PROGRAMAÇÃO

UFCD(s) 5118 - 5119

PROJECTO 3 - TFTPy: CLIENTE TFTP (ßeta)

INTRODUÇÃO E OBJECTIVOS

A finalidade deste projecto passa por desenvolver uma aplicação para transferência de ficheiros baseada no **Trivial File Transfer Protocol** (**TFTP**) e, de caminho, aprender a utilizar Python 3 e sockets para programar em redes.

Neste projecto pretende-se que desenvolva um cliente TFTP com interface da linha de comandos. Como extra, depois de desenvolver o cliente, poderá também implementar um servidor. Existem outros elementos do protocolo que são considerados mais avançados e cuja implementação é considerada um extra do projecto. Estes elementos, que são explicados ao longo do enunciado, são resumidos na secção **AVALIAÇÃO**. Nesta secção encontra também uma explicação sobre o que se entende por "extra" ou "opcional" no contexto deste projecto.

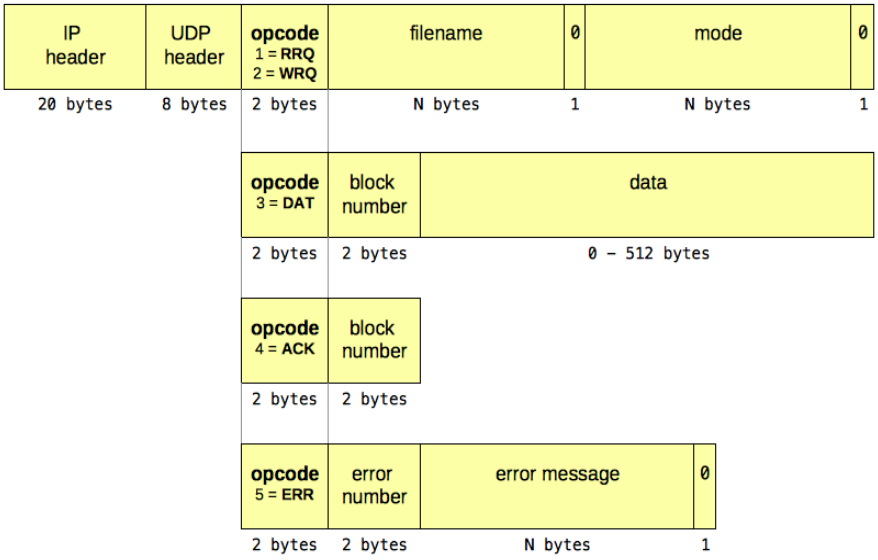
O PROTOCOLO

O TFTP é um protocolo para transferência de ficheiros, muito simples de implementar, que permite a um cliente receber ou enviar um ficheiro para um servidor remoto. Foi concebido para arrancar uma imagem remota de um sistema operativo em máquinas sem discos (*bootstrapping*). Para tal, utiliza o protocolo UDP da camada de transporte do modelo TCP/IP e o porto conhecido 69 (*well known port*). O TFTP não suporta os mecanismos de controlo de fluxo e detecção de erros utilizados em protocolos mais sofisticados. Em termos de funcionalidades, apenas suporta transferências de ficheiros entre cliente e servidor. Não permite transferência de directorias nem quaisquer outras operações para manipulação de ficheiros, como listagem, remoção, renomeação, etc. Também não fornece mecanismos de autenticação nem de confidencialidade, por isso deve ser utilizado apenas no contexto de uma rede local. Actualmente, o TFTP é o protocolo utilizado pelo mecanismo PXE (*Preboot Execution Environment*) e pelo protocolo BOOTP para carregar um sistema operativo a partir da LAN. Uma vez que o PXE integra a especificação UEFI 2.0, os novos *firmwares* baseados em UEFI incorporam um cliente de TFTP.

Pode encontrar uma descrição pormenorizada do protocolo em [1] e [2]. Neste documento listamos alguns dos aspectos e requisitos mais importantes da solução a implementar:

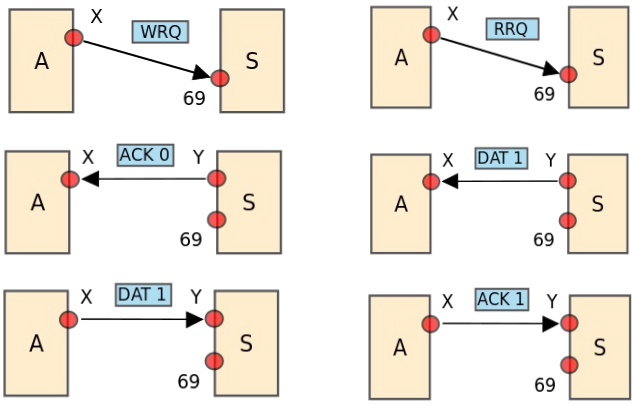
- O TFTP define 5 tipos de pacotes ou mensagens:

```
RRQ: Read Request  - Opcode 1
WRQ: Write Request - Opcode 2
DAT: Data transfer - Opcode 3
ACK: Acknolwedge   - Opcode 4
ERR: Error         - Opcode 5
```



Formato dos pacotes/mensagens TFTP

- Este protocolo pertence à categoria de protocolos *stop-and-wait*: o cliente inicia o pedido de leitura (`RRQ`) ou de envio de um ficheiro (`WRQ`) e depois a transferência prossegue em blocos de 512 bytes de cada vez (`DAT`). Cada bloco de 512 bytes tem que ser reconhecido individualmente através de um pacote `ACK`. O bloco `N` só é transferido após o ter sido recebido o `ACK` para o bloco `N-1`. Ou seja, em cada instante só existe um bloco de dados a circular na rede.



(a) A envia um ficheiro para S ***(b) A recebe ficheiro vindo de S***

NOTA: imagens tiradas da página da Wikipedia sobre o TFTP

De notar que um `WRQ` é reconhecido com um `ACK` numerado a partir de `0`, ao passo que a resposta a um `RRQ` é um pacote `DAT` numerado a partir de `1`.

- O receptor responde a um pacote `DAT` com `blocknumber X` com o correspondente pacote `ACK X`. Por seu turno, o emissor responde ao `ACK X` com o envio do `DAT X + 1`.

Tendo em conta que estamos a utilizar UDP, o emissor pode nunca chegar a receber o **ACK**. Isto pode acontecer devido a dois motivos: 1) O pacote de dados não chegou ao receptor, logo não pode ser enviado um **ACK** para um pacote que se desconhece; 2) O pacote **DAT** chegou e o receptor respondeu com **ACK**, mas foi este pacote que se extraviou. Seja como for, se não for recebido um **ACK** para o pacote `X`, então um temporizador do lado do emissor faz com que este reenvie o pacote **DAT** `X`.

- O servidor responde a um **RRQ** com um **DAT 1** (`blocknumber` → `1`), e a um **WRQ** com um **ACK 0** (`blocknumber` → **0**). Os pacotes **RRQ** e **WRQ** são enviados para o porto conhecido do servidor que, por omissão, é o porto `69`. Porém, para a restante a comunicação o servidor utiliza um outro porto obtido aleatoriamente junto do sistema operativo local (*ephemeral port*). Os pacotes **DAT** `1` e **ACK 0** são enviados a partir deste novo porto. Isto permite que o servidor continue a receber pedidos de transferência de ficheiros no porto `69` em simultâneo com a transferência de ficheiros em outros portos.

- Do lado do receptor do ficheiro (o cliente no caso de um **RRQ**, o servidor no caso de um **WRQ**), uma transferência termina assim que este detecta um bloco com dimensão inferior a 512 bytes. Se o tamanho do ficheiro for múltiplo de 512 bytes, o emissor deve terminar enviando um pacote com **DAT** com **0** bytes de dados.

- Ambas as partes, emissor e receptor, devem estar preparadas para que a contraparte deixe de responder (por exemplo, uma das partes pode abortar inesperadamente). No caso do receptor deixar de responder, a dada altura o emissor não vai receber um determinado **ACK**. Se for o emissor a não responder, o receptor não vai receber o último pacote com **0** bytes a sinalizar ao fim da transmissão do ficheiro. Ambas as partes devem cancelar uma transmissão que esteja inactiva há mais de 60s. Porém, este é um dos aspectos avançados cuja implementação é opcional, quer do lado do cliente, quer do lado do servidor.

- Como referido, a transferência de ficheiros é feita em blocos de 512 bytes reconhecidos à vez. Existe a opção de cliente e servidor negociarem um bloco de maior dimensão, o que permite tornar o protocolo mais eficiente. No entanto, neste projecto vamos ignorar este e os restantes aspectos relacionados com a negociação de parâmetros.

- O TFTP utiliza 16 bits para numerar bloco de dados, o que permite 65535 blocos (o primeiro **DAT** é sempre numerado a partir de `1`, mas o primeiro **ACK** como resposta a um **WRP** é numerado a partir de **0**). Inicialmente, e atendendo ao facto de cada bloco comportar no máximo 512 bytes, isto limitava os ficheiros a um máximo de 32MB. Hoje em dia este limite é ignorado o campo `blocknumber` volta a **0** após ter atingido o valor `65535`.

- O protocolo suporta três modos transferência: `netascii`, `octet` ou `mail`. O modo `octet` sinaliza ao servidor uma transferência binária, sendo este o único modo a implementar neste projecto. Para

indicar este modo, o campo `mode` de um **`RRQ`** ou de um **`WRQ`** deve possuir a string binária `'octet\0'` , sendo aceite qualquer combinação de maiúsculas ou minúsculas. A string deve terminar com o caractere nulo, isto é, com o caractere com código **`0`** (`\x00` na notação hexadecimal utilizada pelo Python). Note que em Python 3 deve prefixar a string com `b` para indicar que se trata de uma string binária (ie, uma string do tipo `bytes`). A título de curiosidade, os restantes modos são indicados por qualquer combinação de maiúsculas e minúsculas de `'netsascii\0'` e `'mail\0'`.

- O campo `filename` presente nos pacotes **`RRQ`** e **`WRQ`** apenas deve conter caracteres ASCII "exibíveis" (*printable*). Consulte `string.printable`.

- O TFTP não fornece quaisquer mecanismos de segurança. Não existe forma de especificar um nome de utilizador nem uma palavra-passe. Por esse motivo, é habitual em Unix um servidor de TFTP correr com o UID do utilizador `nobody` e o GID do grupo `nogroup`, o que leva a que apenas ficheiros com permissões de leitura e escrita para o "resto do mundo" estejam acessíveis. Em sistemas Unix, é comum limitar o acesso aos ficheiros dentro de uma directoria pré-definida que, por norma, é `/tftpboot` ou `/var/lib/tftpboot`.

- O pacote de erros **`ERR`** é utilizado para informar a contraparte de um erro na transmissão. Por exemplo, o servidor responde com esta mensagem quando não consegue processar um **`RRQ`** ou um **`WRQ`**. Isto pode suceder se o cliente tentar ler um ficheiro que não existe ou para o qual não tem permissões. Neste caso o servidor envia um código de erro em `errornumber` e uma mensagem em ASCII (uma string binária, uma vez mais) com a `errormessage`. Erros durante a transmissão de um ficheiro também podem levar ao envio desta mensagem.

  Neste projecto, um pacote **`ERR`** deve levar a que a transferência seja cancelada. Cliente e servidor devem exibir o código do erro em `errornumber` e a mensagem de erro em `errormessage`.

  Caso ocorra um erro durante a transmissão, o receptor deve apagar o ficheiro que está a ser transferido (caso o tenha criado antes da transferência ter sido concluída).

- Se o cliente enviar um **`RRQ`** com `filename` vazio, o servidor pode responder com uma listagem da directoria de/para onde os ficheiros são transferidos. Esta listagem deve ser obtida com o comando `ls -Alh` e depois enviada em pacotes **`DAT`** para o cliente. O cliente solicita este serviço em modo interactivo através da invocação do comando `dir` (ver secção sobre o cliente).

CONTINUA --->

FORMADOR - João Galamba

Página **4** de **16**

O CLIENTE

Utilização

O cliente deve ser invocado assim:

```
$ python3 client.py (get|put) [-p serv_port] server source_file [dest_file]
$ python3 client.py [-p serv_port] server
```

A primeira forma de utilização invoca o cliente em modo não-interactivo. O valor por omissão de `serv_port` é `69`. O parâmetro `server` deve receber o nome do servidor, enquanto que `source_file` e `dest_file` representam, respectivamente, o caminho para o ficheiro a transferir, ficheiro esse que pode ser gravado na máquina que o recebe com o nome `dest_file`. Alternativamente, a invocação em modo não-interactivo pode também ser assim especificada:

```
$ python3 client.py get [-p serv_port] server remote_file [local_file]
$ python3 client.py put [-p serv_port] server local_file [remote_file]
```

Se o nome do servidor não existir, a mensagem a exibir deve ser:

```
Unknown server: <nome_do_servidor>.
```

Se a comunicação falhar, a mensagem a exibir deve ser:

```
Error reaching the server '<nome do servidor>' (<ip do servidor>).
```

A segunda forma, invoca o cliente em modo interactivo. Este cliente é um elemento **extra** do projecto. O cliente interactivo permite aceder à seguinte *prompt*:

```
Exchaging files with server '<nome do servidor>' (<ip do servidor>)
tftp client>
```

Quatro comandos obrigatórios e um opcional são reconhecidos pelo cliente:

get `ficheiro_remoto [ficheiro_local]`	Descarrega `ficheiro_remoto` e grava-o com esse nome ou com o nome `ficheiro_local`.
put `ficheiro_local [ficheiro_remoto]`	Envia `ficheiro_local` com esse nome ou com o nome `ficheiro_remoto`.
quit	Termina o cliente
help	Exibe a ajuda dos comandos
dir	Obtém uma listagem de ficheiros na directoria do servidor. Este comando, e consequentes modificações do protocolo e do servidor são opcionais.

Eis o exemplo de uma sessão interactiva entre cliente e servidor:

```
$ python3 cliente.py alberto.local
Unknown server: alberto.local

$ python3 cliente.py armando.local
Exchanging files with server 'armando.local' (192.168.12.1).

tftp client> dir
total 15192
-rw-rw-rw-  1 nobody  nogroup   1,0M 14 Feb 13:46 fich1.txt
-rw-rw-rw-  1 nobody  nogroup   4,4M 14 Feb 13:46 fich2.bin
-rw-rw-rw-  1 nobody  nogroup   1,5M 14 Feb 13:47 fich3.bin
-rw-rw-rw-  1 nobody  nogroup   512K 14 Feb 13:47 fichX.bin
-rw-rw-rw-  1 nobody  nogroup    48K 14 Feb 13:47 fichY.dat

tftp client> get
Usage: get remotefile [localfile]

tftp client> get fich2.bi
File not found.

tftp client> get fich2.bin
Received file 'fich2.bin' 4608000 bytes.

tftp client> send data.zip
Unknown command: 'send'.

tftp client> help
Commands:
  get remote_file [local_file] - get a file from server and save it as local_file
  put local_file [remote_file] - send a file to server and store it as remote_file
  dir                          - obtain a listing of remote files
  quit                         - exit TFTP client

tftp client> put data.zip
Sent file 'data.zip' 1048576 bytes

tftp client> quit
Exiting TFTP client.
Goodbye!
```

Qualquer erro na comunicação deverá levar ao encerramento da aplicação com exibição de uma mensagem de erro:

```
tftp client> get fich2.bin
Server not responding. Exiting.
```

Implementação

De um modo geral, quando iniciado em modo interactivo o seu cliente deverá levar a cabo as seguintes tarefas:

1. Obter o IP do servidor a partir do nome, caso tenha sido introduzido um nome. Se não tiver sucesso, exibe a mensagem de erro apropriada e termina.
2. Exibir a prompt e aguardar pela introdução de um comando.
3. Caso o comando seja:

   PUT (enviar um ficheiro)

   3.1 Obter caminho para o ficheiro a enviar a partir do comando. Deve verificar se o utilizador especificou um apenas um caminho (`local_file`) ou dois caminhos (`local_file` e `remote_file`).

   3.2 Abrir o ficheiro local para leitura em modo binário. Terminar com mensagem de erro se não tiver sucesso.

   3.3 Criar um socket do tipo datagrama para comunicar com o servidor. Terminar com mensagem de erro se não tiver sucesso.

   3.4 Enviar ficheiro em blocos de 512 bytes de acordo com o protocolo TFTP.

   Deve enviar o ficheiro para o porto de onde o servidor respondeu que provavelmente não é o 69. Deve estar preparado para a eventualidade de receber uma mensagem de erro (**ERR**) do servidor. Exibir mensagem `"Server not responding…"` se estiver 60s sem obter resposta (**ACK**) do servidor.

   3.5 Fechar ficheiro quando terminada a transferência.

   3.6 Notificar o utilizador do resultado da transferência e quantos bytes foram enviados.

   GET (receber um ficheiro)

   3.7 Obter nome do ficheiro a receber a partir do comando.Deve verificar se o utilizador especificou um apenas um caminho (`remote_file`) ou dois caminhos (`remote_file` e `local_file`).

   3.8 Abrir ficheiro local para escrita em modo binário. Terminar com mensagem de erro se não tiver sucesso.

   3.9 Criar um socket como em PUT.

   3.10 Receber ficheiro em blocos de 512 bytes de acordo com o protocolo TFTP.

   Como em PUT, deve também ter em atenção o porto do servidor por onde é enviado o primeiro **DAT**.

   Exibir mensagem `"Server not responding…"` se passarem 60s entre dois blocos **DAT** consecutivos. Deve estar preparado para eventuais mensagens de erro do lado do servidor. Caso ocorra um erro durante a transferência do ficheiro, deve abortar e apagar o ficheiro criado para escrita.

   3.11 Fechar ficheiro quando terminada a transferência.

   3.12 Notificar o utilizador do resultado da transferência e quantos bytes foram recebidos.

   DIR (listagem)

   3.13 Semelhante a GET mas solicita um ficheiro sem nome (`filename == b''`).
4. Repetir passos 2-4 enquanto o utilizador não desistir ou o servidor não enviar uma mensagem de erro.

O cliente deve obedecer ao protocolo e não deve aceitar mensagens inválidas de acordo com o mesmo. Por exemplo, não é suposto cliente receber pacotes **RRQ** nem **WRQ**. Também não é suposto receber **ACK** durante

uma transferência iniciada com **RRQ**. Nestes casos a transferência actual deve ser abortada.

Uma complexidade adicional está relacionada com o alinhamento dos bytes em arquitecturas diferentes. Por exemplo, para um CPU da Motorola um número de 16 bits com o valor 3 é representado em memória como 0x0003 (hexadecimal). Em máquinas Intel, os bytes estão invertidos, ou seja, o mesmo número é representado como 0x0300 (byte menos significativo em primeiro lugar). Diz-se que a primeira arquitectura é *big endian* ao passo que a segunda é *little endian*. Neste projecto necessita de lidar com os seguintes valores de 16 bits: `opcode`, `blocknumber` e `errornumber`. À saída do cliente, quando constrói os pacotes apropriados, deve converter estes valores para o formato canónico da rede (*big endian*) com a função `socket.htons` (*host to network short*, sendo que *short*, na linguagem C, é inteiro de 16 bits). Para ler estes campos nos pacotes enviados pelo servidor, deve utilizar a função `socket.ntohs` (*network to host short*) para fazer a conversão inversa. Pode encontrar explicações adicionais nas referências [3] e [4].

Como alternativa às funções `socket.ntohs` & Ca Lda., pode recorrer ao módulo `struct` para gerar os pacotes TFTP já com o alinhamento de bytes certo para enviar pela rede. "Oficialmente", este módulo permite formatar valores dos tipos de dados nativos do Python para os tipos de dados primitivos da linguagem C. Mas no caso concreto em questão podemos ignorar esses aspectos da linguagem C e utilizar as funções deste módulo para gerar a sequência de bytes correspondente ao pacote que pretendemos enviar. Por exemplo, suponha que pretende enviar um pacote **RRQ** a solicitar o ficheiro `'xpto.bin'` em modo `octet`. O pacote **RRQ** pode ser gerado da seguinte forma:

```
>>> import struct
>>> opcode = 1                                          # RRQ
>>> filename = input("Nome do ficheiro? ").encode()     # assuma 'xpto.bin'
>>> filename += b'\0'
>>> mode = b'octet\0'
>>> pack_fmt = '!h{}s6s'.format(len(filename))          # produz '!h9s6s'
>>> # o '!' garante o alinhamento binário certo (big endian) para a rede

>>> packet = struct.pack(pack_fmt, opcode, filename, mode)
>>> packet
b'\x00\x01xpto.bin\x00octet\x00'
# … agora é uma questão de enviar o pacote, mas isso fica para o projecto …
```

No lado do receptor, a função `struct.unpack` permite desempacotar o pacote para obter os campos novamente. Note que para "desempacotar" o `filename` e o `mode` necessita de localizar o caractere nulo `b'\0'` em cada uma das strings binárias. No caso do `filename`, o caractere nulo deve ser procurado a partir do terceiro byte (inclusive), já que os dois primeiros estão reservados para o `opcode`.

Para trabalhar com sockets *datagrama* (`SOCK_DGRAM`) sugere-se que consulte a secção 11.3 da referência [5]. Esta secção, bem como a anterior, podem também ser úteis para implementar o servidor.

Deve utilizar o módulo `docopt` ou o módulo `argparse` para implementar a leitura dos argumentos da linha de comandos. Para implementar o menu deve utilizar o módulo `cmd` presente na biblioteca padrão do Python. Este módulo simplifica o desenvolvimento de programas interactivos na consola, além de que fornece automaticamente ajuda, *tab completion*, etc.

Uma vez que é provável que cliente e servidor partilhem bastante código, sugere-se a criação dos seguintes módulos:

- **`client.py`:** Código que apenas diz respeito ao cliente.
- **`server.py`:** Caso decida implementar o servidor, aqui vai o código que apenas diz respeito a este componente.
- **`tftp.py`:** Código comum ao cliente e servidor. Deve incluir aqui o código para gerar os pacotes e para gerir o envio de um ficheiro e a recepção de um ficheiro.

Testes

Para testar o cliente sugere-se a instalação de um servidor de TFTP. Para desenvolvimento do servidor é também conveniente instalar um cliente tftp. Existem várias opções para Linux. Aqui sugere-se o `tftpd-hpa` (servidor) e o `tftp` (cliente). Em Ubuntu pode instalá-los com:

```
$ [sudo] apt-get install tftpd-hpa tftp
```

Por omissão o `tftpd-hpa` utiliza a directoria `/var/lib/tftpboot` e não permite *uploads* (ou seja, **`WRQs`**). Encontra instruções para instalar e configurar o `tftpd-hpa` em [6] e no próprio sítio do `tftpd-hpa`.

O SERVIDOR

Utilização

O servidor deve ser implementado em Linux e deve ser invocado da seguinte forma:

```
$ python3 server.py [directory] [port]
```

Por omissão, o servidor gere ficheiros na directoria corrente e aguarda pedidos no porto `69`. Se o porto estiver ocupado o servidor deve terminar com a mensagem de erro

```
Unable to bind to port '<porto indicado>'.
```

Em arrancando com sucesso, o servidor deve exibir a mensagem:

```
Waiting for requests on '<nome do servidor>' port '<porto indicado>'
```

Implementação

O módulo `socket` também pode ser utilizado para implementar um servidor UDP. Eis um servidor horário

adaptado de [5]:

```
from socket import socket, AF_INET, SOCK_DGRAM, SOL_SOCKET, SO_REUSEADDR
import time

def time_server(address):
    sock = socket(AF_INET, SOCK_DGRAM)
    sock.setsockopt(SOL_SOCKET, SO_REUSEADDR, True)
    sock.bind(address)
    while True:
        msg, addr = sock.recvfrom(8192)
        print('Got message from', addr)
        resp = time.ctime()
        sock.sendto(resp.encode(), addr)

if __name__ == '__main__':
    time_server(('', 20001))
```

Este servidor pode ser utilizado por um cliente da seguinte forma:

```
>>> from socket import socket, AF_INET, SOCK_DGRAM
>>> s = socket(AF_INET, SOCK_DGRAM)
>>> s.sendto(b'', ('localhost', 20001))
0
>>> s.recvfrom(8192)
(b'Wed May 15 20:35:08 2016', ('127.0.0.1', 20001))
```

Alternativamente, pode utilizar o módulo `socketserver` para definir um servidor UDP. Eis o mesmo servidor horário implementado com `socketserver`:

```
from socketserver import BaseRequestHandler, UDPServer
import time

class TimeHandler(BaseRequestHandler):
    def handle(self):
        print('Got request from', self.client_address)
        # Get message and client socket
        msg, sock = self.request
        resp = time.ctime()
        sock.sendto(resp.encode(), self.client_address)

if __name__ == '__main__':
    UDPServer.allow_reuse_address = True
    serv = UDPServer(('localhost', 20002), TimeHandler)
    print('Starting server...', serv)
    serv.serve_forever()
```

De modo a poder satisfazer vários **WRQ**s/**RRQ**s em simultâneo, o servidor deve satisfazer cada pedido noutro porto, libertando assim o porto `69` para o processamento de novos **WRQ**s/**RRQ**s. Para tal, para cada **WRQ**/**RRQ** o servidor deve:

- Criar um novo processo do sistema operativo para tratar do **WRQ**/**RRQ**, utilizando, por exemplo, o módulo `multiprocessing`. Em alternativa pode lançar uma *thread* ("fio de execução") através do módulo `threading`. Uma outra alternativa ainda, passa por recorrer ao módulo `socketserver`, onde encontra servidores TCP e UDP "já preparados" para processamento paralelo/concorrente, via processos ou via *threads*, servidores esses que o podem dispensar de ter que recorrer aos dois primeiros módulos.
- Dentro do processo ou *thread* criado, deve instanciar um novo socket *datagrama* por onde irá receber e enviar os pacotes TFTP necessários para satisfazer o pedido **WRQ**/**RRQ**. Este socket é fechado assim que o ficheiro correspondente tiver sido transferido.

Eis uma adaptação do servidor horário desenvolvido com `socketserver` a um cenário de processamento paralelo/concorrente com *threads*:

```
from socketserver import BaseRequestHandler, ThreadingUDPServer
from socket import socket, AF_INET, SOCK_DGRAM
import time

class TimeHandler(BaseRequestHandler):
    def handle(self):
        # Get message and client socket
        msg = self.request[0]
        print('Got request', msg, 'from', self.client_address)
        resp = time.ctime()

        # Create another socket with an ephemeral port for the reply
        with socket(AF_INET, SOCK_DGRAM) as sock:
            sock.sendto(resp.encode(), self.client_address)

if __name__ == '__main__':
    # Threading server allows serving multiple requests concurrently
    ThreadingUDPServer.allow_reuse_address = True
    serv = ThreadingUDPServer(('localhost', 20022), TimeHandler)
    print('Starting server...', serv)
    serv.serve_forever()
```

Após um chegada de um pacote ao porto `69`, o servidor deve verificar qual o seu `opcode` para saber o que fazer. De notar que nem todos os pacotes são válidos em qualquer instante. A título de exemplo, o servidor deve assinalar um erro de protocolo (com **ERR**) caso receba um pacote **DAT** sem o correspondente **WRQ**. Isto obriga a que o servidor reconheça os 5 `opcode`s diferentes. Tendo isto em mente, aqui fica um esboço do

ciclo infinito do servidor para processamento de pedidos dos clientes:

```
while True:
    opcode, data = read_packet()

    {
        OP_RRQ: send_file_or_dir,
        OP_WRQ: receive_file,
        OP_ERR: protocol_error,
        OP_DAT: protocol_error,
        OP_ACK: protocol_error,
    }.get(opcode, invalid_opcode_error)(data)
```

Por questões de segurança, os clientes não devem poder aceder a ficheiros fora da directoria reservada para o servidor. Por outro lado, quando envia ficheiros, um cliente não deve escrever por cima de outro ficheiro com o mesmo nome. Se isto ocorrer, uma mensagem de erro do tipo `"File already exists."` deve ser enviada de volta para o cliente, mensagem essa que deve ser embebida num pacote **`ERR`**. O servidor também não deve aceitar nomes de ficheiros com caracteres "não-exibíveis" (*non-printable*).

Para acompanhar a actividade do servidor e facilitar o *debugging*, devem ser enviadas mensagens de actividade (*logging*) para a saída padrão. Estas mensagens devem ser enviadas sempre que um pedido é iniciado e terminado. Em geral, cada mensagem deve incluir o IP e o porto do cliente, bem como o tipo de pedido e o nome do ficheiro.

Se um cliente permanecer "mudo" durante mais de 60s, o servidor deve abortar a transferência.

ABORDAGEM

Antes de iniciar a implementação deve começar por ler o enunciado e as referências até compreender muito bem o que tem que fazer, ou seja, até ter uma noção clara do âmbito do projecto. Ainda antes de avançar para a implementação, deve começar por escrever as partes iniciais do relatório, nomeadamente a introdução e os fluxogramas aí pedidos (ver secção sobre prazos e entregas).

Sugere-se então a seguinte abordagem, que dá prioridade à implementação do cliente:

1. Escrever as partes indicadas do relatório.
2. Implementar funcionalidades obrigatórias (do cliente):
   - **2.1** Ler correctamente a linha de comandos com o `docopt` / `argparse`.
   - **2.2** Desenvolver a interacção com o utilizador em modo interactivo: exibição da prompt, leitura e análise dos comandos e respectivos argumentos
   - **2.3** Implementar os comandos que não dependem do protocolo: **`quit`** e **`help`**.
   - **2.4** Desenvolvimento das funções para transformar dados em pacotes e vice-versa.

2.5 Desenvolvimento da função para enviar um ficheiro, começando por testar o envio de um pacote **WRQ** para o servidor e analisando o **ACK** correspondente enviado pelo servidor tftp auxiliar. Para já ignorar temporizadores e *timeouts*. Testar restantes situações de erro (ficheiro já existe, operação não suportada, etc.).

2.6 Integrar esta função na implementação do comando **put** e na versão não-interactiva do cliente.

2.7 Desenvolver função para receber um ficheiro (**RRQ**) em moldes semelhantes ao anterior.

2.8 Integrar esta função na implementação do comando get e na versão não-interactiva do cliente.

3. Terminar relatório para o trabalho realizado até agora.

4. Implementar os aspectos opcionais do cliente:

4.1 Caso opte por não implementar o servidor, implementar agora o comando **dir**.

4.2 Acrescentar temporizador de reenvio de **ACK/DAT** (passaram-se 10s desde o último **DAT/ACK**). Ou seja, é necessário um temporizador para a não-recepção dos **ACK/DAT** durante o envio/recepção de um ficheiro (**WRQ/RRQ**)

5. Implementar servidor (ver anexo) e alterar relatório.

6. Incorporar mecanismos de segurança via TLS/SSL (ver anexo) e alterar relatório.

AVALIAÇÃO

No contexto deste projecto, um elemento **extra** ou **opcional** é um componente ou funcionalidade cuja cotação (ver tabela em baixo) é substancialmente inferior à de outros componentes ou funcionalidades de dificuldade semelhante. É possível ter uma boa classificação neste projecto não realizando nenhum dos elementos extra.

Elemento	Cotação Máxima (0..20)
Terminar `put_file` / **WRQ**	4
Cliente não interactivo	6
Cliente interactivo	6
Temporizador reenvio **ACK/DAT**	1
Servidor	2.5
Comando **dir**	0.5

O projecto deve ser resolvido em grupos de dois formandos. Excepcionalmente, poderá ser realizado por grupos com outras dimensões. Deve também elaborar um relatorio (ver secção **Entregas**) que valerá até 20% da cotação do projecto.

PRAZOS E ENTREGAS

O trabalho final deve ser entregue até às 23h59m do dia 20/06/2022. Um atraso de *N* dias na entrega levará a uma penalização dada pela fórmula $0.5 \times 2^{(N-1)}$ ($N > 0$).

Deve criar um repositório no GitHib e utilizar o Git para gestão do código fonte. Deve indicar no relatório o endereço HTTPS do repositório criado. Este repositório deve seguir a estrutura indicada durante a formação. Todos os ficheiros de código devem ser documentados com uma *docstring* apropriada. Além de uma breve descrição, a *docstring* deve incluir a data de entrega e o nome dos elementos do grupo.

Até à data indicada em cima, deve entregar um ZIP com o seguinte:

1. Cópia do repositório do GitHub.
2. Relatório em PDF, cuja estrutura e formatação deverão ser similares ao modelo fornecido em anexo. Em termos de formatação adapte apenas o nome dos módulos. Siga as recomendações relacionadas com a elaboração de um relatório dadas pelo formador Fernando Ruela. Em termos de conteúdo o seu relatório deve possuir as seguintes secções e anexos:

   2.1 **Introdução e Objectivos** (não plagiar a deste enunciado!).

   2.2 **Análise**. Esta secção deverá conter os seguintes diagramas:

   - Diagrama de mensagens a ilustrar o envio de um ficheiro com 1730 bytes
   - Diagrama de mensagens a ilustrar o envio de um ficheiro com 1536 bytes
   - Diagrama de mensagens a ilustrar a recepção de um ficheiro com 2100 bytes.

   Os diagramas anteriores devem ilustrar o conteúdo dos pacotes enviados.

   Esta secção deve também incluir outro diagrama:

   - Diagrama com o formato dos pacotes, similar ao apresentado neste enunciado. Deve complementar este diagrama com uma legenda que, para cada campo, deve incluir uma descrição e uma indicação de quais os valores admissíveis para o campo respectivo.

   2.3 **Desenho e Estrutura** que deverá conter:

   - Um fluxograma de alto-nível sobre a recepção de um ficheiro (`RRQ`) do ponto de vista do cliente. Aqui não faça menções a bibliotecas do Python ou a outros aspectos técnicos da programação. Cada operação deverá ser de alto-nível e descrita em Português. Neste

fluxograma não necessita de detalhar os mecanismos relacionadas com o protocolo (isso será feito noutro diagrama).

- Um fluxograma semelhante ao anterior, mas para o envio de um ficheiro (`WRQ`).

Se implementar o servidor, então deve fazer um diagrama similar para este componente.

- Um fluxograma L1 ou uma descrição em pseudo-código que ilustre a transferência (`RRQ`) de um ficheiro do ponto de vista do servidor. Este fluxograma deve ilustrar toda a lógica de recepção de um ficheiro, incluindo situações de erro (eg, recepção de um pacote inesperado).

2.4 Implementação. Uma breve descrição da solução utilizada em texto corrido. Aqui deve incluir uma explicação de como gerou os pacotes, como implementou o modo interactivo do cliente, como programou os temporizadores dos pacotes `DAT`, como organizou o código, o que implementou e o que ficou por implementar, etc.. Deve indicar que bibliotecas utilizou, quais as suas características, e que mecanismos destas bibliotecas é que foram realmente usados. Se achar necessário, pode incluir pedaços de código ilustrativos.

É também nesta secção que deve indicar que elementos opcionais foram implementados e como. Por exemplo, em relação ao servidor, deve indicar se este suporta pedidos em simultâneo ou não, se implementou o temporizador de reenvio dos `ACK`/`DAT` (o mesmo em relação ao cliente), etc. Deve também explicar se implementou o comando `dir` do cliente e se adaptou o servidor para dar suporte a este comando.

2.5 Conclusão. Além de seguir as recomendações sobre a elaboração de uma conclusão de relatório, deve também listar o que foi implementado e o que ficou por implementar.

2.6 Anexo I - UDP: Breve descrição do protocolo UDP que deve ser escrita em comparação com o TCP.

REFERÊNCIAS:

[1]: Trivial File Transfer Protocol, https://en.wikipedia.org/wiki/Trivial_File_Transfer_Protocol

[2]: RFC1350: THE TFTP PROTOCOL (REVISION 2), https://tools.ietf.org/html/rfc1350

[3]: 18. `socket` - Low-level networking interface: https://docs.python.org/3/library/socket.html

[4]: Tutorial sobre sockets na documentação oficial: https://docs.python.org/3/howto/sockets.html

[5]: Python Cookbook 3rd Edition, David Beazley, http://chimera.labs.oreilly.com/books/1230000000393

[6]: Configuração do `tftpd-hpa`: https://help.ubuntu.com/community/TFTP

[7]: 21.1. `socketserver` - A framework for network servers: https://docs.python.org/3/library/socketserver.html

[8]: 18.2. `ssl` - TLS/SSL wrapper for socket objects: https://docs.python.org/3/library/ssl.html

ANEXO I - SEGURANÇA COM TLS/SSL

A concluir. Consultar referências [5] e [8].

ANEXO II - THREADS E TIMERS

A concluir.