsessions>]  
        [-n <bestpops>] [-x <tsecs>]  
        [-b] [-d] [-h]
```

em que

- <streamID> é a identificação do *stream*, sendo uma sequência de caracteres ASCII, alfanuméricos, sem espaços, com um tamanho máximo de 63 caracteres, composta pelo nome do *stream*, pelo endereço IP e porto TCP do servidor fonte, separados entre si pelo carácter ':' (ASCII 58, HEX 3A);
- <ipaddr> é o endereço IP da interface de rede usada pela aplicação;
- <tpport> é o porto TCP onde a aplicação aceita sessões de outros pares a jusante (por omissão 58000);
- <uport> é o porto UDP do servidor de acesso (por omissão, 58000);
- <rsaddr> é o endereço IP do servidor de raízes (por omissão, 193.136.138.142);
- <rsport> é o porto UDP do servidor de raízes (por omissão, 59000);
- <tcpsessions> é o número de sessões TCP, não inferior a um, que esta instância da aplicação irá aceitar para a ligação de pares a jusante (por omissão, um);
- <bestpops> é o número de pontos de acesso, não inferior a um, a recolher por esta instância da aplicação, quando raiz, durante a descoberta de pontos de acesso (por omissão, um);
- <tsecs> é o período, em segundos, associado ao registo periódico que a raiz deve fazer no servidor de raízes (por omissão, 5 segundos);
- -b desactiva a apresentação de dados do *stream* na interface (por omissão, os dados do *stream* são apresentados na interface);
- -d é usada para que a aplicação apresente na interface de utilizador informação detalhada acerca do seu funcionamento;
- -h força a aplicação a apresentar a sinopse da linha de comandos, associada à invocação da aplicação, e a terminar de seguida.

Apresenta-se de seguida um exemplo da invocação da aplicação:

```
iamroot mystream:193.136.138.142:59000 -i 193.136.138.142 -t 58001 -u  
58002 -s 193.136.138.142:59000 -p 3
```

Em resultado da invocação, a aplicação deve verificar se foi especificada a identificação de um *stream*. Se esta não tiver sido especificada, a aplicação deve apresentar a lista de *streams* registados no servidor de raízes, e terminar de seguida.

Se a identificação de um *stream* tiver sido especificada, a aplicação deve

- I. solicitar ao servidor de raízes o endereço IP e o porto UDP do servidor de acesso da raiz da árvore de escoamento associada ao *stream* <streamID>.

Caso não haja nenhuma raiz associada ao *stream*, a aplicação ficará registada no servidor de raízes como sendo a raiz da nova árvore de escoamento, devendo então

- II. estabelecer uma sessão TCP com o servidor fonte;
- III. instalar o servidor de TCP para o ponto de acesso a jusante;
- IV. instalar o servidor (UDP) de acesso da raiz;
- V. executar a interface de utilizador.

Sendo raiz da árvore de escoamento, a aplicação deverá refrescar periodicamente o registo no servidor de raízes.

Caso já exista uma árvore de escoamento associada ao *stream*, a aplicação deverá

- VI. solicitar ao servidor de acesso da raiz o endereço IP e o porto TCP do ponto de acesso onde o *stream* possa ser descarregado;
- VII. estabelecer uma sessão TCP com o ponto de acesso;
- VIII. aguardar confirmação da adesão à árvore de escoamento.

Em caso de confirmação da adesão à árvore de escoamento, a aplicação deverá

- IX. instalar o servidor de TCP para o ponto de acesso que irá disponibilizar a jusante;
- X. enviar a montante a identificação do novo ponto de acesso;
- XI. executar a interface de utilizador.

Se a adesão à árvore de escoamento não se confirmar, por o ponto de acesso não estar disponível, será recebida uma mensagem de redireccionamento com a identificação do novo ponto de acesso. Nesse caso, a aplicação deverá

- XII. terminar a sessão TCP estabelecida (com o ponto de acesso ocupado);
- XIII. voltar ao ponto VII.

Durante a execução da interface de utilizador a aplicação deve assegurar-se que todos os protocolos necessários à disseminação do *stream* são correctamente executados.

3. Interface de utilizador

A aplicação *iamroot* deve disponibilizar uma interface de utilizador, do tipo linha de comandos. A interface deve ser insensível ao uso de maiúsculas e deve compreender os comandos que se apresentam de seguida.

streams

O comando *streams* apresenta na interface uma lista com os *streams* registados no servidor de raízes.

status

O comando *status* apresenta na interface a seguinte informação:

- identificação do *stream*;
- indicação se o *stream* está interrompido;
- indicação se a aplicação é raiz da árvore de escoamento;
- endereço IP e porto UDP do servidor de acesso, se for raiz;
- endereço IP e porto TCP do ponto de acesso onde está ligado (a montante), se não for raiz;

- endereço IP e porto TCP do ponto de acesso disponibilizado;
- número de sessões TCP suportadas a jusante e indicação de quantas se encontram ocupadas;
- endereço IP e porto TCP dos pontos de acesso dos pares imediatamente a jusante.

display on/off

O comando `display` permite activar (`display on`) ou desactivar (`display off`) a apresentação dos dados do *stream* na interface. No que diz respeito a este aspecto, a aplicação deve arrancar de acordo com as indicações expressas na invocação da aplicação (ver opção -b).

Independentemente de a apresentação dos dados do *stream* estar activa, ou desactiva, a aplicação deve sempre replicar a jusante os dados, associados ao *stream*, recebidos de montante, assim como, deve sinalizar ao utilizador qualquer interrupção ou restabelecimento das sessões TCP, a montante, ou a jusante.

format ascii/hex

O comando `format` permite escolher o formato em que os dados do *stream* são apresentados na interface.

Por omissão, a aplicação deve considerar o formato ASCII (`format ascii`), em que o conteúdo de cada *byte* é representado de acordo com o código ASCII correspondente.

Se através deste comando for escolhido o formato hexadecimal (`format hex`), a aplicação deve apresentar cada *byte* do *stream* usando a representação hexadecimal. Este formato é particularmente interessante para conteúdos que não tenham sido pensados para serem representados em ASCII.

debug on/off

O comando `debug` permite activar (`debug on`) ou desactivar (`debug off`) o modo de apresentação de informação detalhada acerca do funcionamento da aplicação. No que diz respeito a este aspecto, a aplicação deve arrancar de acordo com as indicações expressas na invocação da aplicação (ver opção -d).

Quando este modo está activado deve ser indicado na interface de utilizador, de forma resumida, qualquer envio ou recepção de mensagens para os pares, para o servidor de raízes, ou para os servidores de acesso.

tree

O comando `tree` apresenta a estrutura da árvore de escoamento associada à disseminação do *stream*. Nesta estrutura deve ser identificado cada par pelo endereço IP e pelo porto TCP do ponto de acesso que disponibiliza. Para cada par, deve ser indicado o número de sessões TCP suportadas a jusante e devem ser identificados os pares imediatamente a jusante.

Apresenta-se na figura 2 um exemplo da utilização deste comando.

exit

O comando `exit` abandona a aplicação. Antes de terminar, a aplicação deve executar os procedimentos associados ao abandono da árvore de escoamento.

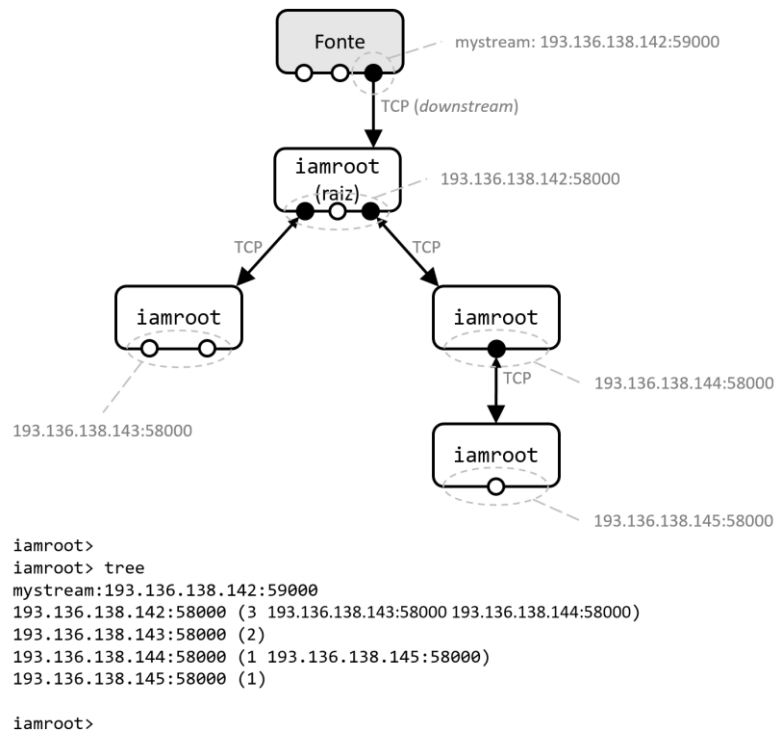


Figura 2: Exemplo da utilização do comando tree na interface de utilizador.

4. Protocolo de comunicação com o servidor de raízes

O protocolo de comunicação com o servidor de raízes funciona sobre UDP e compreende as mensagens protocolares apresentadas em seguida. O endereço IP e o porto UDP do servidor de raízes são respectivamente 193.136.138.142 e 59000. Note-se, no entanto, que, no acesso ao servidor de raízes a partir da rede privada do laboratório deve ser usado o endereço privado 192.168.1.1.

WHOISROOT

Esta mensagem é enviada ao servidor de raízes, por uma aplicação iamroot, pedindo o endereço IP e o porto UDP, do servidor de acesso da raiz da árvore de escoamento, associados a um *stream*, identificado no pedido. Para além de, no pedido, ser identificado o *stream*, é também indicado o endereço IP e o porto UDP do servidor de acesso da aplicação iamroot que faz o pedido. Caso não haja nenhum registo no servidor de raízes associado ao *stream*, a aplicação iamroot que faz o pedido ficará registada como raiz do *stream* em questão.

O formato desta mensagem é o seguinte:

WHOISROOT<SP><streamID><SP><ipaddr>:<uport><LF>

em que

- <SP> representa um espaço (*space* – ASCII 32, HEX 20);
- <streamID> é a identificação do *stream*;
- <ipaddr> e <uport> são respectivamente o endereço IP e o porto UDP do servidor de acesso da aplicação iamroot que faz o pedido;
- <LF> representa o carácter '\n' (*line feed* – ASCII 10, HEX 0A).

Em resposta a este pedido, o servidor de raízes envia uma mensagem URROOT, se a aplicação tiver sido registada como raiz, ou a uma mensagem ROOTIS, se já estiver registada uma raiz.

Se o pedido WHOISROOT estiver mal formatado, ou com dados inválidos, ou o servidor de raízes não tiver capacidade para aceitar um novo registo, o servidor envia em resposta uma mensagem ERROR.

Apresenta-se de seguida um exemplo da mensagem WHOISROOT:

```
WHOISROOT mystream:193.136.138.142:59000 193.136.138.142:58002
```

(não está visível, neste exemplo, a presença do carácter *line feed* no final da mensagem).

URROOT

Esta mensagem é enviada pelo servidor de raízes em resposta a um pedido feito com a mensagem WHOISROOT e dá indicação que a aplicação que fez o pedido ficou registada como raiz do *stream*.

O formato desta mensagem é o seguinte:

```
URROOT<SP><streamID><LF>
```

em que

- <SP> representa um espaço (*space* – ASCII 32, HEX 20);
- <streamID> é a identificação do *stream* indicado no pedido feito com a mensagem WHOISROOT;
- <LF> representa o carácter ‘\n’ (*line feed* – ASCII 10, HEX 0A).

Apresenta-se de seguida um exemplo da mensagem URROOT:

```
URROOT mystream:193.136.138.142:59000
```

(não está visível, neste exemplo, a presença do carácter *line feed* no final da mensagem).

ROOTIS

Esta mensagem é enviada pelo servidor de raízes em resposta a uma mensagem WHOISROOT e identifica o endereço IP e o porto UDP do servidor de acesso da raiz da árvore de escoamento associada a um *stream*.

O formato desta mensagem é o seguinte:

```
ROOTIS<SP><streamID><SP><ipaddr>:<uport><LF>
```

em que

- <SP> representa um espaço (*space* – ASCII 32, HEX 20);
- <streamID> é a identificação do *stream* indicado no pedido feito com a mensagem WHOISROOT;
- <ipaddr> e <uport> são respectivamente o endereço IP e o porto UDP do servidor de acesso da raiz da árvore de escoamento associada ao *stream* <streamID>;
- <LF> representa o carácter ‘\n’ (*line feed* – ASCII 10, HEX 0A).

Apresenta-se de seguida um exemplo da mensagem ROOTIS:

```
ROOTIS mystream:193.136.138.142:59000 193.136.138.142:58003
```

(não está visível, neste exemplo, a presença do carácter *line feed* no final da mensagem).

REMOVE

Esta mensagem é enviada ao servidor de raízes, por uma aplicação *iamroot*, pedindo a remoção do registo da raiz associada a um *stream*.

O formato desta mensagem é o seguinte:

```
REMOVE<SP><streamID><LF>
```

em que

- <SP> representa um espaço (*space* – ASCII 32, HEX 20);
- <streamID> é a identificação do *stream* cujo registo se pretende remover;
- <LF> representa o carácter ‘\n’ (*line feed* – ASCII 10, HEX 0A).

Esta mensagem destina-se a ser utilizada pela raiz da árvore de escoamento, associada ao *stream* <streamID>, em caso de abandono da aplicação.

Apresenta-se de seguida um exemplo da mensagem REMOVE:

```
REMOVE mystream:193.136.138.142:59000
```

(não está visível, neste exemplo, a presença do carácter *line feed* no final da mensagem).

DUMP

Esta mensagem é enviada para o servidor de raízes a solicitar a lista dos *streams* aí registados.

O formato desta mensagem é o seguinte:

```
DUMP<LF>
```

em que <LF> representa o carácter ‘\n’ (*line feed* – ASCII 10, HEX 0A).

Em resposta a este pedido, o servidor de raízes envia uma mensagem STREAMS com a lista dos *streams* registados, e respectivas raízes.

STREAMS

Esta mensagem é enviada pelo servidor de raízes em resposta a uma mensagem DUMP e contém a lista de *streams* registados incluindo o endereço IP e o porto UDP dos servidores de acesso das respectivas árvores de escoamento.

O formato desta mensagem é o seguinte:

```
STREAMS<LF>[(<streamID><SP><ipaddr>:<uport><LF>)...]<LF>
```

em que

- <LF> representa o carácter ‘\n’ (*line feed* – ASCII 10, HEX 0A);
- <SP> representa um espaço (*space* – ASCII 32, HEX 20);
- [(<streamID><SP><ipaddr>:<uport><LF>)...] representa uma sequência de trios compostos pela identificação do *stream*, pelo endereço IP e pelo porto UDP do respectivo servidor de acesso, sendo cada trio seguido de um carácter *line feed*;
- a mensagem termina um carácter *line feed* extra.

Apresenta-se de seguida um exemplo da mensagem STREAMS:

```
STREAMS
mystream:193.136.138.142:59000 193.136.138.142:58003
yourstream:193.136.138.142:59001 193.136.138.142:58004
```

(não está visível neste exemplo a presença de dois caracteres *line feed* depois da sequência de caracteres final '58004').

Caso não exista nenhum *stream* registado no servidor de raízes, a mensagem STREAM terá o formato:

```
STREAMS<LF><LF>
```

ERROR

Esta mensagem é enviada pelo servidor de raízes em caso de erro, como resposta a um pedido.

O formato desta mensagem é o seguinte:

```
ERROR<SP><errmsg><LF>
```

em que

- <SP> representa um espaço (*space* – ASCII 32, HEX 20);
- <errmsg> é a mensagem associada ao erro, composta por uma sequência de caracteres ASCII, alfanuméricos, com um tamanho máximo de caracteres;
- <LF> representa o carácter '\n' (*line feed* – ASCII 10, HEX 0A).

5. Protocolo de comunicação com o servidor de acesso

O protocolo de comunicação com os servidores de acesso funciona sobre UDP e compreende as mensagens protocolares apresentadas em seguida. O endereço IP e o porto UDP dos servidores de acesso são definidos na invocação de cada aplicação *iamroot*.

POPREQ

Esta mensagem é enviada a um servidor de acesso, da raiz de uma árvore de escoamento associada a um *stream*, a pedir um ponto de acesso (*point of presence*) onde o *stream* possa ser descarregado.

O formato desta mensagem é o seguinte:

```
POPREQ<LF>
```

em que <LF> representa o carácter '\n' (*line feed* – ASCII 10, HEX 0A).

Em resposta a este pedido, o servidor de acesso envia uma mensagem POPRESP com a identificação do ponto de acesso.

POPRESP

Esta mensagem é enviada pelo servidor de acesso em resposta a um pedido POPREQ e contém a identificação do ponto de acesso onde o *stream* pode ser descarregado.

O formato desta mensagem é o seguinte:

```
POPRES<SP><streamID><SP><ipaddr>:<tport><LF>
```

em que

- <SP> representa um espaço (*space* – ASCII 32, HEX 20);
- <streamID> é a identificação do *stream*, associado a este servidor de acesso;
- <ipaddr> é o endereço IP da interface do ponto de acesso;
- <tport> é o porto TCP onde o *stream* pode ser descarregado;
- <LF> representa o carácter ‘\n’ (*line feed* – ASCII 10, HEX 0A).

Apresenta-se de seguida um exemplo da mensagem POPRESP:

```
POPRESP mystream:193.136.138.142:59000 193.136.138.142:58001
```

(não está visível, neste exemplo, a presença do carácter *line feed* no final da mensagem).

6. Protocolo de comunicação entre pares

O protocolo de comunicação entre pares, funciona sobre as sessões TCP estabelecidas na árvore de escoamento, estando, portanto, um par a montante e outro a jusante. Este protocolo compreende as mensagens protocolares apresentadas em seguida. As mensagens são compostas por dois ou mais caracteres (*bytes*), em que os dois primeiros caracteres distinguem a mensagem em questão.

Adesão à árvore de escoamento

WELCOME (↓)

Esta mensagem confirma o sucesso da adesão de um par a uma árvore de escoamento.

Na ligação a um ponto de acesso, com capacidade para suportar mais sessões TCP, esta mensagem é a primeira mensagem recebida pelo par, depois de estabelecida a sessão TCP, e confirma a activação do ponto de acesso onde o par acabou de se ligar.

O formato desta mensagem é o seguinte:

```
WE<SP><streamID><LF>
```

em que

- <SP> representa um espaço (*space* – ASCII 32, HEX 20);
- <streamID> é a identificação do *stream*;
- <LF> representa o carácter ‘\n’ (*line feed* – ASCII 10, HEX 0A).

O par deve verificar se o *stream* corresponde ao desejado e, em resposta a esta mensagem, deve enviar a mensagem NEW_POP.

Apresenta-se de seguida um exemplo da mensagem WELCOME:

```
WE mystream:193.136.138.142:59000
```

(não está visível, neste exemplo, a presença do carácter *line feed* no final da mensagem).

NEW_POP (↑)

Esta mensagem deve ser enviada a montante, aquando da recepção da mensagem WELCOME, e dá a conhecer ao par a montante o endereço IP e o porto TCP do novo ponto de acesso (*point of presence*) que agora faz parte da árvore de escoamento.

O formato desta mensagem é o seguinte:

NP<SP><ipaddr>:<tport><LF>

em que

- <SP> representa um espaço (*space* – ASCII 32, HEX 20);
- <ipaddr> é o endereço IP do novo ponto de acesso;
- <tport> é o porto TCP do novo ponto de acesso;
- a mensagem termina com um carácter ‘\n’ (*line feed* – ASCII 10, HEX 0A).

Apresenta-se de seguida um exemplo da mensagem NEW_POP:

NP 193.136.138.142:58030

(não está visível, neste exemplo, a presença do carácter *line feed* depois da sequência de caracteres final ‘58030’).

REDIRECT (↓)

Esta mensagem é a primeira mensagem enviada a jusante para um par, que tentou aderir à árvore de escoamento, tendo estabelecido uma sessão TCP com um ponto de acesso que já não tem capacidade para suportar mais sessões TCP (outro par ter-se-á antecipado na ocupação do ponto de acesso).

Nesta mensagem é identificado um novo ponto de acesso, imediatamente a jusante, que o par deve usar para aderir à árvore de escoamento.

O formato desta mensagem é o seguinte:

RE<SP><ipaddr>:<tport><LF>

em que

- <SP> representa um espaço (*space* – ASCII 32, HEX 20);
- <ipaddr> é o endereço IP do novo ponto de acesso;
- <tport> é o porto TCP do novo ponto de acesso;
- a mensagem termina com um carácter ‘\n’ (*line feed* – ASCII 10, HEX 0A).

Apresenta-se de seguida um exemplo da mensagem REDIRECT:

RE 193.136.138.142:58010

(não está visível, neste exemplo, a presença do carácter *line feed* depois da sequência de caracteres final ‘58020’).

Interrupção e estabelecimento do *stream*

STREAM_FLOWING (↓)

Esta mensagem é enviada a jusante a indicar o estabelecimento ou restabelecimento do *stream*.

O formato desta mensagem é o seguinte:

SF<LF>

em que <LF> representa o carácter ‘\n’ (*line feed* – ASCII 10, HEX 0A).

BROKEN_STREAM (↓)

Esta mensagem é enviada a jusante a indicar a interrupção do *stream*.

O formato desta mensagem é o seguinte:

BS<LF>

em que <LF> representa o carácter ‘\n’ (*line feed* – ASCII 10, HEX 0A).

Encapsulamento dos dados do *stream*

DATA (↓)

Esta mensagem, enviada a jusante, é usada para a disseminação do conteúdo do *stream* pela árvore de escoamento.

O formato desta mensagem é o seguinte:

DA<SP><nbytes><LF><data>

em que

- <SP> representa um espaço (*space* – ASCII 32, HEX 20);
- <nbytes> especifica o número de *bytes* (entre 0 e $2^{16}-1$) do campo <data>, em notação hexadecimal (4 caracteres, *MSB first*, com zeros à esquerda se necessário);
- <LF> representa o carácter ‘\n’ (*line feed* – ASCII 10, HEX 0A).
- <data> corresponde ao conteúdo do *stream*.

Qualquer par que receba esta mensagem deve replicá-la a jusante.

Apresenta-se de seguida um exemplo da mensagem DATA:

```
DA 000B
I am Groot!
```

Descoberta de pontos de acesso

POP_QUERY (↓)

Esta mensagem, enviada a jusante, é usada na procura de pontos de acesso (*points of presence*) onde o *stream* possa ser descarregado.

O formato desta mensagem é o seguinte

PQ<SP><queryID><SP><bestpops><LF>

em que

- <SP> representa um espaço (*space* – ASCII 32, HEX 20);

- <queryID> é o identificador numérico (entre 0 e $2^{16}-1$), em notação hexadecimal (4 caracteres, *MSB first*, com zeros à esquerda se necessário), associado à procura;
- <bestpops> é o número de pontos de acesso a procurar (superior ou igual a 1);
- <LF> representa o carácter '\n' (*line feed* – ASCII 10, HEX 0A).

Ao receber esta mensagem o par deve verificar se tem capacidade para disponibilizar mais sessões TCP a jusante.

Se o par não tiver capacidade para suportar mais sessões TCP, deve enviar a jusante o pedido recebido e memorizar o <queryID>, e o <bestpops>, numa lista de pedidos, enviados a jusante, que aguardam resposta. Apenas as primeiras <bestpops> respostas serão depois propagadas a montante.

Se existir capacidade para aceitar mais sessões TCP, o par deve enviar a montante uma mensagem POP_REPLY, com o mesmo <queryID> do pedido, e depois decrementar <bestpops>. No procedimento que se descreve em seguida, <bestpops> refere-se ao valor decrementado. Se <bestpops> for maior que zero, o par deve enviar a jusante o pedido recebido, agora com o novo valor de <bestpops>, e memorizar o <queryID> e o <bestpops> numa lista de pedidos, enviados a jusante, que aguardam resposta. Destas respostas que se aguardam, apenas as primeiras <bestpops> respostas serão propagadas a montante.

Apresenta-se de seguida um exemplo da mensagem POP_QUERY, com um <queryID> igual a HEX 012A (DEC 298) e <bestpops> igual a 2:

PQ 012A 2

(não está visível, neste exemplo, a presença do carácter *line feed* no final da mensagem).

POP_REPLY (↑)

Esta mensagem, enviada a montante, anuncia o endereço IP e o porto TCP de um ponto de acesso (*point of presence*) onde o *stream* pode ser descarregado.

O formato desta mensagem é o seguinte:

PR<SP><queryID><SP><ipaddr>:<tport><SP><avails><LF>

em que

- <SP> representa um espaço (*space* – ASCII 32, HEX 20);
- <queryID> é o identificador numérico (entre 0 e $2^{16}-1$), em notação hexadecimal (4 caracteres, *MSB first*, com zeros à esquerda se necessário), indicado no pedido POP_QUERY, associado à procura;
- <ipaddr> é o endereço IP do ponto de acesso;
- <tport> é o porto TCP do ponto de acesso;
- <avails> é o número de sessões TCP ainda disponíveis neste ponto de acesso;
- a mensagem termina um carácter '\n' (*line feed* – ASCII 10, HEX 0A).

Apresenta-se de seguida um exemplo da mensagem POP_REPLY:

PR 012A 193.136.138.142:58030 3

(não está visível, neste exemplo, a presença do carácter *line feed* depois da sequência de caracteres final '58030 3').

Monitorização da estrutura da árvore de escoamento

TREE_QUERY (↓)

Esta mensagem, enviada a jusante, é usada para interrogar um par acerca da capacidade e ocupação do ponto de acesso que disponibiliza.

O formato desta mensagem é a seguinte

TQ<SP><ipaddr>:<tport><LF>

em que

- <SP> representa um espaço (*space* – ASCII 32, HEX 20);
- <ipaddr> e <tport> são, respectivamente, o endereço IP e o porto TCP do ponto de acesso disponibilizado pelo par a quem se destina esta mensagem;
- <LF> representa o carácter ‘\n’ (*line feed* – ASCII 10, HEX 0A).

Se, ao receber esta mensagem, um par verificar que <ipaddr> e <tport> correspondem ao ponto de acesso que disponibiliza, então deverá responder com uma mensagem TREE_REPLY indicando a capacidade e ocupação do ponto de acesso. Caso contrário, deverá replicar a mensagem a jusante, a menos que não tenha pares a jusante.

Apresenta-se de seguida um exemplo da mensagem TREE_QUERY:

TQ 193.136.138.142:58030

(não está visível, neste exemplo, a presença do carácter *line feed* depois da sequência de caracteres final ‘58030’).

TREE_REPLY (↑)

Esta mensagem é enviada, a montante, em resposta a uma mensagem TREE_QUERY, pelo par cujo endereço IP e o porto TCP são os indicados na interrogação.

O formato desta mensagem é o seguinte:

TR<SP><ipaddr>:<tport><SP><tcpsessions><LF>[(<addr>:<port><LF>)...]<LF>

em que

- <SP> representa um espaço (*space* – ASCII 32, HEX 20);
- <ipaddr> e <tport> são, respectivamente, o endereço IP e o porto TCP do ponto de acesso disponibilizado pelo par a quem se destina esta mensagem;
- <tcpsessions> é o número de sessões TCP que o par aceita a jusante;
- <LF> representa o carácter ‘\n’ (*line feed* – ASCII 10, HEX 0A);
- cada dupla (<addr>:<port><LF>) é composta pelo endereço IP e pelo porto TCP de um ponto de acesso imediatamente a jusante, sendo cada dupla seguida de um carácter *line feed*;
- a sequência de duplas [(<addr>:<port><LF>)...] pode ser vazia, caso não existam pares a jusante;
- a mensagem termina um carácter *line feed* extra.

Apresenta-se de seguida um exemplo da mensagem TREE_REPLY:

```
TR 193.136.138.142:58030 3
193.136.138.142:58010
193.136.138.142:58020
```

(não está visível, neste exemplo, a presença de dois caracteres *line feed* depois da sequência de caracteres final '58020').

7. Desenvolvimento

Cada aluno deve adquirir a destreza necessária sobre programação em redes para realizar este projecto.

Sugere-se de seguida uma sequência de passos que deve ser seguida no desenvolvimento do projecto¹:

- I. implementar a leitura de argumentos da linha de comandos associada à invocação da aplicação e a estrutura básica da interface de utilizador;
- II. implementar o protocolo de comunicação com o servidor de raízes;
- III. estabelecer uma sessão TCP com um servidor fonte associado a um *stream*;
- IV. implementar o servidor de acesso;
- V. implementar os mecanismos de adesão à árvore de escoamento;
- VI. implementar os mecanismos de restabelecimento do *stream* por abandono de um par, ou falha nas sessões TCP;
- VII. implementar a monitorização da estrutura da árvore de escoamento;
- VIII. realizar a disseminação do *stream* pela árvore de escoamento;
- IX. concluir a interface de utilizador e testar a aplicação.

A programação do projeto deverá ser feita em C, em ambiente Linux, e ser baseada no seguinte conjunto de chamadas de sistema:

- leitura de informação do utilizador para a aplicação – `fgets()`;
- decomposição de strings em tipos de dados e vice-versa – `sprintf()`, `sscanf()`;
- gestão de um cliente UDP – `socket()`, `close()`;
- gestão de um servidor UDP – `socket()`, `bind()`, `close()`;
- comunicação UDP – `sendto()`, `recvfrom()`;
- gestão de um cliente TCP – `socket()`, `connect()`, `close()`;
- gestão de um servidor TCP – `socket()`, `bind()`, `listen()`, `accept()`, `close()`;
- comunicação TCP – `write()`, `read()`;
- multiplexagem de informação – `select()`.

O código deve ser comentado e testado à medida que é desenvolvido.

Na avaliação, o projeto será compilado e executado pelo corpo docente apenas no ambiente de desenvolvimento disponível no laboratório.

¹ “Now, this is important. Once the battery is removed, everything is gonna slam into emergency mode. Once we have it, we gotta move quickly, so you definitely need to get that last... Or we could just get it first and improvise!” – Rocket Raccoon, in *Guardians of the Galaxy*, Marvel Studios, 2014.

As aplicações devem terminar graciosamente, pelo menos nas seguintes situações de falha:

- recepção de mensagens mal formatadas;
- terminação imprevista de sessões TCP;
- erros na invocação de chamadas de sistema.

Durante a fase de desenvolvimento e teste do projecto, os grupos podem usar árvores de escoamento distintas, dando nomes diferentes aos *streams*, mesmo que estes tenham como fonte o mesmo servidor, como por exemplo:

- group1:193.136.138.142:59000
- group2:193.136.138.142:59000

Esta facilidade permite que um grupo teste a sua aplicação numa árvore de escoamento composta apenas por pares desenvolvidos por si. Numa fase final, os grupos são motivados a usarem a sua aplicação em árvores de escoamento compostas por pares de diferentes grupos.

Os grupos são motivados a identificar as vantagens e desvantagens de disseminar um conteúdo *stream* através da rede sobreposta constituída pelas suas aplicações, face à alternativa de o descarregar directamente da fonte.

8. Bibliografia

- José Sanguino, A Quick Guide to Networking Software, 2019.
- W. Richard Stevens, Unix Network Programming: Networking APIs: Sockets and XTI (Volume 1), 2ª edição, Prentice-Hall PTR, 1998, ISBN 0-13-490012-X, capítulo 5.
- Manual *on-line*, comando man.

9. Entrega do Projecto

O código a entregar deve ser guardado num arquivo zip contendo o código fonte da aplicação *iamroot* e a respectiva *makefile*. A entrega do projecto é feita por e-mail ao seu docente de laboratório. O arquivo deve estar preparado para ser aberto para o directório corrente e compilado com o comando *make*. O arquivo submetido deve ter o seguinte formato: proj<número_do_grupo>.zip (exemplo: proj07.zip). O projecto deve ser entregue até às 23:59 do dia 5 de Abril de 2019.