



Centre universitari adscrit a la



**Universitat
Pompeu Fabra**
Barcelona

Xarxes i Serveis Pràctica 1

Dr. Pere Tuset-Peiró
{ptuset}@tecnocampus.cat

Grau en Enginyeria Informàtica de Gestió i Sistemes d'Informació
Escola Politècnica Superior TecnoCampus
Universitat Pompeu Fabra

Curs 2023-2024

Introducció

El programa *traceroute*, escrit per primera vegada per Van Jacobson l'any 1987, s'utilitza en el sistema operatiu GNU/Linux¹ per a determinar els *routers* pels quals viatgen els paquets IP des del seu origen (el vostre ordinador) fins a arribar al seu destí, ja sigui un *router* o un *host* d'Internet. A més a més, durant el procés, el programa *traceroute* també mesura el RTT (*Round Trip Time*) de cada salt i fa la resolució inversa de l'adreça IP al nom de *host*, de manera que es pot obtenir informació precisa de quins *routers* i quins sistemes autònoms (AS, *Autonomous Systems*) ha de travessar un paquet en el seu viatge entre l'origen i el destí. Per exemple, a continuació es mostra el resultat d'un *traceroute* cap a l'adreça 64.233.169.99.

```
1 user@localhost:/# traceroute 64.233.169.99
2 traceroute to 64.233.169.99, 64 hops max, 40 byte packets
3 1 * * *
4 2 172.16.183.1 (172.16.183.1) 23 ms 23 ms 22 ms
5 3 10.127.66.229 (10.127.66.229) [MPLS: Label 1479 Exp 0] 38 ms 51 ms 38 ms
6 4 cnt-00-tge1-0-0.gw.cantv.net (200.44.43.85) 38 ms 38 ms 37 ms
7 5 cri-00-pos1-0-0.border.cantv.net (200.44.43.50) 51 ms 43 ms 43 ms
8 6 sl-st21-mia-14-1-0.sprintlink.net (144.223.245.233) 94 ms 93 ms 93 ms
9 7 sl-bb20-mia-5-0-0.sprintlink.net (144.232.9.198) 95 ms 93 ms 93 ms
10 8 sl-crs1-mia-0-4-0-0.sprintlink.net (144.232.2.248) 94 ms 95 ms 95 ms
11 9 sl-crs1-atl-0-0-0-1.sprintlink.net (144.232.20.48) 104 ms 104 ms 103 ms
12 10 sl-st20-atl-1-0-0.sprintlink.net (144.232.18.133) 104 ms 103 ms *
13 11 144.223.47.234 (144.223.47.234) 103 ms 103 ms 103 ms
14 12 64.233.174.86 (64.233.174.86) 98 ms 97 ms 64.233.174.84 (64.233.174.84) 103 ms
15 13 216.239.48.68 (216.239.48.68) 105 ms 104 ms 106 ms
16 14 72.14.236.200 (72.14.236.200) 106 ms * 105 ms
17 15 72.14.232.21 (72.14.232.21) 110 ms 109 ms 107 ms
18 16 * yo-in-f99.google.com (64.233.169.99) 100 ms 99 ms
```

Com s'observa, per arribar al *host* destí (64.233.169.99), el paquet IP que genera el *host* d'origen ha de travessar un total de 15 *routers*. A més a més, podem veure com el programa *traceroute* també ens mostra la latència (mínima, mitjana i màxima) de cada salt i, en els casos que la IP és pública, fa la resolució inversa de l'adreça IP al nom del *host*. Finalment, fixeu-vos també com en el primer salt el *router* no ha respost i el programa mostra asteriscs per indicar-ho.

Per implementar la seva funcionalitat, el programa *traceroute* s'aprofita del funcionament dels protocols IP (Internet Protocol) i ICMP (*Internet Control Message Protocol*), ambdós definits per l'IETF (*Internet Engineering Task Force*). Concretament, *traceroute* aprofita el fet que a cada salt els *routers* decrement en una unitat el valor del camp TTL abans de fer el reenviament

¹En sistemes operatius Windows el mateix programa s'anomena **tracert**.

del paquet, i que quan el seu valor arriba a zero el *routers* el descarten per evitar bucles d'enca-minament. Quan això es produeix, els *routers* generen un missatge ICMP d'error dirigit al *host* origen per tal d'indicar que el paquet IP s'ha descartat degut a que el camp TTL ha arribat a zero. Això permet al *host* d'origen reenviar el paquet amb un valor TTL més gran o, en cas que no sigui possible, notificar les capes superiors de l'error que s'ha produït.

Així doncs, el funcionament del programa *traceroute* es basa en generar paquets IP dirigits al *host* destí amb valors del camp TTL incrementals (de 1 fins a n). Cada paquet IP viatjarà un màxim de TTL salts i el *router* que el descarti generarà un paquet ICMP d'error per notificar el *host* origen. D'aquesta forma, com que el missatge ICMP d'error generat per cada *router* inclou l'adreça del *router* que l'ha generat, el programa *traceroute* pot esbrinar per quins *routers* circulen els paquets IP per arribar al destí, i també calcular paràmetres com el temps d'anada i tornada. Cal tenir en compte, però que el funcionament d'Internet és dinàmic i, per tant, aquest camí pot canviar al llarg del temps en funció de la disponibilitat dels camins i les polítiques que utilitzin els diferents operadors per a encaminar el tràfic cap al seu destí.

Presentació de la pràctica

Com s'ha explicat abans, l'objectiu d'aquesta primera pràctica de l'assignatura Xarxes i Serveis és implementar un programa de *traceroute*. Per fer la pràctica més interessant augmentarem la informació que proporciona *traceroute* (adreces IP dels *routers*, nom de *host* i RTT) amb la informació geogràfica (latitud i longitud) de les adreces IP dels *routers* que proporcionen alguns serveis d'Internet, com és el cas de ipinfo.io (<https://ipinfo.io>). Així doncs, un cop implementada la pràctica podrem obtenir un mapa cartogràfic que indiqui per on viatgen els paquets IP per tal d'arribar al seu destí, tal com es mostra a la Figura següent.



Figura 1: Exemple d'una traça entre Barcelona i el Canadà.

Com s'observa a la Figura 1, en aquest cas el paquet IP surt de Barcelona i es dirigeix cap al centre del Canadà. És interessant veure com el paquet primer viatja de Barcelona a València, després cap a Madrid i, finalment, a Bilbao, abans de fer el salt cap a Amèrica del Nord a través dels cables submarins que interconnecten els dos continents. Val a dir que aquest procés és degut a la configuració dels *routers* dels diferents operadors d'Internet que s'encarreguen de transportar els paquets IP entre el seu origen i destí.

Desenvolupament de la pràctica

L'objectiu de la pràctica és implementar un programa *traceroute* visual. Per fer-ho utilitzarem el llenguatge de programació Python 3.x i un conjunt de llibreries, tal com es descriu a continuació:

- **scapy**: que permet generar paquets ICMP amb diferents valors de TTL per tal d'implementar la funcionalitat bàsica del programa *traceroute*.
- **ipinfo**: que permet realitzar consultes a través d'HTTP per obtenir la informació geolocalitzada (latitud i longitud) de cadascuna de les adreces IP del camí fins al *host* destí.
- **matplotlib** i **Basemap**: que permeten dibuixar en un mapa terrestre els diferents salts que fa el paquet IP a partir de la informació geogràfica obtinguda al pas anterior.

A més a més, per tal de completar la funcionalitat del programa també us caldrà utilitzar les següents llibreries del sistema que incorpora Python:

- **socket**: que permet realitzar la resolució inversa d'adreces IP i convertir-les en noms de domini (en cas que siguin públiques i existeixin).
- **time**: que permet realitzar l'estimació del RTT, és a dir, el temps d'anada i tornada del paquet ICMP entre l'origen i el destí.
- **argparse** que permet processar els paràmetres d'entrada al vostre programa i realitzar les accions corresponents.

A la Figura 2 es mostra una execució del programa `visualtraceroute.py` amb adreça IP destí 154.54.42.102. Com es pot observar, el programa `visualtraceroute.py` mostra els diferents salts que fa el paquet IP, calcula el temps d'anada i tornada (RTT), i fa la resolució inversa d'adreces IP a noms de *host*. A més, a la Figura 3 es mostra la representació visual de la traça entre l'origen i el destí, mostrant els diferents salts i la seva ubicació geogràfica.

Finalment, comentar que per fer la implementació de la pràctica heu d'utilitzar la màquina virtual Debian 12 que s'ha proporcionat a través del Campus Virtual. La màquina virtual ja porta instal·lat el programari i les llibreries necessaris per desenvolupar la pràctica, incloent-hi Visual Studio Code. Recordeu que el nom d'usuari i la contrasenya de la màquina virtual és **xis** i **esupt**, respectivament. Finalment, tingueu en compte que per executar el programa us caldrà tenir permisos d'administrador, ja que la llibreria **scapy** utilitza RAW *sockets* per tal de generar i enviar paquets IP, de manera que haureu de fer servir la comanda **sudo**.

Consideracions de la pràctica

Teniu total llibertat a l'hora d'implementar la pràctica com creieu més convenient, però a l'hora d'utilitzar les llibreries heu de tenir en compte les següents consideracions:

```
pere@debian:~/Escritorio/Practica3$ sudo ./bin/python3 visualtraceroute.py -i ens33 -d 154.54.42.102
RTT al host="es-grz-home-01.as212900.net" (192.168.1.1) es de 77.79812812805176 ms
...
RTT al host="m1gro.ticac.net" (185.132.89.1) es de 529.5352935791016 ms
...
RTT al host="te0-4-0-14.rcr21.bcn01.atlas.cogentco.com" (149.6.131.89) es de 46.159982681274414 ms
RTT al host="be2421.ccr31.vlc02.atlas.cogentco.com" (154.54.61.197) es de 77.96025276184082 ms
RTT al host="be3355.ccr31.mad05.atlas.cogentco.com" (154.54.57.229) es de 69.58675384521484 ms
RTT al host="be2324.ccr31.bio02.atlas.cogentco.com" (154.54.61.129) es de 81.75206184387207 ms
RTT al host="be2331.ccr41.dca01.atlas.cogentco.com" (154.54.85.241) es de 133.49580764770508 ms
RTT al host="be2112.ccr41.atl01.atlas.cogentco.com" (154.54.7.158) es de 173.45547676086426 ms
RTT al host="be2687.ccr41.iah01.atlas.cogentco.com" (154.54.28.70) es de 173.50196838378906 ms
RTT al host="be3850.ccr21.elp02.atlas.cogentco.com" (154.54.0.54) es de 189.76068496704102 ms
RTT al host="be2979.ccr31.phx01.atlas.cogentco.com" (154.54.5.217) es de 181.23912811279297 ms
RTT al host="be2931.ccr41.lax01.atlas.cogentco.com" (154.54.44.86) es de 197.59559631347656 ms
RTT al host="be3271.ccr41.lax04.atlas.cogentco.com" (154.54.42.102) es de 197.9522705078125 ms
Hem arribat al destí
Parsejant l'adreça IP 192.168.1.1... error! L'adreça IP 192.168.1.1 no es publica!
Parsejant l'adreça IP 185.132.89.1... ok!
Parsejant l'adreça IP 149.6.131.89... ok!
Parsejant l'adreça IP 154.54.61.197... ok!
Parsejant l'adreça IP 154.54.57.229... ok!
Parsejant l'adreça IP 154.54.61.129... ok!
Parsejant l'adreça IP 154.54.85.241... ok!
Parsejant l'adreça IP 154.54.7.158... ok!
Parsejant l'adreça IP 154.54.28.70... ok!
Parsejant l'adreça IP 154.54.0.54... ok!
Parsejant l'adreça IP 154.54.5.217... ok!
Parsejant l'adreça IP 154.54.44.86... ok!
Parsejant l'adreça IP 154.54.42.102... ok!
```

Figura 2: Exemple de la consola del programa `visualtraceroute.py` amb destí 154.54.42.102.



Figura 3: Exemple del mapa del programa `visualtraceroute.py` amb destí 154.54.42.102.

- Heu de mirar les funcions `IP` i `ICMP` de la llibreria `scapy` per tal de generar els paquets que us permeten implementar la funcionalitat bàsica del *traceroute*.
- Heu de mirar la funció `sr1` de la llibreria `scapy` per tal d'enviar i rebre paquets a través de la xarxa mitjançant la vostra targeta de xarxa (`ens33`).
- Heu de mirar la funció `time` de la llibreria `time` per tal d'obtenir el temps local de la vostra màquina i derivar el `RTT` de cada salt.

- Heu d'utilitzar la funció `gethostbyaddr` de la llibreria `socket` per tal de realitzar la resolució inversa d'adreces IP a noms de *host*.
- Heu d'utilitzar la funció `getHandler` de la llibreria `ipinfo` per tal de realitzar una connexió amb el servei IPinfo, i la funció `getDetails` per tal d'obtenir la informació geogràfica de cadascuna de les adreces IP del camí.
- Heu d'utilitzar la funció `Basemap` per tal de crear un mapa i utilitzar aquest objecte mapa per convertir les coordenades (latitud i longitud) de cada punt en una posició en el mapa.
- Heu d'utilitzar les funcions `Circle` i `Line2D` per dibuixar cercles (la posició de cada *router*) i línies (la connexió entre dos *routers* consecutius) en el mapa.
- Heu d'utilitzar les funcions `plt.show` i `plt.savefig` de la llibreria `matplotlib` per tal de dibuixar el mapa per pantalla i guardar-ne una captura a disc.
- Heu d'utilitzar les funcions `add_argument` i `parse_args` de la llibreria `argparse` per tal de processar els paràmetres d'entrada al vostre programa.

A l'hora de desenvolupar la pràctica també heu de tenir en compte les següents consideracions:

- Alguns *routers* i *hosts* d'Internet no responen als paquets ICMP i, per tant, no rebreu cap paquet ICMP de resposta. Això no és un problema, ja que podeu continuar incrementant el camp TTL dels paquets IP que genereu i continuar avançant en la creació de la traça. L'únic problema és que aquest salt no apareixerà a la traça, però no hi podem fer res.
- Alguns *routers* i *host* d'Internet no deixen passar els paquets ICMP, de manera que rebreu un paquet ICMP de resposta, però l'adreça IP origen del paquet de resposta serà duplicat per diferents salts consecutius. En aquest cas de detectar aquesta condició heu d'aturar l'execució de la traça i continuar amb la geolocalització i la creació del mapa.
- Heu de controlar quan l'adreça IP origen del paquet ICMP d'error és la mateixa que el *host* destí dels vostres paquets, ja que això us indicarà que la traça ha finalitzat i podeu passar a realitzar la geolocalització.
- Heu d'indicar a `scapy` la interfície de xarxa que voleu utilitzar per a enviar els paquets IP cap a Internet. Tal com està configurada la màquina virtual la interfície de xarxa s'anomena `ens33`.
- Heu de registrar-vos a la pàgina `ipinfo.io` per tal d'obtenir el *token* que us permetrà fer consultes sobre la geolocalització de les adreces IP (fins a 50k per mes).

Qüestions d'implementació

Respon amb les teves paraules les següents qüestions sobre el funcionament del protocol ICMP:

1. Quina és la mida i el format de la capçalera d'un paquet ICMP?
2. Quin és el valor que identifica el protocol ICMP dins la capçalera IP?
3. Quin és el port d'origen i destí (capa de transport) que utilitza el protocol ICMP?
4. Quin és el tipus/codi que s'utilitza per identificar un paquet ICMP de tipus *Echo Reply*?
5. Quin és el tipus/codi que s'utilitza per identificar un paquet ICMP de tipus *Time Exceeded*?

Entrega i valoració de la pràctica

L'entrega de la pràctica s'haurà de fer per grups (una única entrega per grup) a través del Campus Virtual abans del **18 d'octubre de 2023 a les 23:59h**. L'entrega de la pràctica consistirà en un únic fitxer en format **zip** que ha de contenir els següents elements:

- Fitxer **visualtraceroute.py** amb la implementació que heu realitzat a partir de la funcionalitat descrita en els apartats anteriors d'aquest enunciat.
- Fitxer **memoria.pdf** amb respostes a les preguntes, explicació i exemples d'execució del programa, captures de tràfic amb Wireshark, i explicació dels problemes que s'han trobat en el desenvolupament.

La valoració de la pràctica es realitzarà sobre 10 punts i es realitzarà tenint en compte els criteris que es detallen a continuació:

- (50%) Qualitat del codi (estructura del codi, separació de la funcionalitat en mètodes, ús d'estructures de dades, comentaris per facilitar la comprensió, etc.).
- (25%) Nivell de detall de la resposta a les preguntes formulades en aquest enunciat (incloent-hi captures de Wireshark que justifiquin la resposta).
- (25%) Qualitat de la memòria (portada, índex, explicació del funcionament, exemples de funcionament, conclusions, bibliografia consultada, etc.).

Finalment, de cara l'avaluació de la pràctica tingueu en compte aquests aspectes:

- Es durà a terme una prova de validació individual binària (aprobat/suspès) dels continguts de la pràctica que determinen la nota final el dia de l'examen parcial.
- Les entregues fora del termini establert sense justificació (mèdica, judicial, laboral, etc.) tenen una penalització de 0.5 punts per dia de demora fins a un màxim de 10 dies.
- Qualsevol índex de còpia o plagi (de companys, de fonts no citades, o d'eines com ChatGPT) comportarà que l'activitat s'avalui amb un zero (0).
- El comportament reiterat de còpia o plagi comportarà que l'assignatura s'avalui amb un zero (0) i l'estudiant sigui reportat a la direcció de la Universitat.