Lehrstuhl für Netzarchitekturen und Netzdienste
School of Computation, Information and Technology
Technische Universität München

Grundlagen Rechnernetze und Verteilte Systeme (IN0010)

Übungsblatt 11

06. Juli – 10. Juli 2026

Aufgabe 1 Network Address Translation

In dieser Aufgabe soll die Weiterleitung von IPv4-Paketen bei Verwendung eines NAT-fähigen Routers betrachtet werden. Für die Zuordnung zwischen öffentlichen und privaten IP-Adressen verfügt ein NAT-fähiger Router über eine Abbildungstabelle, die die Beziehung zwischen lokalem und globalem Port speichert. Viele NAT-fähige Geräte speichern zusätzlich noch weitere Informationen wie die entfernte IP-Adresse oder die eigene globale IP-Adresse (z. B. wenn der Router mehr als eine globale IP besitzt). Davon wollen wir hier absehen.
Abbildung 1.1 zeigt die Netztopologie. Router R1 habe NAT aktiviert, wobei am Interface `eth0` eine private und an `wan0` eine öffentliche IP-Adresse verwendet werde. Router R2 nutze kein NAT. PC2 habe bereits mit Server 2 kommuniziert, wodurch der Eintrag in der NAT-Tabelle von R1 entstanden ist (siehe Abbildung 1.1). Wählen Sie dort, wo Sie die Freiheit haben, sinnvolle Werte für die IP-Adressen und Portnummern.

a)* Geben Sie PC1 und `eth0` von R1 eine passende IP-Adresse. Das Subnetz ist 10.0.0.0/24.

b)* PC1 baue nun eine HTTP-Verbindung zu Server 2 auf. Geben Sie die Felder für die Quell-IP, Ziel-IP, Quell-Port, Ziel-Port und TTL des IP- bzw. TCP-Headers für die Pakete an den drei markierten Stellen in Abbildung 1.1 an. Geben Sie außerdem neu entstehende Einträge in der NAT-Tabelle von R1 an.

c) Server 2 antworte nun PC1. Geben Sie in Abbildung 1.2 analog zur vorherigen Teilaufgabe die Header-Felder an den drei benannten Stellen sowie neu entstehende Einträge in der NAT-Tabelle von R1 an.

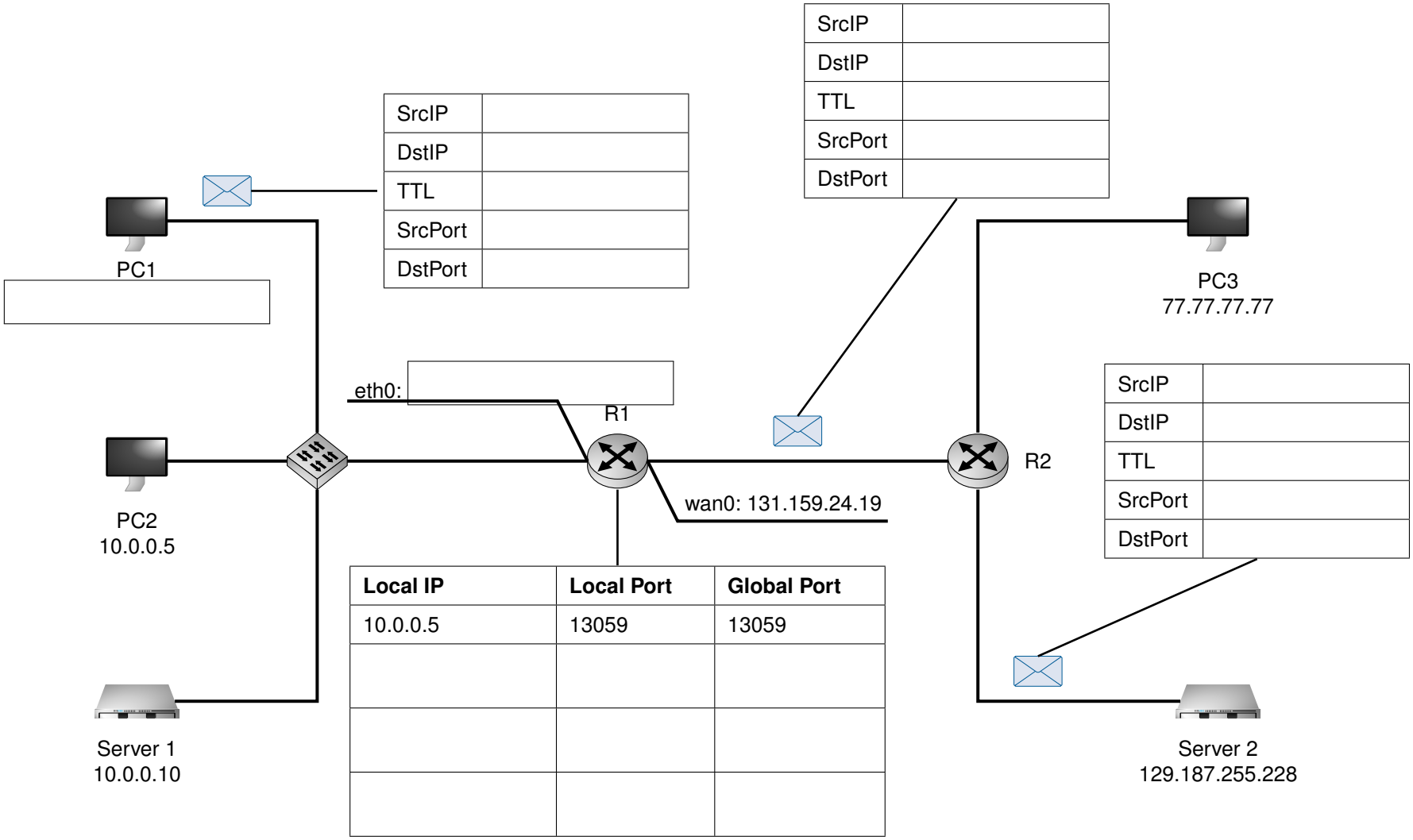

Abbildung 1.1: Lösungsblatt für Aufgabe 1a)/b)

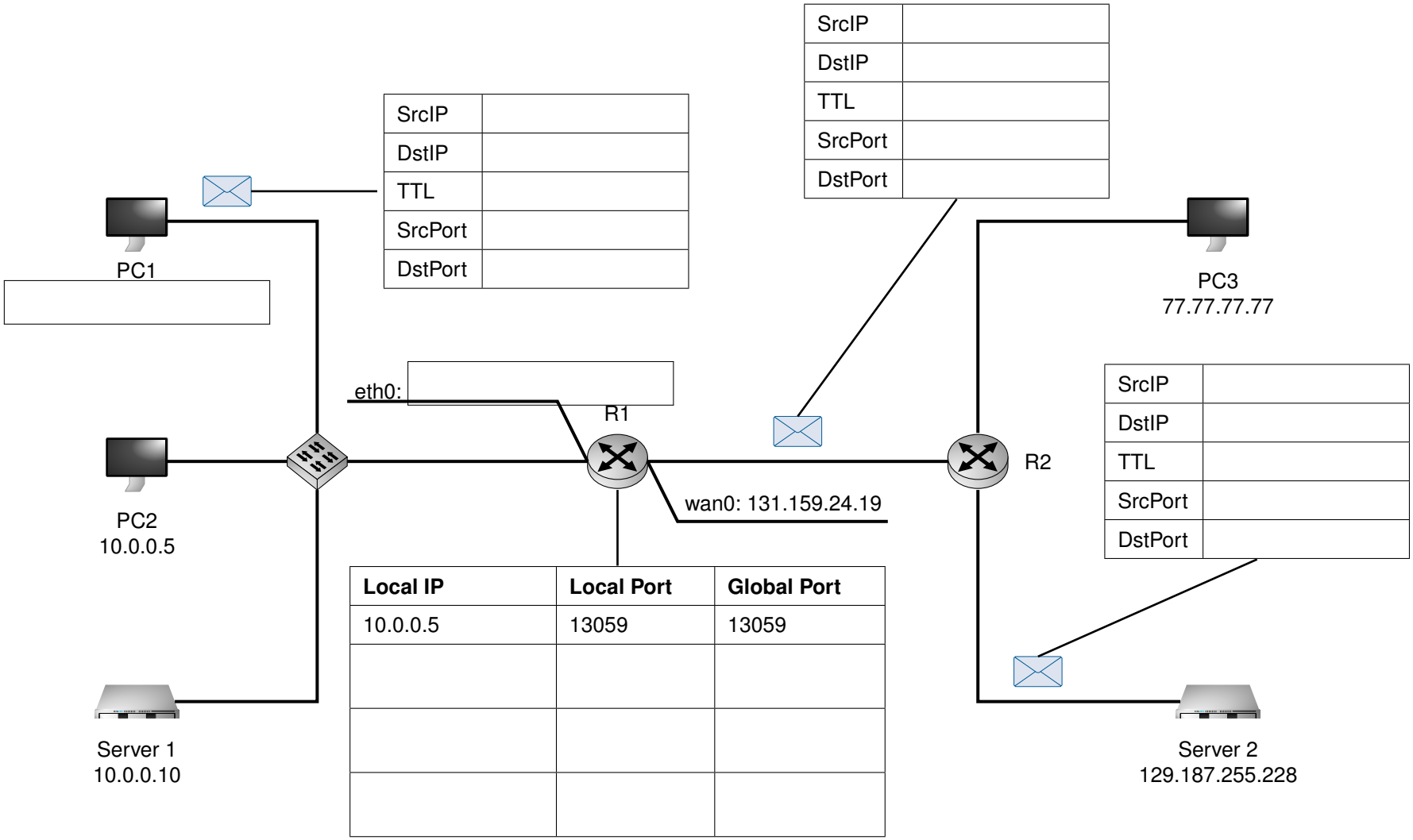

Abbildung 1.2: Lösungsblatt für Aufgabe 1c)

d)* Server 1 baut nun ebenfalls eine TCP-Verbindung zu Server 2 auf Port 80 auf. Dabei wählt er zufällig den Absender-Port 13059. Beschreiben Sie das am NAT auftretende Problem und wie dieses gelöst wird.

e)* R1 erhält von PC3 ein an `131.159.24.19:13059` adressiertes Paket. Wie wird R1 mit diesem Paket verfahren? Welche Probleme können sich daraus ergeben?

f) Ergibt sich für PC2 ein Problem, wenn dieser ein „zufälliges“ Paket mit TCP-Payload auf einem Port mit einer bestehenden Verbindung erhält?

g)* Welche weiteren Unterscheidungskriterien könnten von einem NAT-Router verwendet werden?

h)* Welches Problem tritt auf, wenn PC1 einen Echo Request an Server 2 sendet?

i) Beschreiben Sie eine mögliche Lösung für das in der vorherigen Teilaufgabe aufgetretene Problem.

j) Welches Problem ergibt sich, wenn ein NAT-Router ICMP TTL-Exceeded Nachrichten empfängt und an den Empfänger (Absender des auslösenden Pakets) weiterleiten möchte? Wie kann dieses Problem umgangen werden?

k)* Nun möchte PC3 eine HTTP-Verbindung zu Server 1 aufbauen. Kann dies unter den gegebenen Umständen funktionieren? (Begründung!)

l) Wie könnte das Problem unter Beibehaltung des NATs umgangen werden?

Aufgabe 2 **Kompression: Huffman-Kodierung**

Gegeben sei das Alphabet $\mathcal{A} = \{a, b, c, d\}$ und die Nachricht

$$m = \texttt{aabcbdacababbbbcbddbbbaababdbdbb} \in \mathcal{A}^{32}.$$

a)* Bestimmen Sie die Auftrittswahrscheinlichkeiten p_i der einzelnen Zeichen $i \in \mathcal{A}$ in der Nachricht m.

b) Bestimmen Sie den Informationsgehalt $I(i)$ der einzelnen Zeichen aus $\mathcal{A}$.

c) Die Nachricht m stamme aus einer Nachrichtenquelle X. Bestimmen Sie auf Basis der bisherigen Ergebnisse die Quellenentropie $H(X)$.

d) Bestimmen Sie nun einen binären Huffman-Code C für diese Nachrichtenquelle.

e) Bestimmen Sie die mittlere Codewortlänge von C.

f) Vergleichen Sie die mittlere Codewortlänge von C mit der Codewortlänge eines uniformen[2] Binärcodes.

[2] Ein Code heißt *uniform*, wenn alle Codewörter dieselbe Länge aufweisen.

g) **Hausaufgabe:** Bestimmen Sie einen binären Huffman-Code C' für die Nachrichtenquelle Q', welche Zeichen aus dem Alphabet $\chi = \{a, b, c, d, e\}$ emittiert.
Die Auftrittswahrscheinlichkeiten der Zeichen betragen $p_a = \frac{2}{22}, p_b = \frac{3}{22}, p_c = \frac{4}{22}, p_d = \frac{5}{22}, p_e = \frac{8}{22}$.

Aufgabe 3 Code Demo – Beispiele für mögliche Klausurfragen (Zusatzaufgabe)

Am 1. Juli fand in der Vorlesung die Code-Demo zu UDP und TCP statt. Dabei wurden auch einige mögliche Fragestellungen für die Klausur genannt, die aus diesen Vorlesungseinheiten stammen.
Ausführliche Informationen zu den behandelten POSIX Socket API Funktionsaufrufen finden sie in den Manpages unter Linux bzw. macOS, welche selbstverständlich auch ohne den Umweg einer lokalen Linux-Installation oder der Nutzung der von uns bereitgestellten VMs direkt im Internet verfügbar sind (‘`man <funktion>`‘ auf Google).
Bitte beachten Sie, dass es zu diesen Fragen **keinen** Lösungsvorschlag geben wird.

a)* Erläutern Sie in 1 –2 Sätzen oder Stichpunkten die Funktion von `socket()`.

b)* Erläutern Sie in 2 –3 Sätzen oder Stichpunkten die Funktion von `bind()`.

c)* Erläutern Sie in 1 –2 Sätzen oder Stichpunkten die Funktion von `connect()`.

d)* Erläutern Sie in 2 –3 Sätzen oder Stichpunkten die Funktion von `accept()`. Gehen Sie dabei insbesondere auf Argument und Rückgabewert ein.

e)* Erläutern Sie in 2 –3 Sätzen oder Stichpunkten die Funktion von `select()`.

f)* Erläutern Sie in 2 –3 Sätzen oder Stichpunkten die Funktion von `listen()`.

g)* Erläutern Sie in 3 –4 Sätzen oder Stichpunkten die Unterschiede zwischen den Funkionen `recv()` und `recvfrom()`.

h)* Erläutern Sie in 3–4 Sätzen oder Stichpunkten die Unterschiede zwischen den Funktionen `send()` und `sendto()`.

i)* Nennen Sie die notwendigen Funktionsaufrufe zum Öffnen eines passiven Sockets in der richtigen Reihenfolge (auch bekannt als Listening Socket).

Machen Sie sich mit den in der Vorlesung programmierten bzw. vorgestellten Programmen `udpchat` und `tcpchat` vertraut. Diese stehen auf `https://grnvs.net` zum Download zur Verfügung.

j)* Weswegen **müssen** beim `udpchat` (ohne Server) Absender-Port, Ziel-IP und Ziel-Port angegeben werden, während beim TCP-Client die Angabe von Ziel-IP und Ziel-Port ausreichen?

k)* Weswegen konnte der UDP-Relay-Chat (`udp_server`) einem Client erst dann Antworten, **nachdem** dieser eine Textnachricht an den Server geschickt hatte?

l)* Weswegen kann der `udp_server` nicht ohne Weiteres erkennen, ob ein Client offline ist?

m)* Beschreiben Sie mindestens zwei Vorteile, die der TCP-Chat gegenüber dem UDP-Chat bietet.

Aufgabe 4 Drahthai (Zusatzaufgabe)

Gegeben sei der in Abbildung 4.1 dargestellte Hexdump in Network-Byte-Order eines Ethernet-Rahmens, welcher im Folgenden analysiert werden soll.

```
0x0000    d0  e1  40  97  ec  ea  00  0d      2e  00  40  01  08  00  45  00
0x0010    00  38  00  00  00  00  f1  01      8c  2b  3e  9a  59  2e  ac  13
0x0020    f9  bd  0b  00  bf  50  00  00      00  00  45  00  00  3c  15  b2
0x0030    00  00  01  11  ea  81  ac  13      f9  bd  81  bb  91  f1  d4  0f
0x0040    82  be  00  28  de  b8
```

Abbildung 4.1: Hexdump eines Ethernet-Rahmens in Network-Byte-Order

a)* Markieren Sie in Abbildung 4.1 Beginn und Ende des Ethernet-Headers.

b) Begründen Sie, welches Protokoll auf Schicht 3 verwendet wird.

c) Bestimmen Sie die Länge des Headers auf Schicht 3 (Begründung) und markieren Sie dessen Ende in Abbildung 4.1.

d) Geben Sie – sofern im Paket enthalten – TTL bzw. HopCount in dezimaler **und** hexadezimaler Schreibweise an.

e) Begründen Sie, zu welchem Protokoll die L3-SDU gehört.

Gegeben sei die in Abbildung 4.2 dargestellte SDU der Schicht 3 **eines anderen Pakets**. Es sei bekannt, dass es sich hierbei um ICMPv4 handelt.

```
0x0000    0b  00  bf  50  00  00  00  00      45  00  00  3c  15  c6  00  00
0x0010    01  11  ea  6d  ac  13  f9  bd      81  bb  91  f1  ec  38  82  c4
0x0020    00  28  c6  89
```

Abbildung 4.2: ICMP-Nachricht inklusive ICMP-Header in Network-Byte-Order

f)* Bestimmen Sie Typ und Code der ICMP-Nachricht.

g) Wodurch wird eine solche Nachricht hervorgerufen?

h)* Markieren Sie das Ende des ICMP-Headers in Abbildung 4.2.

i) Erläutern Sie, was die Payload einer solchen Nachricht grundsätzlich enthält.

j)* Erläutern Sie, weswegen ein NAT zwischen TCP/UDP und ICMP unterscheiden muss.

k) Erläutern Sie, wie ein NAT-fähiger Router den Empfänger dieser konkreten ICMP-Nachricht ermitteln kann.

l)* Beschreiben Sie das grundsätzliche Problem, das bei ICMP in Verbindung mit NAT auftritt.

m) Wie kann das Problem aus Teilaufgabe l) beispielsweise für ICMP Echo Requests/Replies gelöst werden?

n) Welches zusätzliche Problem entsteht mit der ICMP-Nachricht aus Abbildung 4.2 bei der Verwendung von NAT?

o) Wie kann auch das Problem aus Teilaufgabe n) gelöst werden?