



۸۱۰۱۰۱۴۹۰

شبکه‌های کامپیوتری

نام و نام خانوادگی: کسری کاشانی



تمرین ۵

سوال ۱۱

۱ بخش اول، تمرین پینگر ICMP

در این آزمایش، یک برنامه‌ی Ping در زبان Python با استفاده از پروتکل ICMP و Raw Socket پیاده‌سازی شد. هدف برنامه ارسال بسته‌های Echo Request به میزبان مقصد، دریافت Echo Reply، محاسبه‌ی زمان رفت‌وبرگشت (RTT) و نمایش اطلاعاتی مانند TTL و شماره‌ی توالی بود.

ساختار کلی برنامه

برنامه شامل بخش‌های اصلی زیر است:

- ساخت بسته‌ی ICMP Echo Request شامل Header و داده
- قرار دادن Timestamp در بخش داده برای محاسبه‌ی RTT
- ارسال بسته از طریق Raw Socket
- انتظار برای دریافت پاسخ با استفاده از select و مدیریت Timeout
- استخراج IP Header و ICMP Header از بسته‌ی دریافتی
- بررسی صحت بسته با استفاده از Checksum
- محاسبه و نمایش RTT

بررسی صحت بسته‌ها

پس از دریافت هر بسته، ابتدا IP Header Length با استفاده از فیلد IHL محاسبه شد تا مکان شروع پیام ICMP مشخص شود. سپس Checksum کل پیام ICMP (شامل Header و Data) مجدداً محاسبه گردید. در صورتی که نتیجه‌ی Checksum برابر صفر نباشد، بسته نامعتبر تلقی شده و نادیده گرفته می‌شود.

همچنین برای اطمینان از صحت پاسخ، شرایط زیر بررسی شد:

- نوع پیام برابر Echo Reply باشد.
- مقدار Code برابر صفر باشد.
- شناسه‌ی ID با شناسه‌ی فرآیند ارسال‌کننده یکسان باشد.
- آدرس فرستنده‌ی پاسخ با آدرس مقصد برابر باشد.

آزمایش روی Localhost

در اولین مرحله، برنامه روی آدرس 127.0.0.1 آزمایش شد. نتایج نشان دادند که:

- مقدار RTT بسیار کوچک (کمتر از ۱ میلی‌ثانیه) است.
- مقدار TTL برابر ۱۲۸ می‌باشد که نشان‌دهنده عدم عبور از روترهای شبکه است.

این نتیجه طبیعی است زیرا ارتباط به صورت محلی و بدون خروج از سیستم انجام می‌شود.

```
PS C:\Users\user\Desktop\University\Term 7\Computer Networks\HW5\starter_code> python starter_code-CA5-P1.py
Pinging 127.0.0.1 using Python:

8 bytes from 127.0.0.1: icmp_seq=1 ttl=128 rtt=0.331 ms
8 bytes from 127.0.0.1: icmp_seq=1 ttl=128 rtt=0.372 ms
8 bytes from 127.0.0.1: icmp_seq=1 ttl=128 rtt=0.277 ms
8 bytes from 127.0.0.1: icmp_seq=1 ttl=128 rtt=0.188 ms
8 bytes from 127.0.0.1: icmp_seq=1 ttl=128 rtt=0.173 ms
8 bytes from 127.0.0.1: icmp_seq=1 ttl=128 rtt=0.431 ms
8 bytes from 127.0.0.1: icmp_seq=1 ttl=128 rtt=0.236 ms
8 bytes from 127.0.0.1: icmp_seq=1 ttl=128 rtt=0.307 ms
8 bytes from 127.0.0.1: icmp_seq=1 ttl=128 rtt=0.232 ms
8 bytes from 127.0.0.1: icmp_seq=1 ttl=128 rtt=0.254 ms
8 bytes from 127.0.0.1: icmp_seq=1 ttl=128 rtt=0.247 ms
8 bytes from 127.0.0.1: icmp_seq=1 ttl=128 rtt=0.302 ms
8 bytes from 127.0.0.1: icmp_seq=1 ttl=128 rtt=0.333 ms
8 bytes from 127.0.0.1: icmp_seq=1 ttl=128 rtt=0.283 ms
8 bytes from 127.0.0.1: icmp_seq=1 ttl=128 rtt=0.379 ms
8 bytes from 127.0.0.1: icmp_seq=1 ttl=128 rtt=0.231 ms
8 bytes from 127.0.0.1: icmp_seq=1 ttl=128 rtt=0.285 ms
8 bytes from 127.0.0.1: icmp_seq=1 ttl=128 rtt=0.272 ms
8 bytes from 127.0.0.1: icmp_seq=1 ttl=128 rtt=0.290 ms
8 bytes from 127.0.0.1: icmp_seq=1 ttl=128 rtt=0.314 ms
8 bytes from 127.0.0.1: icmp_seq=1 ttl=128 rtt=0.287 ms
8 bytes from 127.0.0.1: icmp_seq=1 ttl=128 rtt=0.313 ms
8 bytes from 127.0.0.1: icmp_seq=1 ttl=128 rtt=0.230 ms
8 bytes from 127.0.0.1: icmp_seq=1 ttl=128 rtt=0.360 ms
8 bytes from 127.0.0.1: icmp_seq=1 ttl=128 rtt=0.325 ms
8 bytes from 127.0.0.1: icmp_seq=1 ttl=128 rtt=0.304 ms
8 bytes from 127.0.0.1: icmp_seq=1 ttl=128 rtt=0.307 ms
8 bytes from 127.0.0.1: icmp_seq=1 ttl=128 rtt=0.283 ms
8 bytes from 127.0.0.1: icmp_seq=1 ttl=128 rtt=0.183 ms
8 bytes from 127.0.0.1: icmp_seq=1 ttl=128 rtt=0.362 ms
8 bytes from 127.0.0.1: icmp_seq=1 ttl=128 rtt=0.275 ms
8 bytes from 127.0.0.1: icmp_seq=1 ttl=128 rtt=0.431 ms
8 bytes from 127.0.0.1: icmp_seq=1 ttl=128 rtt=0.247 ms
8 bytes from 127.0.0.1: icmp_seq=1 ttl=128 rtt=0.277 ms
8 bytes from 127.0.0.1: icmp_seq=1 ttl=128 rtt=0.266 ms
8 bytes from 127.0.0.1: icmp_seq=1 ttl=128 rtt=0.216 ms
8 bytes from 127.0.0.1: icmp_seq=1 ttl=128 rtt=0.294 ms
8 bytes from 127.0.0.1: icmp_seq=1 ttl=128 rtt=0.381 ms
8 bytes from 127.0.0.1: icmp_seq=1 ttl=128 rtt=0.237 ms
8 bytes from 127.0.0.1: icmp_seq=1 ttl=128 rtt=0.275 ms
```

شکل ۱: آزمایش پینگ در localhost

آزمایش روی میزبان‌های خارجی

در ادامه، برنامه روی چند میزبان در قاره‌های مختلف اجرا شد:

میزبان در اقیانوسیه

در این مرحله، آدرس 151.101.131.10 به عنوان میزبان واقع در منطقه‌ی اقیانوسیه مورد آزمایش قرار گرفت. نتایج نشان داد که مقدار RTT به طور محسوسی بیشتر از سایر میزبان‌ها بوده و در بسیاری از نمونه‌ها بین حدود ۲۵۰ تا بیش از ۶۰۰ میلی‌ثانیه نوسان داشته است. این افزایش قابل توجه در زمان رفت‌وبرگشت ناشی از فاصله‌ی جغرافیایی بسیار زیاد و تعداد بالای مسیرهای شبکه‌ای بین مبدأ و مقصد است.

```
PS C:\Users\user\Desktop\University\Term 7\Computer Networks\HW5\starter_code> python starter_code-CA5-P1.py
Pinging 151.101.131.10 using Python:

8 bytes from 151.101.131.10: icmp_seq=1 ttl=46 rtt=301.365 ms
8 bytes from 151.101.131.10: icmp_seq=1 ttl=46 rtt=330.867 ms
8 bytes from 151.101.131.10: icmp_seq=1 ttl=46 rtt=329.360 ms
8 bytes from 151.101.131.10: icmp_seq=1 ttl=46 rtt=329.217 ms
8 bytes from 151.101.131.10: icmp_seq=1 ttl=46 rtt=329.493 ms
8 bytes from 151.101.131.10: icmp_seq=1 ttl=46 rtt=535.629 ms
8 bytes from 151.101.131.10: icmp_seq=1 ttl=46 rtt=635.635 ms
8 bytes from 151.101.131.10: icmp_seq=1 ttl=46 rtt=331.474 ms
8 bytes from 151.101.131.10: icmp_seq=1 ttl=46 rtt=243.620 ms
8 bytes from 151.101.131.10: icmp_seq=1 ttl=46 rtt=311.750 ms
8 bytes from 151.101.131.10: icmp_seq=1 ttl=46 rtt=331.718 ms
8 bytes from 151.101.131.10: icmp_seq=1 ttl=46 rtt=328.607 ms
8 bytes from 151.101.131.10: icmp_seq=1 ttl=46 rtt=329.303 ms
8 bytes from 151.101.131.10: icmp_seq=1 ttl=46 rtt=329.564 ms
8 bytes from 151.101.131.10: icmp_seq=1 ttl=46 rtt=280.212 ms
8 bytes from 151.101.131.10: icmp_seq=1 ttl=46 rtt=276.872 ms
8 bytes from 151.101.131.10: icmp_seq=1 ttl=46 rtt=329.877 ms
8 bytes from 151.101.131.10: icmp_seq=1 ttl=46 rtt=328.299 ms
8 bytes from 151.101.131.10: icmp_seq=1 ttl=46 rtt=293.421 ms
8 bytes from 151.101.131.10: icmp_seq=1 ttl=46 rtt=571.569 ms
8 bytes from 151.101.131.10: icmp_seq=1 ttl=46 rtt=328.366 ms
8 bytes from 151.101.131.10: icmp_seq=1 ttl=46 rtt=339.258 ms
8 bytes from 151.101.131.10: icmp_seq=1 ttl=46 rtt=431.739 ms
8 bytes from 151.101.131.10: icmp_seq=1 ttl=46 rtt=273.129 ms
8 bytes from 151.101.131.10: icmp_seq=1 ttl=46 rtt=488.391 ms
8 bytes from 151.101.131.10: icmp_seq=1 ttl=46 rtt=328.676 ms
8 bytes from 151.101.131.10: icmp_seq=1 ttl=46 rtt=288.160 ms
8 bytes from 151.101.131.10: icmp_seq=1 ttl=46 rtt=267.602 ms
8 bytes from 151.101.131.10: icmp_seq=1 ttl=46 rtt=328.873 ms
8 bytes from 151.101.131.10: icmp_seq=1 ttl=46 rtt=268.187 ms
8 bytes from 151.101.131.10: icmp_seq=1 ttl=46 rtt=289.605 ms
8 bytes from 151.101.131.10: icmp_seq=1 ttl=46 rtt=636.261 ms
8 bytes from 151.101.131.10: icmp_seq=1 ttl=46 rtt=330.815 ms
8 bytes from 151.101.131.10: icmp_seq=1 ttl=46 rtt=328.386 ms
8 bytes from 151.101.131.10: icmp_seq=1 ttl=46 rtt=329.236 ms
8 bytes from 151.101.131.10: icmp_seq=1 ttl=46 rtt=328.614 ms
8 bytes from 151.101.131.10: icmp_seq=1 ttl=46 rtt=331.050 ms
8 bytes from 151.101.131.10: icmp_seq=1 ttl=46 rtt=252.817 ms
8 bytes from 151.101.131.10: icmp_seq=1 ttl=46 rtt=269.838 ms
8 bytes from 151.101.131.10: icmp_seq=1 ttl=46 rtt=260.514 ms
```

شکل ۲: آزمایش پینگ در Oceania

میزبان در آمریکای شمالی

آدرس 104.16.123.96 ۱۰۴.۱۶.۱۲۳.۹۶ پاسخ‌های پایداری ارائه داد. مقدار TTL برابر ۴۸ ثبت شد که بیانگر مسیر کوتاه‌تر در شبکه‌ی توزیع‌شده (CDN) است. RTT نیز بین حدود ۹۰ تا ۲۲۰ میلی‌ثانیه متغیر بود.

```
PS C:\Users\user\Desktop\University\Term 7\Computer Networks\HW5\starter_code> python starter_code=CA5-P1.py
Pinging 104.16.123.96 using Python:

8 bytes from 104.16.123.96: icmp_seq=1 ttl=48 rtt=112.633 ms
8 bytes from 104.16.123.96: icmp_seq=1 ttl=48 rtt=140.318 ms
8 bytes from 104.16.123.96: icmp_seq=1 ttl=48 rtt=126.490 ms
8 bytes from 104.16.123.96: icmp_seq=1 ttl=48 rtt=124.004 ms
8 bytes from 104.16.123.96: icmp_seq=1 ttl=48 rtt=106.386 ms
8 bytes from 104.16.123.96: icmp_seq=1 ttl=48 rtt=96.977 ms
8 bytes from 104.16.123.96: icmp_seq=1 ttl=48 rtt=99.502 ms
8 bytes from 104.16.123.96: icmp_seq=1 ttl=48 rtt=119.713 ms
8 bytes from 104.16.123.96: icmp_seq=1 ttl=48 rtt=97.799 ms
8 bytes from 104.16.123.96: icmp_seq=1 ttl=48 rtt=99.370 ms
8 bytes from 104.16.123.96: icmp_seq=1 ttl=48 rtt=121.264 ms
8 bytes from 104.16.123.96: icmp_seq=1 ttl=48 rtt=119.939 ms
8 bytes from 104.16.123.96: icmp_seq=1 ttl=48 rtt=163.416 ms
8 bytes from 104.16.123.96: icmp_seq=1 ttl=48 rtt=159.998 ms
8 bytes from 104.16.123.96: icmp_seq=1 ttl=48 rtt=110.313 ms
8 bytes from 104.16.123.96: icmp_seq=1 ttl=48 rtt=126.678 ms
8 bytes from 104.16.123.96: icmp_seq=1 ttl=48 rtt=176.719 ms
8 bytes from 104.16.123.96: icmp_seq=1 ttl=48 rtt=145.970 ms
8 bytes from 104.16.123.96: icmp_seq=1 ttl=48 rtt=135.336 ms
8 bytes from 104.16.123.96: icmp_seq=1 ttl=48 rtt=126.280 ms
8 bytes from 104.16.123.96: icmp_seq=1 ttl=48 rtt=122.015 ms
8 bytes from 104.16.123.96: icmp_seq=1 ttl=48 rtt=127.726 ms
8 bytes from 104.16.123.96: icmp_seq=1 ttl=48 rtt=119.352 ms
8 bytes from 104.16.123.96: icmp_seq=1 ttl=48 rtt=106.492 ms
8 bytes from 104.16.123.96: icmp_seq=1 ttl=48 rtt=146.934 ms
8 bytes from 104.16.123.96: icmp_seq=1 ttl=48 rtt=134.043 ms
8 bytes from 104.16.123.96: icmp_seq=1 ttl=48 rtt=219.285 ms
8 bytes from 104.16.123.96: icmp_seq=1 ttl=48 rtt=115.895 ms
8 bytes from 104.16.123.96: icmp_seq=1 ttl=48 rtt=98.955 ms
8 bytes from 104.16.123.96: icmp_seq=1 ttl=48 rtt=161.672 ms
8 bytes from 104.16.123.96: icmp_seq=1 ttl=48 rtt=226.716 ms
8 bytes from 104.16.123.96: icmp_seq=1 ttl=48 rtt=131.899 ms
8 bytes from 104.16.123.96: icmp_seq=1 ttl=48 rtt=151.892 ms
8 bytes from 104.16.123.96: icmp_seq=1 ttl=48 rtt=147.889 ms
8 bytes from 104.16.123.96: icmp_seq=1 ttl=48 rtt=166.110 ms
8 bytes from 104.16.123.96: icmp_seq=1 ttl=48 rtt=129.221 ms
8 bytes from 104.16.123.96: icmp_seq=1 ttl=48 rtt=228.858 ms
8 bytes from 104.16.123.96: icmp_seq=1 ttl=48 rtt=123.883 ms
8 bytes from 104.16.123.96: icmp_seq=1 ttl=48 rtt=123.515 ms
8 bytes from 104.16.123.96: icmp_seq=1 ttl=48 rtt=126.119 ms
```

شکل ۳: آزمایش پینگ در North America

میزبان در اروپا

آدرس 193.0.0.164 که متعلق به زیرساخت‌های اندازه‌گیری شبکه است، پاسخ‌های منظم و قابل‌اعتمادی ارائه داد. مقدار TTL حدود ۵۰ و RTT بین ۱۴۰ تا ۳۵۰ میلی‌ثانیه مشاهده شد که با فاصله‌ی جغرافیایی اروپا سازگار است.

```
PS C:\Users\user\Desktop\University\Term 7\Computer Networks\HW5\starter_code> python starter-code-CA5-P1.py
Pinging 193.0.0.164 using Python:

8 bytes from 193.0.0.164: icmp_seq=1 ttl=50 rtt=142.122 ms
8 bytes from 193.0.0.164: icmp_seq=1 ttl=50 rtt=262.195 ms
8 bytes from 193.0.0.164: icmp_seq=1 ttl=50 rtt=235.045 ms
8 bytes from 193.0.0.164: icmp_seq=1 ttl=50 rtt=157.902 ms
8 bytes from 193.0.0.164: icmp_seq=1 ttl=50 rtt=157.548 ms
8 bytes from 193.0.0.164: icmp_seq=1 ttl=50 rtt=213.656 ms
8 bytes from 193.0.0.164: icmp_seq=1 ttl=50 rtt=229.438 ms
8 bytes from 193.0.0.164: icmp_seq=1 ttl=50 rtt=227.362 ms
8 bytes from 193.0.0.164: icmp_seq=1 ttl=50 rtt=163.731 ms
8 bytes from 193.0.0.164: icmp_seq=1 ttl=50 rtt=188.360 ms
8 bytes from 193.0.0.164: icmp_seq=1 ttl=50 rtt=148.069 ms
8 bytes from 193.0.0.164: icmp_seq=1 ttl=50 rtt=177.322 ms
8 bytes from 193.0.0.164: icmp_seq=1 ttl=50 rtt=353.684 ms
8 bytes from 193.0.0.164: icmp_seq=1 ttl=50 rtt=190.142 ms
8 bytes from 193.0.0.164: icmp_seq=1 ttl=50 rtt=263.956 ms
8 bytes from 193.0.0.164: icmp_seq=1 ttl=50 rtt=226.127 ms
8 bytes from 193.0.0.164: icmp_seq=1 ttl=50 rtt=228.675 ms
8 bytes from 193.0.0.164: icmp_seq=1 ttl=50 rtt=227.184 ms
8 bytes from 193.0.0.164: icmp_seq=1 ttl=50 rtt=329.211 ms
8 bytes from 193.0.0.164: icmp_seq=1 ttl=50 rtt=155.483 ms
8 bytes from 193.0.0.164: icmp_seq=1 ttl=50 rtt=205.025 ms
8 bytes from 193.0.0.164: icmp_seq=1 ttl=50 rtt=177.436 ms
8 bytes from 193.0.0.164: icmp_seq=1 ttl=50 rtt=268.572 ms
8 bytes from 193.0.0.164: icmp_seq=1 ttl=50 rtt=181.292 ms
8 bytes from 193.0.0.164: icmp_seq=1 ttl=50 rtt=359.154 ms
8 bytes from 193.0.0.164: icmp_seq=1 ttl=50 rtt=159.115 ms
8 bytes from 193.0.0.164: icmp_seq=1 ttl=50 rtt=164.538 ms
8 bytes from 193.0.0.164: icmp_seq=1 ttl=50 rtt=164.819 ms
8 bytes from 193.0.0.164: icmp_seq=1 ttl=50 rtt=269.022 ms
8 bytes from 193.0.0.164: icmp_seq=1 ttl=50 rtt=191.824 ms
8 bytes from 193.0.0.164: icmp_seq=1 ttl=50 rtt=226.918 ms
8 bytes from 193.0.0.164: icmp_seq=1 ttl=50 rtt=165.209 ms
8 bytes from 193.0.0.164: icmp_seq=1 ttl=50 rtt=186.459 ms
8 bytes from 193.0.0.164: icmp_seq=1 ttl=50 rtt=153.819 ms
8 bytes from 193.0.0.164: icmp_seq=1 ttl=50 rtt=301.698 ms
8 bytes from 193.0.0.164: icmp_seq=1 ttl=50 rtt=226.987 ms
8 bytes from 193.0.0.164: icmp_seq=1 ttl=50 rtt=182.507 ms
8 bytes from 193.0.0.164: icmp_seq=1 ttl=50 rtt=168.629 ms
8 bytes from 193.0.0.164: icmp_seq=1 ttl=50 rtt=186.767 ms
8 bytes from 193.0.0.164: icmp_seq=1 ttl=50 rtt=166.026 ms
```

شکل ۴: آزمایش پینگ در Europe

میزبان در آسیا

آدرس ۱۸۰.۱۴۹.۹۸.۱۴۶ مورد آزمایش قرار گرفت. مقدار RTT در این حالت به طور محسوسی بیشتر بوده و در برخی موارد از ۶۰۰ میلی ثانیه نیز عبور کرده است. مقدار TTL برابر ۴۳ ثبت شد که نشان دهنده‌ی تعداد بالای پرسنل شبکه‌ای و فاصله‌ی زیاد جغرافیایی است.

```
PS C:\Users\user\Desktop\University\Term 7\Computer Networks\HW5\starter_code> python starter-code-CA5-P1.py
Pinging 180.149.98.146 using Python:

8 bytes from 180.149.98.146: icmp_seq=1 ttl=43 rtt=302.681 ms
8 bytes from 180.149.98.146: icmp_seq=1 ttl=43 rtt=277.970 ms
8 bytes from 180.149.98.146: icmp_seq=1 ttl=43 rtt=278.716 ms
8 bytes from 180.149.98.146: icmp_seq=1 ttl=43 rtt=286.438 ms
8 bytes from 180.149.98.146: icmp_seq=1 ttl=43 rtt=477.577 ms
8 bytes from 180.149.98.146: icmp_seq=1 ttl=43 rtt=311.894 ms
8 bytes from 180.149.98.146: icmp_seq=1 ttl=43 rtt=447.817 ms
8 bytes from 180.149.98.146: icmp_seq=1 ttl=43 rtt=311.033 ms
8 bytes from 180.149.98.146: icmp_seq=1 ttl=43 rtt=276.078 ms
8 bytes from 180.149.98.146: icmp_seq=1 ttl=43 rtt=277.929 ms
8 bytes from 180.149.98.146: icmp_seq=1 ttl=43 rtt=352.274 ms
8 bytes from 180.149.98.146: icmp_seq=1 ttl=43 rtt=329.668 ms
8 bytes from 180.149.98.146: icmp_seq=1 ttl=43 rtt=432.884 ms
8 bytes from 180.149.98.146: icmp_seq=1 ttl=43 rtt=328.627 ms
8 bytes from 180.149.98.146: icmp_seq=1 ttl=43 rtt=330.316 ms
8 bytes from 180.149.98.146: icmp_seq=1 ttl=43 rtt=288.490 ms
8 bytes from 180.149.98.146: icmp_seq=1 ttl=43 rtt=534.276 ms
8 bytes from 180.149.98.146: icmp_seq=1 ttl=43 rtt=678.464 ms
8 bytes from 180.149.98.146: icmp_seq=1 ttl=43 rtt=329.340 ms
8 bytes from 180.149.98.146: icmp_seq=1 ttl=43 rtt=329.047 ms
8 bytes from 180.149.98.146: icmp_seq=1 ttl=43 rtt=329.562 ms
8 bytes from 180.149.98.146: icmp_seq=1 ttl=43 rtt=431.473 ms
8 bytes from 180.149.98.146: icmp_seq=1 ttl=43 rtt=432.682 ms
8 bytes from 180.149.98.146: icmp_seq=1 ttl=43 rtt=431.395 ms
8 bytes from 180.149.98.146: icmp_seq=1 ttl=43 rtt=638.377 ms
8 bytes from 180.149.98.146: icmp_seq=1 ttl=43 rtt=328.675 ms
8 bytes from 180.149.98.146: icmp_seq=1 ttl=43 rtt=291.503 ms
8 bytes from 180.149.98.146: icmp_seq=1 ttl=43 rtt=367.603 ms
8 bytes from 180.149.98.146: icmp_seq=1 ttl=43 rtt=331.710 ms
8 bytes from 180.149.98.146: icmp_seq=1 ttl=43 rtt=329.750 ms
8 bytes from 180.149.98.146: icmp_seq=1 ttl=43 rtt=533.004 ms
8 bytes from 180.149.98.146: icmp_seq=1 ttl=43 rtt=330.697 ms
8 bytes from 180.149.98.146: icmp_seq=1 ttl=43 rtt=431.783 ms
8 bytes from 180.149.98.146: icmp_seq=1 ttl=43 rtt=636.775 ms
8 bytes from 180.149.98.146: icmp_seq=1 ttl=43 rtt=329.162 ms
8 bytes from 180.149.98.146: icmp_seq=1 ttl=43 rtt=431.861 ms
8 bytes from 180.149.98.146: icmp_seq=1 ttl=43 rtt=332.006 ms
8 bytes from 180.149.98.146: icmp_seq=1 ttl=43 rtt=281.019 ms
8 bytes from 180.149.98.146: icmp_seq=1 ttl=43 rtt=285.607 ms
8 bytes from 180.149.98.146: icmp_seq=1 ttl=43 rtt=319.489 ms
```

شکل ۵: آزمایش پینگ در Asia

میزبان Google

همچنین یک تست پینگ برای میزبان Google نیز گرفته شد.

```
PS C:\Users\user\Desktop\University\Term 7\Computer Networks\HW5\starter_code> python starter-code-CA5-P1.py
Pinging 216.239.38.120 using Python:

8 bytes from 216.239.38.120: icmp_seq=1 ttl=111 rtt=131.480 ms
8 bytes from 216.239.38.120: icmp_seq=1 ttl=111 rtt=75.691 ms
8 bytes from 216.239.38.120: icmp_seq=1 ttl=111 rtt=70.536 ms
8 bytes from 216.239.38.120: icmp_seq=1 ttl=111 rtt=126.930 ms
8 bytes from 216.239.38.120: icmp_seq=1 ttl=111 rtt=125.345 ms
8 bytes from 216.239.38.120: icmp_seq=1 ttl=111 rtt=124.166 ms
8 bytes from 216.239.38.120: icmp_seq=1 ttl=111 rtt=97.866 ms
8 bytes from 216.239.38.120: icmp_seq=1 ttl=111 rtt=80.290 ms
8 bytes from 216.239.38.120: icmp_seq=1 ttl=111 rtt=63.260 ms
8 bytes from 216.239.38.120: icmp_seq=1 ttl=111 rtt=69.640 ms
8 bytes from 216.239.38.120: icmp_seq=1 ttl=111 rtt=67.446 ms
8 bytes from 216.239.38.120: icmp_seq=1 ttl=111 rtt=61.419 ms
8 bytes from 216.239.38.120: icmp_seq=1 ttl=111 rtt=124.675 ms
8 bytes from 216.239.38.120: icmp_seq=1 ttl=111 rtt=126.394 ms
8 bytes from 216.239.38.120: icmp_seq=1 ttl=111 rtt=123.617 ms
8 bytes from 216.239.38.120: icmp_seq=1 ttl=111 rtt=124.546 ms
8 bytes from 216.239.38.120: icmp_seq=1 ttl=111 rtt=126.861 ms
8 bytes from 216.239.38.120: icmp_seq=1 ttl=111 rtt=83.620 ms
8 bytes from 216.239.38.120: icmp_seq=1 ttl=111 rtt=73.213 ms
8 bytes from 216.239.38.120: icmp_seq=1 ttl=111 rtt=113.762 ms
8 bytes from 216.239.38.120: icmp_seq=1 ttl=111 rtt=125.220 ms
8 bytes from 216.239.38.120: icmp_seq=1 ttl=111 rtt=126.243 ms
8 bytes from 216.239.38.120: icmp_seq=1 ttl=111 rtt=87.670 ms
8 bytes from 216.239.38.120: icmp_seq=1 ttl=111 rtt=161.451 ms
8 bytes from 216.239.38.120: icmp_seq=1 ttl=111 rtt=123.810 ms
8 bytes from 216.239.38.120: icmp_seq=1 ttl=111 rtt=69.037 ms
8 bytes from 216.239.38.120: icmp_seq=1 ttl=111 rtt=79.576 ms
8 bytes from 216.239.38.120: icmp_seq=1 ttl=111 rtt=124.522 ms
8 bytes from 216.239.38.120: icmp_seq=1 ttl=111 rtt=124.155 ms
8 bytes from 216.239.38.120: icmp_seq=1 ttl=111 rtt=123.559 ms
8 bytes from 216.239.38.120: icmp_seq=1 ttl=111 rtt=72.037 ms
8 bytes from 216.239.38.120: icmp_seq=1 ttl=111 rtt=75.298 ms
8 bytes from 216.239.38.120: icmp_seq=1 ttl=111 rtt=124.632 ms
8 bytes from 216.239.38.120: icmp_seq=1 ttl=111 rtt=124.454 ms
8 bytes from 216.239.38.120: icmp_seq=1 ttl=111 rtt=85.551 ms
8 bytes from 216.239.38.120: icmp_seq=1 ttl=111 rtt=62.824 ms
8 bytes from 216.239.38.120: icmp_seq=1 ttl=111 rtt=123.253 ms
8 bytes from 216.239.38.120: icmp_seq=1 ttl=111 rtt=64.187 ms
8 bytes from 216.239.38.120: icmp_seq=1 ttl=111 rtt=75.613 ms
8 bytes from 216.239.38.120: icmp_seq=1 ttl=111 rtt=82.668 ms
8 bytes from 216.239.38.120: icmp_seq=1 ttl=111 rtt=71.754 ms
8 bytes from 216.239.38.120: icmp_seq=1 ttl=111 rtt=83.101 ms
```

شکل ۶: آزمایش پینگ برای Google

تحلیل نتایج

بر اساس نتایج مشاهده شده می‌توان نتیجه گرفت:

- هرچه فاصله‌ی جغرافیایی میزبان بیشتر باشد، مقدار RTT افزایش می‌یابد.
- نوسان RTT ناشی از شلوغی شبکه و تغییر مسیر بسته‌ها است.
- مقدار TTL اطلاعات مفیدی درباره‌ی تعداد روترهای بین مسیر فراهم می‌کند.
- برخی میزبان‌ها به دلایل امنیتی ممکن است به ICMP پاسخ ندهند که منجر به Timeout می‌شود.

جمع‌بندی

در این پروژه، یک برنامه‌ی ICMP Pinger به صورت کامل پیاده‌سازی و آزمایش شد. نتایج به دست آمده نشان دادند که برنامه قادر است به درستی ارتباط با میزبان‌های محلی و راه دور را برقرار کرده، صحت بسته‌ها را بررسی کرده و زمان رفت و برگشت را با دقت مناسب اندازه‌گیری کند. این آزمایش درک عملی مناسبی از عملکرد پروتکل ICMP و ابزار Ping فراهم می‌کند.

۲ بخش دوم، تمرین اختیاری با نمره اضافه

در این آزمایش، یک برنامه‌ی Traceroute با استفاده از زبان Python و پروتکل ICMP پیاده‌سازی شد. هدف این برنامه، شناسایی مسیر عبور بسته‌ها از میزبان مبدأ تا میزبان مقصد از طریق افزایش تدریجی مقدار TTL و دریافت پیام‌های کنترلی ICMP از روترهای میانی بود.

ایده‌ی اصلی و نحوه‌ی عملکرد

مبنای عملکرد Traceroute بر این اصل استوار است که با ارسال بسته‌های ICMP Echo Request و افزایش مقدار TTL از ۱ تا یک مقدار حداکثر، بسته‌ها به تدریج در روترهای میانی منقضی می‌شوند. هر روتر در صورت صفر شدن مقدار TTL، یک پیام ICMP Time Exceeded با نوع Type=11 به فرستنده بازمی‌گرداند. در نهایت، زمانی که مقدار TTL به اندازه‌ای برسد که بسته به مقصد نهایی برسد، میزبان مقصد با ارسال پیام ICMP Echo Reply با نوع Type=0 پاسخ می‌دهد و فرآیند Traceroute پایان می‌یابد.

ساختار کلی برنامه

برنامه‌ی پیاده‌سازی شده شامل مراحل زیر است:

- ساخت بسته‌ی ICMP Echo Request شامل Header و داده
- قرار دادن RTT در بخش داده برای محاسبه‌ی RTT
- ارسال بسته از طریق Raw Socket
- تنظیم مقدار TTL برای هر ارسال
- انتظار برای دریافت پاسخ با استفاده از تابع select و مدیریت Timeout
- استخراج IP Header و ICMP Header از بسته‌ی دریافتی
- تشخیص نوع پیام ICMP (مانند Echo Reply یا Time Exceeded)
- محاسبه و نمایش RTT برای هر روتر
- نمایش آدرس IP و نام میزبان هر روتر با استفاده از gethostbyaddr

مدیریت پیام‌های ICMP

پس از دریافت هر بسته، نوع پیام ICMP استخراج شد:

- Type=11: نشان‌دهنده‌ی روتراهای میانی که مقدار TTL در آن‌ها منقضی شده است.

(Destination Unreachable) پیام‌های خطأ (مانند Type=3 •

(Echo Reply) پاسخ نهایی میزبان مقصد (Type=0 •

زمان رفت‌وبرگشت (RTT) با استفاده از اختلاف زمان ارسال و دریافت بسته محاسبه شد.

آزمایش روی Localhost

در اولین آزمایش، برنامه روی آدرس 127.0.0.1 اجرا شد. خروجی نشان داد که:

- تنها یک Hop نمایش داده می‌شود.
- مقدار RTT تقریباً صفر است.
- مقدار TTL برابر ۱ می‌باشد.

این نتیجه طبیعی است زیرا ارتباط کاملاً محلی بوده و هیچ روتر میانی در مسیر وجود ندارد.

آزمایش روی میزبان‌های خارجی

در ادامه، برنامه روی چند میزبان خارجی در نقاط جغرافیایی مختلف اجرا شد.

میزبان در اقیانوسیه

در این مرحله، یک میزبان واقع در منطقه‌ی اقیانوسیه با آدرس 151.101.3.10 ۱۵۰ مورد آزمایش قرار گرفت. مطابق خروجی مشاهده شده، بخش زیادی از Hop‌های میانی با پیام Request timed out نمایش داده شدند و تنها در TTL=26 پاسخی از مقصد دریافت شد. مقدار RTT اندازه‌گیری شده برای این Hop برابر حدود ۳۸۵ میلی‌ثانیه گزارش شد که نسبتاً بزرگ بوده و با فاصله‌ی جغرافیایی زیاد و مسیر بین‌قاره‌ای سازگار است. وجود تعداد زیادی Timeout در مسیر نشان می‌دهد که بسیاری از روتراهای بین راه، پیام‌های ICMP Time Exceeded را ارسال نکرده‌اند یا این پیام‌ها در مسیر بازگشت به مبدأ فیلتر شده‌اند. با این وجود، دریافت پاسخ در TTL=26 بیانگر آن است

که بسته‌های ICMP Echo Request در نهایت به مقصد رسیده‌اند و پیاده‌سازی Traceroute قادر به تشخیص رسیدن به مقصد نهایی بوده است.

شکل ۷: آزمایش پینگ در Oceania

میزبان در آمریکای شمالی

برای آدرس 104.16.123.96 که متعلق به یک شبکه‌ی CDN است، پاسخ در TTL=14 دریافت شد. مقدار RTT نسبت به مقصدگاه‌ی دیگر کمتر بود که بیانگر مسیر بهینه‌تر در شبکه‌های توزیع محتوا است.

شکل ۸: آزمایش پینگ در North America

میزبان در اروپا

در آزمایش با آدرس 193.0.0.164 که مربوط به شبکه‌ی RIPE Atlas در اروپا است، اکثر Hop‌های میانی با پیام Request timed out مواجه شدند. با این حال، در TTL=12 پاسخ از روتر مقصد دریافت شد. این رفتار نشان می‌دهد که بسیاری از روترهای میانی، ارسال پیام‌های ICMP Time Exceeded را به دلایل امنیتی یا سیاست‌های شبکه محدود کرده‌اند.

شکل ۹: آزمایش پینگ در Europe

میزبان در آسیا

در آزمایش با آدرس 180.149.98.146، پاسخ نهایی در $TTL=19$ دریافت شد. مقدار RTT نسبتاً بالا و وجود تعداد زیادی Timeout در مسیر نشان دهندهی فاصله‌ی جغرافیایی زیاد و محدودیت پاسخ‌دهی روترهای میانی است.

شکل ۱۰: آزمایش پینگ در Asia

میزبان Google

در آزمایش با دامنه google.com، پاسخ نهایی در TTL=15 از آدرس 216.239.38.120 دریافت شد. در حالی که اکثر TTL‌های میانی با Timeout مواجه بودند، دریافت پاسخ نهایی نشان‌دهندهٔ صحت عملکرد برنامه و رسیدن مستنه‌ها به مقصد است.

شکل ۱۱: آزمایش پینگ روی Google

تحلیل نتایج

مشاهده‌ی تعداد زیادی پیام Request timed out در مسیرهای میانی، رفتاری طبیعی در شبکه‌ی اینترنت امروزی محسوب می‌شود. بسیاری از روترا به دلایل امنیتی، از ارسال پیام‌های ICMP Time Exceeded ICMP خودداری می‌کنند یا آن‌ها را به شدت محدود می‌سازند. با این حال، دریافت پاسخ نهایی از میزبان مقصد نشان می‌دهد که بسته‌ها با موفقیت به مقصد رسیده‌اند و پیاده‌سازی Traceroute به درستی عمل کرده است.

جمع‌بندی

در این آزمایش، یک پیاده‌سازی کامل از ICMP Traceroute ارائه شد که توانست مسیر بسته‌ها را تا مقصد نهایی شناسایی کند. نتایج به دست آمده با رفتار واقعی شبکه‌ی اینترنت سازگار بوده و نشان‌دهنده‌ی محدودیت‌های امنیتی رایج در پاسخ‌دهی ICMP در روتراهای میانی است.