Transferência de Conteúdos em Redes Arbóreas

Redes de Computadores e Internet
2º Semestre 2022/2023
Projeto de Laboratório

1. Introdução

Considera-se uma rede composta por nós com *identificadores únicos* interligados em árvore. Cada nó contém um conjunto de conteúdos com *nomes únicos a cada nó* (conteúdos de nós distintos podem ter o mesmo nome). Um utilizador de um nó origem que pretende ir buscar determinado conteúdo forma uma *mensagem de pesquisa* contendo o identificador do nó destino, o identificador do nó origem, e o nome do conteúdo. Esta mensagem será encaminhada na rede e chegará ao destino que responderá com uma *mensagem de conteúdo*, contendo o identificador do nó que pesquisou o conteúdo, destino da mensagem, o seu identificador, origem da mensagem e o conteúdo propriamente dito (para simplificar basta uma indicação que o conteúdo existe). Se o destino não tiver o conteúdo pesquisado, então ele responde com uma *mensagem de indisponibilidade*.

Cada nó mantém uma *tabela de expedição* com entradas, cada uma das quais associa um nó destino ao vizinho ao longo do único caminho na árvore até lá. Esta tabela é povoada pelas próprias mensagens que atravessam a rede e pode estar incompleta a determinado instante. Um nó que tenha uma mensagem com destino em outro nó consulta a sua tabela de expedição. Três situações podem ocorrer: (1) O nó encontra uma entrada para o nó destino na tabela e o vizinho associado ao nó destino é diferente daquele por onde recebeu a mensagem, ou a mensagem foi originada no próprio nó. Neste caso, o nó *expede* a mensagem para o vizinho lido da tabela de expedição; (2) O nó encontra uma entrada para o nó destino na tabela, mas o vizinho associado a essa entrada é o próprio vizinho por onde a mensagem foi recebida. Então, o nó *filtra* a mensagem, isto é, descarta-a; (3) O nó não encontra uma entrada para o nó destino na tabela. Desta feita, o nó *difunde* a mensagem por todos os seus vizinhos, à exceção daquele por onde recebeu a mensagem, isto é, envia cópias da mensagem a cada um desses vizinhos.

Por outro lado, de cada vez que um nó recebe uma mensagem através de um vizinho, ele introduz uma entrada na sua tabela de expedição com a associação entre o nó origem da mensagem e o vizinho por onde esta foi recebida, para ser usada em sentido inverso, aquando da chegada de uma outra mensagem com destino no nó origem da mensagem original. A este procedimento chama-se *aprendizagem transparente* (ou *aprendizagem automática*!).

1.1 Topologia da rede em árvore

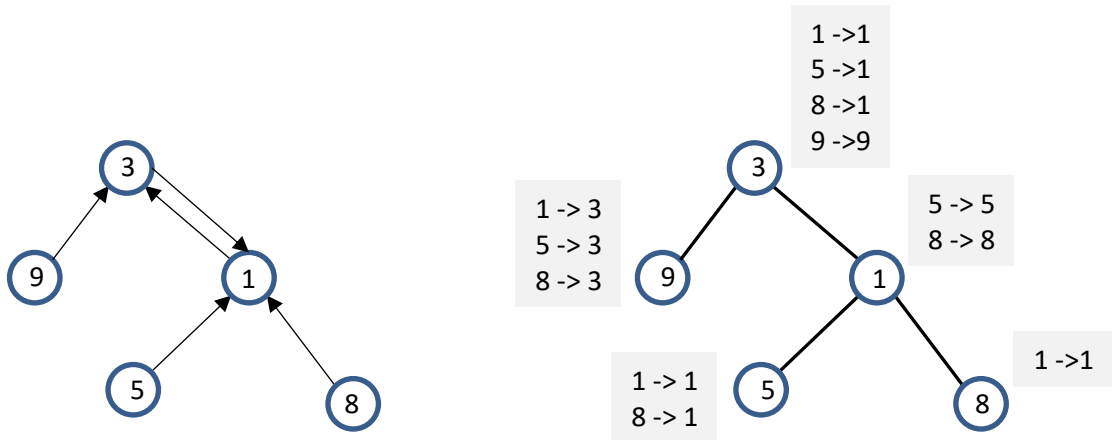
A topologia da rede que interliga os nós será sempre uma árvore. Cada aresta da árvore é substanciada numa sessão TCP, sendo os dois nós que partilham a aresta *vizinhos* um do outro. A manutenção de uma árvore requer procedimentos para a entrada e para a saída de um nó. Para simplificar, supomos que não se dão entradas e/ou saídas simultâneas.

Orientação da árvore.

Um mecanismo que permite a manutenção de uma árvore começa por considerar uma orientação para as suas arestas. Se a orientação da aresta entre o nó X e o nó Y é no sentido de X para Y, então dizemos que o nó Y é *vizinho externo* do nó X e este é *vizinho interno* do nó Y. As orientações das arestas da árvore satisfazem as duas condições seguintes:

1. Cada nó tem apenas um vizinho externo, podendo ter múltiplos vizinhos internos ou nenhum.
2. Em redes com mais do que um nó, há exatamente dois nós, chamados *âncora*, que são vizinhos externos um do outro.

A figura (lado esquerdo) mostra uma árvore com as arestas orientadas.



Topologia Encaminhamento

O *contacto* de um nó é o par com o seu endereço IP e porto TCP servidor (de escuta). Cada nó mantém os identificadores e contactos dos seus vizinhos internos, do seu vizinho externo e de um nó de recuperação (*backup*), sendo este nó o vizinho externo do vizinho externo. Em particular, os âncora têm-se a si próprios como nós de recuperação.

Entrada de um nó.

Há um servidor de nós (fornecido pelo corpo docente) com um diretório onde estão registados todos os nós pertencentes à rede, na forma do seu identificador e contacto. Um nó entrante na rede consulta o servidor de nós que lhe fornece a lista dos nós da rede. O nó entrante escolhe um desses nós, liga-se a ele numa sessão TCP, estabelece-o como seu

vizinho externo, envia-lhe uma *mensagem de entrada* com o seu identificador e contacto e recebe dele uma *mensagem de vizinho externo* com o identificador e contacto deste, o qual virá a ser o vizinho de recuperação do nó entrante. Se o vizinho externo do nó entrante era o único na rede, então, antes de responder com a mensagem de vizinho externo, ele promove o nó entrante a vizinho externo, formando os dois nós as âncoras da rede. Por último, o nó entrante regista-se no servidor de nós. A comunicação entre um nó e o servidor de nós ocorre por UDP.

Saída de um nó.

Um nó que queira sair da rede apaga o seu contacto no servidor de nós e termina as sessões TCP que tinha com todos os seus vizinhos. Os vizinhos internos do nó de saída ficam sem vizinho externo e a rede fica separada. Um nó que tenha perdido o seu vizinho externo e cujo vizinho de recuperação não seja ele próprio, liga-se ao seu vizinho de recuperação, envia-lhe uma mensagem de entrada e obtém deste uma mensagem de vizinho externo com a qual obtém novo nó de recuperação. Contrariamente, se o vizinho de recuperação do nó é ele próprio, então o nó promove qualquer um dos seus vizinhos internos a vizinho externo antes de enviar uma mensagem de vizinho externo.

1.2 Pesquisa e encaminhamento de conteúdos

Como já foi referido, o utilizador associado a cada nó cria um conjunto de conteúdos com nomes únicos a esse nó. A transação de um conteúdo envolve três tipos de mensagens, de pesquisa, de conteúdo e de indisponibilidade, aqui referidas apenas por mensagens. Todas estas mensagens têm os identificadores do nós origem e destino da mensagem. O nó destino constante das mensagens é usado para as expedir e filtrar, enquanto o nó origem constante das mensagens é usado para preenchimento das tabelas de expedição.

Importa ainda esclarecer como se atualizam as tabelas de expedição quando um nó entra ou sai da rede. A entrada de um nó na rede não requer quaisquer ações adicionais. Quando este nó enviar uma mensagem, ela será difundida na rede e as tabelas de expedição passarão a contar com uma entrada para esse nó.

Por outro lado, quando um nó sai da rede, as tabelas de expedição têm de ser explicitamente atualizadas. Seja X o nó que sai da rede. Há dois aspetos a considerar. Primeiro, qualquer vizinho de X tem de apagar da sua tabela de expedição as entradas que têm X por vizinho. Segundo, todos os antigos vizinhos de X ficam encarregados de apagar as entradas em que X é nó destino das suas tabelas de expedição, se as houver, e dos outros nós nas sub-árvores definidas depois da retirada de X. Para este efeito, um vizinho de X apaga a entrada com destino X da sua tabela de expedição, se houver, e envia aos seus vizinhos (anteriores ao restauro da árvore) uma *mensagem de retirada*. Um nó que receba uma destas mensagens apaga a entrada com destino X da sua tabela de expedição, se houver, e envia a mensagem por todos os seus vizinhos à exceção daquele por onde recebeu a mensagem.

2. Especificação

Cada grupo de dois alunos deve concretizar a aplicação **`cot`** correspondente a um nó e composta pelos elementos seguintes:

- Comando de invocação da aplicação;
- Interface de utilizador;
- Protocolo de diretório;
- Protocolo de topologia;
- Protocolo de encaminhamento;
- Protocolo de pesquisa.

Nota: nos comandos e mensagens que se apresentarão de seguida, o espaço em branco e/ou o caráter ***<LF>*** (*line feed*) são separadores entre campos de mensagens, sendo que o caráter ***<LF>*** é também um separador entre mensagens enviadas sobre uma mesma sessão TCP. Por consequência, os nomes escolhidos pelo utilizador não devem conter espaços em branco ou o caráter ***<LF>***: deverão ser sequências de carateres alfanuméricos.

2.1 Comando de invocação da aplicação

A aplicação **`cot`** é invocada com o comando

`cot` ***IP TCP regIP regUDP***

em que ***IP*** e ***TCP*** são o contacto do nó criado pela aplicação: ***IP*** é o endereço IP da máquina que aloja a aplicação e ***TCP*** é o porto TCP servidor da aplicação. Os parâmetros ***regIP*** e ***regUDP*** são o contacto, endereço IP e porto UDP, respetivamente, do servidor de nós fornecido pelo corpo docente que, por omissão, tomam os valores **`193.136.138.142`** e **`59000`**.

2.2 Interface de utilizador

A interface de utilizador consiste nos comandos seguintes.

- **`join`** ***net id***
  Entrada de um nó na rede ***net*** com identificador ***id***. Se o identificador ***id*** já estiver a ser usado por outro nó, então a aplicação escolhe um identificador único, avisando o utilizador dessa alteração. Os valores de ***net*** são representados por três dígitos, podendo variar entre ***000*** e ***999***; os valores de ***id*** são representados por dois dígitos, podendo variar entre ***00*** e ***99***.
- **`djoin`** ***net id bootid bootIP bootTCP***
  Entrada de um nó na rede ***net*** com identificador ***id***, que se sabe ser único na rede. É passado à aplicação o identificador e o contacto de um nó da rede, através dos

parâmetros ***bootid***, ***bootIP*** e ***bootTCP***, ao qual o nó se deverá ligar sem interrogar o servidor de nós. Se for ***bootid*** igual ***id*** a então cria-se a rede só com um nó.

- **`create`** ***`name`***
  É criado um conteúdo de nome ***name***. Os valores de ***name*** são representados por sequências alfanuméricas com um máximo de 100 carateres.
- **`delete`** ***`name`***
  É apagado o conteúdo de nome ***name***.
- **`get`** ***`dest name`***
  Pesquisa do conteúdo com o nome ***name*** localizado no nó ***dest***.
- **`show topology (st)`**
  Mostra os identificadores e os contactos dos vizinhos internos, do vizinho externo e do vizinho de recuperação.
- **`show names (sn)`**
  Mostra os nomes dos conteúdos presentes no nó.
- **`show routing (sr)`**
  Mostra a tabela de expedição do nó.
- **`leave`**
  Saída do nó da rede.
- **`exit`**
  Fecho da aplicação.

2.3 Protocolo de registo

Na comunicação com o servidor de nós são usadas as mensagens seguintes sobre UDP.

- **`NODES`** ***`net`***
  Um nó pede ao servidor de nós informação sobre os nós existentes na rede ***net***, consistindo nos seus identificadores e contactos.
- **`NODESLIST`** ***`net<LF>`***
  `id1 IP1 TCP1<LF>`
  `id2 IP2 TCP2<LF>`
  …
  O servidor de nós envia uma lista com uma linha por nó na rede ***net***. Cada linha dessa lista contém o identificador e contacto de um nó.
- **`REG`** ***`net id IP TCP`***
  Um nó regista-se na rede ***net***.
- **`OKREG`**
  O servidor de nós confirma o registo de um nó.
- **`UNREG`** ***`net id`***
  O nó retira o seu registo da rede ***net***.
- **`OKUNREG`**
  O servidor de nós confirma a retirada do registo de um nó.

2.4 Protocolo de topologia

As mensagens de entrada e de vizinho externo têm, respetivamente, os formatos seguintes.

- **NEW *id IP TCP<LF>***
  Um nó dá a conhecer a outro o seu identificador e contacto.
- **EXTERN *id IP TCP<LF>***
  Um nó dá a conhecer a outro o identificador e o contacto do seu vizinho externo.

2.5 Protocolo de encaminhamento

A mensagem de retirada tem o formato seguinte.

- **WITHDRAW *id<LF>***
  Retirada da tabela de expedição do nó com identificador ***id***.

2.6 Protocolo de pesquisa de objeto

As mensagens de pesquisa, de conteúdo e de indisponibilidade têm, respetivamente, o formato seguinte.

- **QUERY *dest orig name<LF>***
  Pesquisa com origem no nó ***orig*** do conteúdo com nome ***name*** localizado no nó ***dest***.
- **CONTENT *dest orig name<LF>***
  Envio do nó origem ***orig*** ao nó destino ***dest*** do conteúdo com nome ***name***.
- **NOCONTENT *dest orig name<LF>***
  Envio do nó origem ***orig*** ao nó destino ***dest*** da informação que o conteúdo com nome ***name*** não se encontra neste último nó.

3. Desenvolvimento

Cada grupo de alunos deve adquirir a destreza necessária sobre programação em redes para realizar a aplicação proposta. Sugerem-se os passos seguintes para a concretização da aplicação:

i. Criação de uma rede com um só nó, comunicação com o servidor de nós, comandos ***join*** e ***leave***;
ii. Criação de uma rede com vários nós, comandos ***djoin***, ***join*** e ***show topology***;
iii. Manutenção de uma rede com vários nós, comados ***join***, ***leave*** e ***show topology***;
iv. Criação de conteúdos e sua pesquisa, comandos ***create***, ***get*** e ***show routing***;
v. Manutenção das tabelas de expedição, comandos ***leave***, ***show routing*** e ***get***.

São dadas seis semanas para concretizar o projeto, contadas a partir do início académico das aulas. Como referência, as partes i e ii devem estar concluídas em três semanas, no máximo, havendo uma verificação desta conclusão por parte do corpo docente.

O código da aplicação deverá ser comentado e testado à medida que é desenvolvido. Ele fará uso de chamadas de sistema de programação em redes que em C serão as seguintes:

- Leitura de informação do utilizador para a aplicação: `fgets()`;
- Decomposição de *strings* em tipos de dados e vice-versa: `sscanf()`, `sprintf()`;
- 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()`.

Quer os clientes quer os servidores não devem terminar abruptamente nas seguintes situações de falha:

- Mensagens de protocolo inesperadas ou mal formatadas;
- Sessão TCP fechada abruptamente;
- Condições de erro nas chamadas de sistema.

4. Bibliografia

- José Sanguino, A Quick Guide to Networking Software, 5ª edição, 2020.
- W. Richard Stevens, Unix Network Programming: Networking APIs: Sockets and XTI (Volume 1), 2ª edição, Prentice-Hall PTR, 1998, capítulo 5.
- Manual on-line, comando `man`.

5. Entrega do Projecto

O código fonte da aplicação **`cot`** deve ser guardado num arquivo `zip` juntamente com a respetiva `makefile`. O arquivo deve estar preparado para ser aberto no diretório corrente e compilado com o comando `make`. O arquivo submetido deve ter o seguinte formato: `proj<número_do_grupo>.zip` (ex: `proj07.zip`). O arquivo deverá ser submetido no sistema fénix até sexta-feira, dia 31 de março às 23h59.