به نام خداوند بخشنده مهربان

دانشگاه صنعتی شریف
مدرس: مهدی خرازی

تمرین برنامه نویسی اول *
شبکه‌های رایانه‌ای

دانشکده‌ی مهندسی کامپیوتر
پاییز ۱۳۹۵

اهداف تمرین

- آشنایی با ارتباطات P2P
- آشنایی با لایه سوم و چهارم شبکه، مسیریابی و پروتکل UDP
- آشنایی با NAT ، NAT Traversal و روش Hole Punching

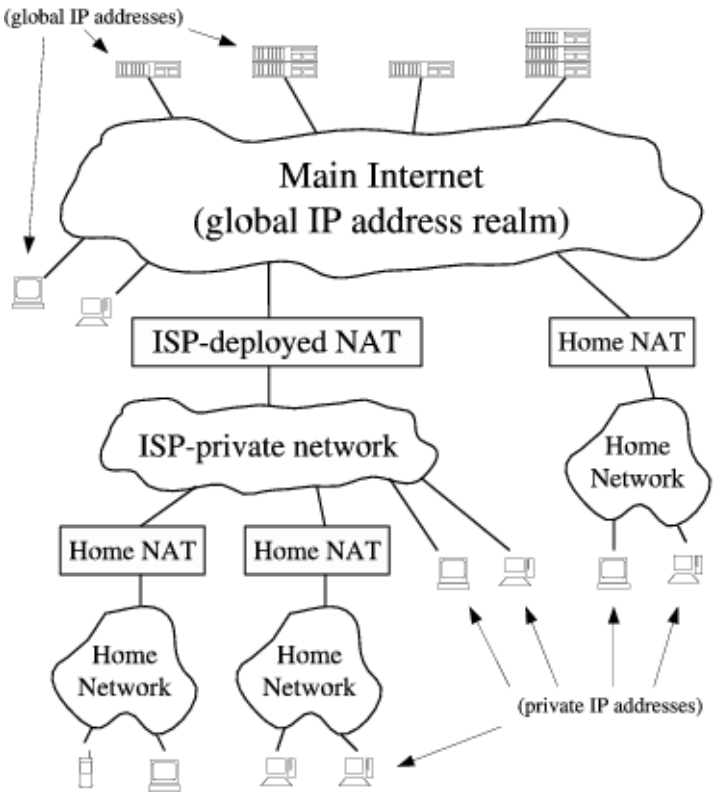
۱. مقدمه

همانطور که می‌دانید اعضا شبکه مستقیما باهم در ارتباط نیستند. از این رو هر عضو شبکه برای ارتباط برقرار کردن با عضوی دیگر مجبور است بسته اش را از مسیری که شامل اعضای میانی است بگذراند. کار برخی از اعضای مسیر، مسیریابی است و صرفا بسته را بدون تغییر به بعدی می‌دهند. اما اعضایی هستند که بسته را بازرسی و فیلتر می‌کنند و در برخی مواقع بسته را تغییر می‌دهند. به طور کلی به این اعضاء Middle Box می‌گوییم.

حالت خاصی از Middle Box ها، Network address translation (NAT) ها هستند. این اعضاء آدرس مبدا و یا مقصد را تغییر می‌دهند، بنابراین گره‌هایی که پشت NAT قرار دارند، از دید اعضای جلویی NAT آدرس متفاوتی دارند و بعضا ممکن است دو گره شبکه یک آدرس داشته باشند. مشکلی که اینجا پیش می‌آید این است که اگر دو همتا [۱] بخواهند به یکدیگر بسته بفرستند و یک ارتباط همتا به همتا [۲] را ایجاد کنند، چگونه آدرس همدیگر را پیدا کنند و به نوعی محدودیت های NAT را دور بزنند. روش های مختلفی برای اینکار وجود دارد که به طور کلی به این مسئله و متدولوژی NAT Traversal می‌گویند. در حالت کلی شبکه به شکل زیر است:

* با سپاس از سولماز سلیمی، رضا میرعسگر شاهی، پارسوآ خورسند، پیمان عزتی، مهدی بهروزی‌خواه

[۱] Peer
[۲] P2P



۲. مقدمه‌ای بر NAT

امروزه استفاده از NAT ها بسیار رایج شده است و اکثر همتاها پشت چند لایه از NAT قرار دارند. کار مهم NAT این است که آدرس و یا درگاه بسته ی وارد شده را عوض و یا ترجمه کند و سپس بسته را به گره بعدی بدهد.NAT ها با توجه به کاری که میکنند به چند دسته مختلف تقسیم میشوند که رایج ترین آنها Outbound NAT ها هستند. این دسته در حالت عادی برای بسته های وارد شده آدرس محلی را به آدرس عمومی ترجمه میکنند. اما بسته هایی که از خارج وارد می‌شوند را تنها در صورتی به آدرس محلی تبدیل می‌کند که از قبل نشستی [۳] با این آدرس از داخل شبکه محلی ایجاد شده باشد. Outbound NAT ها خود به دو زیر دسته تقسیم میشوند:

Basic NAT: تنها آدرس را ترجمه میکنند

Network/Port Translation (NAPT): که هم آدرس و هم درگاه را ترجمه میکنند و حالت کلی تری هستند و این امکان را میدهند تا همزمان چند همتا از یک آدرس عمومی روی درگاه های مختلف استفاده کنند.

متاسفانه اکثر حالت های NAT باعث می‌شود اگر هر دو همتا پشت یک NAT جدا باشند، هیچ کدام نتوانند با آن یکی نشستی ایجاد کنند زیرا NAT همتای مقابل بسته وارد شده از خارج را دور می‌ریزد. بدین ترتیب تنها راه ارتباطی حالتی است که یک همتا شروع کننده نشست باشد و همتای دیگر پشت NAT نباشد. اما با روش هایی می توان بین دو همتای پشت NAT نیز ارتباط برقرار کرد. یکی از این روش ها روش UDP Hole Punching است.

[۳] یک نشست یا Session در پروتکل UDP و TCP تشکیل شده از یک چهارتایی (Local IP, Local Port, Remote IP, Remote Port) است.

۳. مقدمه‌ای بر UDP Hole Punching

روش Hole Punching یکی از روشهاییست که برای عبور از NAT استفاده می‌شود. ایده کلی این روش کمک گرفتن از یک کارگزار شناخته شده برای دو همتا است. ابتدا کافیست هر دو با کارگزار یک نشست درست کنند. سپس کارگزار به ازای هر همتا دو آدرس و دو درگاه نگهداری می‌کند. یکی آدرس و درگاهی است که خود همتا بسته را با آن فرستاده بود که به آن اطلاعات محلی می‌گوییم. دیگری آدرس و درگاهی است که کارگزار هنگام دریافت بسته در سرآیندهای بسته می‌بیند که به آن اطلاعات عمومی می‌گوییم. اطلاعات محلی را باید خود همتاها بفرستند زیرا پس از عبور از NAT دیگر قابل شناسایی نیست. اما اطلاعات عمومی از سرآیندها معلوم است. پس از این کارگزار تمام اطلاعات هر دوهمتا را برایشان می‌فرستد. هر کدام از همتاها با هر دو اطلاعات محلی و عمومی تلاش به برقراری یک نشست جدید می‌کنند. هر نشستی که زودتر انجام شد، همان را ادامه می‌دهند.

برای مثال فرض کنید دو همتای A و B داریم که هر دو پشت NAT اند. و کارگزاری مانند S وجود دارد که پشت NAT نیست و هر دو A و B از قبل با S یک نشست UDP ایجاد کرده اند. حال A در تلاش است تا با B یک نشست UDP ایجاد کند. پس مراحل زیر را انجام میدهند:

۱. A آدرس B را نمیداند، پس از S میپرسد.

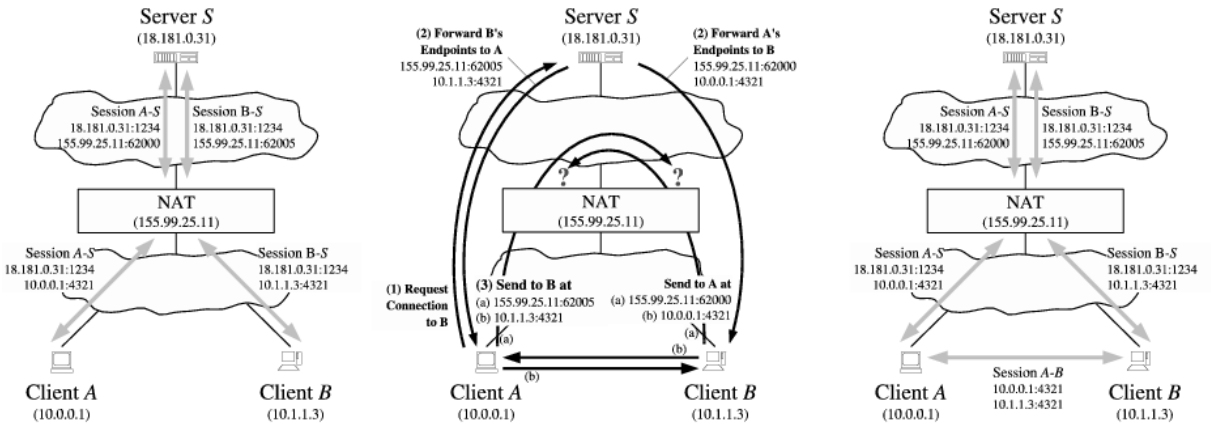
۲. S بسته ای به A شامل آدرس و درگاه محلی همچنین آدرس و درگاه عمومی B میفرستند. به طور همزمان اطلاعات A را نیز به B میفرستد تا هر دو همدیگر را بشناسند.

۳. هنگامی که A اطلاعات را از S دریافت کرد، به هردو آدرس محلی و عمومی B بسته اش را میفرستد و منتظر میشود تا یکی از این دو آدرس جوابش را بدهند و با آن ارتباط را ادامه دهد. به طور موازی B نیز هنگامی که بسته را دریافت کرد، به هردو آدرس محلی و عمومی A بسته را میفرستد و منتظر میشود تا از یکی پاسخ بگیرد.

با توجه به سناریو بالا، سه حالت محتلف برای A و B پیش می‌آید که در ادامه به بررسی آن‌ها می‌پردازیم.

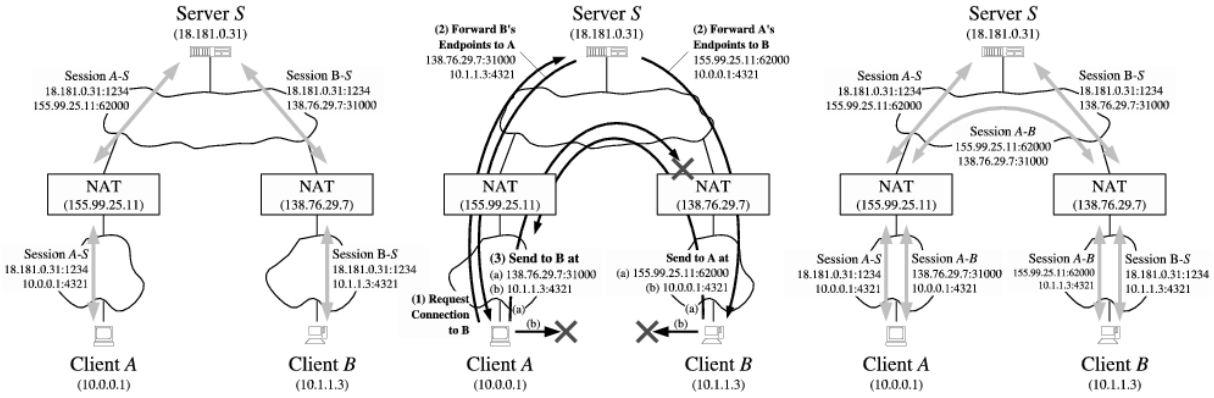
۱.۳ NAT مشترک

در این حالت هر دو همتا پشت یک NAT مشترک هستند. همانطور که در شکل می‌بینید، دو همتا پس از دریافت اطلاعات از S ، از طریق آدرس عمومی و محلی یکدیگر تلاش برای برقراری ارتباط می‌کنند. در اینجا چون هردو در یک شبکه محلی هستند، مسیر محلی زودتر شکل می‌گیرد و در نتیجه نشست از طریق ارتباط محلی برقرار می‌شود.



۲.۳. NAT متفاوت

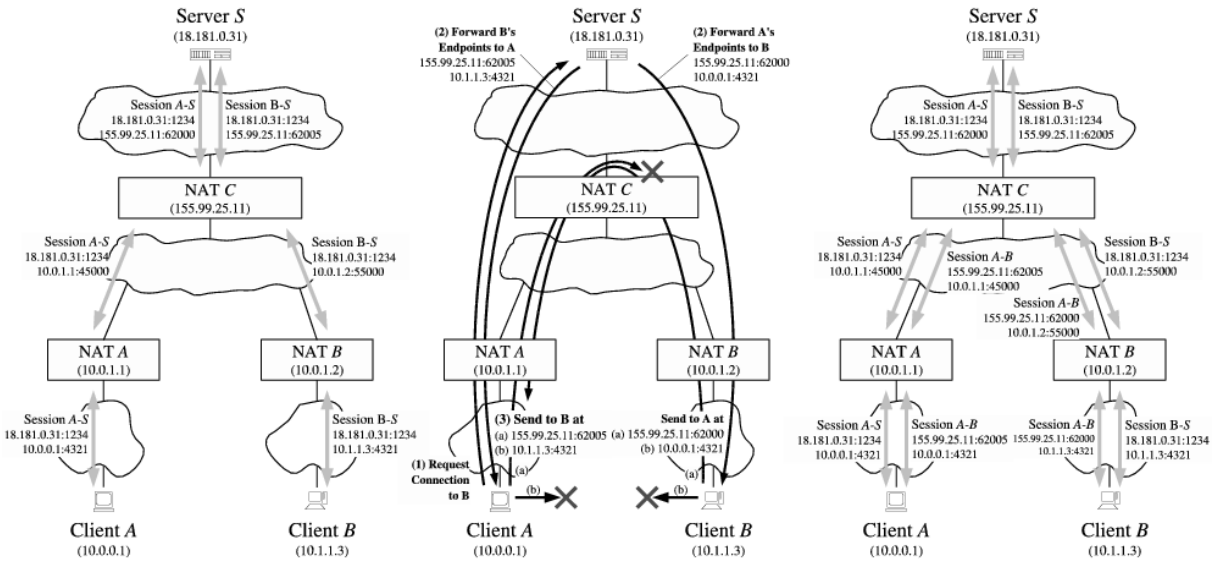
در این حالت دو همتا پشت یک لایه NAT متفاوت هستند. شکل زیر را مشاهده کنید.



از این رو از طریق اتصالات محلی نمیتوانند ارتباط برقرار کنند. پس هنگامی که A بسته درخواست را از طریق NAT به B می‌فرستد، در جدول NAT ای که A پشت آن است یک خانه جدید با اطلاعات این نشست (شامل آدرس و درگاه A و آدرس و درگاه B) ایجاد می‌کند. اما هنگامی که بسته به NAT ای که B پشت آن است می‌رسد، ممکن است عبور نکند. اگر بسته‌ای که B به سمت A فرستاده، هنوز به B NAT نرسیده باشد، جدول B NAT بروز نشده است، در نتیجه بسته A عبور نمی‌کند، اما اگر بسته B زودتر رسیده باشد، بسته A نیز عبور می‌کند. اما در هر صورت، اگر هر دو NAT به صورت ترتیبی بسته‌ها را پردازش کنند، یکی از دو بسته به مقصد می‌رسد و ارتباط برقرار می‌شود.

۳.۳. NAT چندلایه

در این حالت دو همتا پشت چندلایه NAT متفاوت هستند. شکل زیر را مشاهده کنید.



در این حالت نیز ارتباط محلی پاسخگو نیست. این حالت مانند حالت قبلی است، با این تفاوت که مسیر بسته‌ها تا بالاترین گره‌ای است که شبکه‌های دو همتا را بهم مرتبط کند و آدرس‌هایشان معنی دار می‌شود. در گره پایانی، عملیات ترجمه انجام می‌شود و دوباره بسته به شبکه داخلی باز می‌گردد.

۴.۳. توپولوژی شبکه

توپولوژی این سوال به صورت درختی است. هر عضو شبکه (بجز کارگزار) از طریق واسط شماره ۰ خود به شبکه عمومی‌تری متصل است. در نتیجه، هر عضو شبکه اگر مقصد بسته‌ای را نیافت، از واسط شماره ۰ خود به بیرون می‌فرستد بدون اینکه بررسی کند آیا mask شبکه واسط شماره ۰ برای این بسته است درست است یا خیر.

برای گره‌های NAT، دنیای بیرونی و آدرس‌های عمومی همه در واسط شماره ۰ آن قرار دارند و واسط‌های دیگر آن هر کدام ممکن است مربوط به یک شبکه مجزا باشند.

در ریشه این درخت، کارگزار قرار دارد. تضمین می‌شود که کارگزار در دنیای اینترنت قرار دارد و پشت هیچ NAT ای نیست. همچنین کارگزار همیشه در آدرس و درگاه `1.1.1.1:1234` قرار دارد و شما موظفید تنها به/از این آدرس و درگاه بسته بفرستید، حال آنکه واسط‌های دیگری با آدرس‌های دیگری نیز داشته باشد.

ممکن است ساختار شبکه به گونه‌ای باشد که این درخت، در ظاهر درخت نباشد، یعنی اتصالات آن شامل دور باشد، اما با توجه به الگوریتم مسیریابی و ساختار mask، برای هر بسته تنها یک واسط خروجی وجود خواهد داشت. تضمین می‌شود در صورت مسیریابی درست، هرگز دوری ایجاد نخواهد شد.

شبکه های محلی، می‌توانند IP های مشترکی داشته باشند، زیرا از هم جدا هستند، از این رو، در تست‌ها برای راحتی شما، سعی شده هیچ نشست یکسانی تشکیل نشود، یعنی دو IP یکسان، حتما روی درگاه‌ها متفاوتی گوش [۴] می‌کنند.

[۴] Listen

ساختار شبکه به گونه‌ای است که، حداکثر ۱۵ عضو در شبکه حضور دارند. در این میان، ممکن است کاربر شما پشت چند لایه NAT باشد بنابراین ممکن است یک بسته برای رسیدن به مقصد چندین بار دست‌خوش تغییر قرار بگیرد.

۴. توضیح تمرین

هدف این تمرین پیاده سازی روش UDP Hole Punching است که در مقدمه به طور کلی توضیح داده شد. بنابراین شما در یک شبکه قرار دارید که سه نوع گره(سرویس‌دهنده NAT ، کارگزار [۵] ، کارخواه [۶]) دارد. پس شما در نقش کارخواه باید دو کارخواهی که پشت NAT هستند و از توپولوژی شبکه خبر ندارند را بهم وصل کنید. در صورتی که بسته‌ای به کارخواهی وارد شد، باید آن را از طریق IP مسیریابی کند و به گره بعدی برساند. همچنین در نقش کارگزار باید بسته‌هایی را دریافت و ذخیره کنید و سپس بسته‌ها را مسیریابی کرده و برای کارخواهان دیگر بفرستید. دقت کنید که برای کمتر شدن حجم کار، کد سرویس دهنده NAT بصورت اجرایی در اختیار شما قرار خواهد گرفت. اما برای قسمت امتیازی نیاز است این بخش را نیز خودتان پیاده سازی کنید.

۱.۴ انواع بسته‌ها

تمامی بسته‌هایی که در این تمرین تولید و بین گره‌ها جابه‌جا می‌شوند، ساختار زیر را دارند و شما موظفید تمام این قسمت‌ها را پر کنید:

Ethernet	IP Header	UDP Header	Data Type + ID	Data
14 Byte	20 Byte	4 Byte	1 Byte(2+6 bit)	Not Fixed

جدول ۱ : ساختار بسته‌ها

۱.۱.۴ Ethernet:

آدرس مبدأ را آدرسی که در Interface شما نوشته شده است بگذارید، آدرس مقصد را Broadcast و Type را برابر IP (۰x۰۸۰۰) قرار دهید. [۷]

۲.۱.۴ IP Header:

- تک تک قسمت‌ها را باید مطابق با استاندارد IPv4 پر کنید. [۸]

[۵] Server
[۶] Client
[۷] https://en.wikipedia.org/wiki/Ethernet_frame#Ethernet_II
[۸] https://en.wikipedia.org/wiki/IPv4#Header

- دقت کنید که هر گره ممکن است چند `Interface` داشته باشد که در هر کدام از آن‌ها یک آدرس مخصوص به خود را دارد. قسمت مربوط به `Source IP address` تمام بسته‌ها هنگام ساخت، باید برابر IP این گره در `Interface` شماره ۰ این گره باشد. سپس گره‌های میانی دیگر کاری با این قسمت ندارند(مگر سرویس دهنده های NAT).

- `DSCP` ، `ECN` ، `Identification` ، `Flags` و `Fragment Offset` را با `0` پر کنید.

- `Checksum` پر کردن این قسمت و درست بودن آن برای تمام بسته‌ها الزامیست.

- `Protocol` پروتکل لایه بالایی را باید در این قسمت قرار دهید. چون تمام بسته‌ها UDP هستند، پس با `17` پر کنید.

- `TTL` را با حداکثر شروع کنید و پس از دریافت هر بسته، یک واحد از آن کم کرده و سپس به بعدی انتقال دهید.

  نکته: کم کردن `TTL` باعث بی‌اعتباری `Checksum` می‌شود، پس باید این قسمت را نیز هربار بروز کنید.

۳.۱.۴. UDP Header:

- مطابق با درگاه‌های گفته شده و طول پیام ارسالی جزئیات این قسمت را پر کنید. [۹]

- `Checksum` را همیشه برابر با ۰ قرار دهید.

۴.۱.۴. Data Type، Data:

با توجه به نوع بسته، محتویات بسته متفاوت خواهد بود. در ادامه جزییات این قسمت به صورت دو جدول آمده است. دقت کنید که طول Data شما همیشه ثابت نیست و با توجه به جدول می‌توانید طول هر بسته را حساب کنید، کافیست ببینید تا چند بایت اول برای هر بسته مورد نیاز است.

۲.۴. کارخواه

هر کارخواه چند وظیفه بر عهده دارد.

- مسیریابی و رد و بدل کردن تمام بسته‌هایی که از گره‌های همسایه می‌گیرد. هر کارخواه باید روی تمام واسط‌ها [۱۱] گوش کند و بسته‌هایی که وارد می‌شوند را پردازش کند. در صورتی که آدرس مقصد بسته مربوط به این کارخواه نباشد، باید بسته را با توجه به Mask هر واسط مسیریابی کند و روی آن واسط بفرستد. در

[۹] https://en.wikipedia.org/wiki/User_Datagram_Protocol#Packet_structure

[۱۰] طول این پیام ممکن است تا ۵۰ بایت باشد

[۱۱] Interfaces

Name	Sender	Receiver	Data Type
Request assigning ID	Client	Server	00
Response assigning ID	Server	Client	00
Drop assigning ID	NAT	Client	00
Request getting IP	Client	Server	01
Response getting IP	Server	Client	01
Request local session	Client	Client	10
Response local session	Client	Client	10
Request public session	Client	Client	10
Response public session	Client	Client	10
Message	Client	Client	11

جدول ۲: انواع بسته‌ها

صورتی که بسته مسیریابی نمی‌شود، بسته را از واسط شماره ۰ خود به بیرون می‌فرستد.

- پردازش دستور

`make a connection to server on port` X

که `X` یک عدد صحیح در بازه `(1000, 5000)` است. هنگامی که دستور بالا وارد شد، باید یک بسته از نوع Request assigning ID روی درگاه X فرستاده شود.
نکته: دقت کنید ازین‌جا به بعد همه بسته‌های خروجی این گره باید روی درگاه X فرستاده شوند (مگر اینکه بسته drop دریافت شود) تا بتواند NAT را دور بزند.

درون بسته، `Local IP` و `Local Port` واسط شماره ۰ خودش را قرار می‌دهد. پس از این بسته را روی واسط مربوطه به کارگزار شبکه ارسال می‌کند. با این کار کارگزار یک `ID` به این گره اختصاص می‌دهد و آن را برای این گره می‌فرستد.

ممکن است کارگزار NAT این پورت مبدأ را مسدود کرده باشد و بسته شما به مقصد نرسد. در صورتی که این اتفاق افتاده باشد یک بسته drop از NAT مربوطه دریافت می‌کنید.

- دریافت بسته Drop assigning ID : در صورتی که این بسته دریافت شود، یعنی درخواست برای گرفتن ID نافرجام مانده و باید درگاه دیگری را برای فرستادن بسته انتخاب کنید. برای تلاش مجدد، عدد درگاه قبلی را با ۱۰۰ جمع کرده و سپس دوباره همان بسته حالت قبل را ارسال کنید و در خروجی پیام زیر را چاپ کنید.

Data Type	Data				
2 bit(MSB)	6 bit	4 Byte	2 Byte	4 Byte	2 Byte
00	0	Local IP	Local Port	-	-
00	New ID	-	-	-	-
00	0	drop	-	-	-
01	Dest ID	-	-	-	-
01	Dest ID	Local IP	Local Port	Public IP	Public Port
10	Src ID	ping	-	-	-
10	Src ID	pong	-	-	-
10	Src ID	ping	-	-	-
10	Src ID	pong	-	-	-
11	Src ID	Message[10]			

جدول ۳: جزئیات بسته‌ها

`connection to server failed, retrying on port` X

که X برابر با `Last Source Port + 100` است.

نکته: ممکن است این فرآیند چندین‌بار تکرار شود و شما مجبور باشید هربار درگاه را افزایش دهید. تضمین می‌شود که در تمام تست‌ها حداکثر بعد از چند بار تلاش بسته شما از تمام NAT های میانی عبور خواهد کرد و به کارگزار خواهد رسید.

- دریافت بسته Response assigning ID شامل `ID` خود از کارگزار و چاپ عبارت

`Now My ID is` X

که X برابر عددی است که کارگزار فرستاده است.

- پردازش دستور

`get info of` ID

که `ID` یک عدد صحیح در بازه `(0, 31)` است. هنگامی که این عبارت وارد شد، باید بسته Request getting IP با ID وارد شده تولید شود. پس از آن از طریق واسط مربوطه به تنها کارگزار شبکه ارسال شود.

نکته: همانطور که گفته شد، تضمین می‌شود که در تست‌ها هر کارخواه تنها از واسط شماره ۰ به کارگزار

مسیر دارد و ساختار شبکه مانند درختی است که همه از طریق واسط ۰ به پدرشان که شبکه عمومی تری است وصل شده اند.

- دریافت بسته Response getting IP و چاپ عبارت

`packet with (`ID`,` $LocalIP$`,` $LocalPort$`,` $PublicIP$`,` $PublicPort$`) received`

عبارات داخل پرانتز را باید از بسته بخوانید و در قسمت مربوطه قرار دهید.

- دریافت دستور

`make a local session to` ID

یا

`make a public session to` ID

یک بسته Request local/public session تولید کرده، و ID خود و پیام `ping` را درون آن قرار می‌دهد و می‌فرستد. اطلاعات مقصد را با آدرس و درگاه محلی یا عمومی (با توجه به دستور وارد شده) گره مورد نظر پر می‌کند.
نکته: در صورتی که اطلاعات ID مورد نظر هنوز دریافت نشده است، عبارت

`info of node` ID `was not received`

را چاپ کنید و بسته‌ای ارسال نکنید.

- دریافت بسته Request local/public session با پیام `ping` و چاپ عبارت

`Connected to` ID

تنها در صورتی که مقصد بسته متعلق به این گره باشد. پس همانطور که می‌بینید اتصال دو طرفه است و وقتی یک نشست برقرار می‌شود هر دو طرف بهم متصل می‌شوند. سپس باید یک بسته نوع ۳ مانند بسته دریافتی درست کند و در جواب بفرستد، با این تفاوت که اینبار پیام را برابر `pong` قرار می‌دهد و جای فرستنده و گیرنده را عوض می‌کند (ارسال بسته Response local/public session)

- دریافت بسته Response local/public session با پیام `pong` و چاپ عبارت

`Connected to` ID

اگر و تنها اگر بسته `ping` ای از قبل برای این `ID` فرستاده شده بود و `pong` ای دریافت نشده بود.

- پردازش دستور

`send msg to` ID:msg

که ID مقصد و پیامی که می‌خواهید را وارد می‌کنید.

نکته: شما باید بتوانید هر پیامی با طول کمتر از ۵۰ حرف شامل "حروف الفبا، اعداد و فاصله" را ارسال کنید.

۳.۴. کارگزار

در این تمرین تنها یک کارگزار داریم که در آدرس عمومی `1.1.1.1` قرار دارد و به درگاه `1234` گوش می‌کند. شما به عنوان کارخواه باید بسته‌های خود را به این آدرس و درگاه بفرستید. همچنین مبدا تمام بسته‌هایی که از طریق کارگزار ایجاد و ارسال می‌شوند، باید با این آدرس و درگاه پر شوند. کارهای کارگزار به ترتیب در زیر آمده‌اند:

- دریافت بسته Request assigning ID از کارخواهان و سپس اختصاص ID جدید به آن‌ها و چاپ پیام:

`new id` ID `assigned to` IP:$Port$

که IP:$Port$ مشخصات عمومی کارخواه فرستنده پیام است. در انتها بسته Response assigning ID ای شامل این ID تولید کرده و به کارخواه فرستنده، باز می‌گرداند.

نکته: ID های تولید شده به ترتیب از ۱ شروع می‌شوند و هربار یک واحد افزایش می‌یابند. بنابراین شماره اولین درخواست کننده عدد ۱، دومین درخواست کننده عدد ۲ و الی آخر است.

- هنگامی که کارگزار بسته Request getting IP را از همسایه‌ها می‌گیرد، ابتدا پیام زیر را چاپ می‌کند.

ID_A `wants info of node` ID_B

که ID_A و ID_B به ترتیب ID طالب(کسی که بسته از آن آمده) و مطلوب(کسی که قرار است مبدا به آن متصل شود) است.

سپس باید یک بسته Response getting IP شامل اطلاعات مطلوب(B) تولید کند و به آدرس عمومی گره طالب(A) می‌فرستد. دقت کنید قسمت ID را نیز با مطلوب پر کنید.

۴.۴. کارگزار NAT (امتیازی)

وظیفه کارگزار NAT در این شبکه به این شکل است که تمام واسط‌های خود بجز واسط ۰ را زیر شبکه‌ی خود می‌بیند و از طریق واسط ۰ به دنیای بیرون متصل است. در نتیجه آدرس و درگاه بسته‌های ورودی و خروجی به زیر شبکه‌هایش را عوض می‌کند. وظایفی که برعهده دارد به شرح زیر است:

- تغییر مبدا بسته‌هایی که از زیر شبکه وارد می‌شوند با الگوریتم زیر:

  اگر تا بحال بسته‌ای با این آدرس و درگاه مبدا وارد نشده بود، یک آدرس و درگاه عمومی جدید به این اختصاص بده و این مقادیر را جایگزین کن(ترجمه کن).

  در صورتی که از قبل این آدرس و درگاه ترجمه شده بودند، این بار نیز از همان ترجمه قبلی استفاده کن.

- تغییر مقصد بسته‌هایی که از بیرون وارد می‌شوند:

  اگر ترجمه‌ای از قبل برای مقصد وارد شده وجود نداشت بسته را دور می‌ریزد.

  اگر ترجمه‌ای برای مقصد وجود داشت، تنها در صورتی ترجمه و مسیریابی می‌شود که از قبل بسته‌ای در جهت عکس برای مبدأ بسته فرستاده شده باشد. به بیان دیگر گره‌های بیرونی نمی‌توانند هیچ بسته‌ای به داخل زیر شبکه NAT بفرستند مگر اینکه از قبل بسته‌ای برای آن‌ها فرستاده شده باشد (قسمت اصلی این مسئله، دور زدن این بخش است با ایجاد ترجمه‌ای در NAT.)

الگوریتم اختصاص آدرس و درگاه عمومی به این صورت است: با شروع از درگاه ۲۰۰۰ و اولین آدرس بعد از آدرس واسط شماره ۰، هربار درگاه را ۱۰۰ واحد اضافه می‌کنید، تا به عدد ۲۲۰۰ برسید، در این صورت باید آدرستان را یک واحد افزایش دهید و درگاه را دوباره از ۲۰۰۰ شروع کنید. برای واضح تر شدن قضیه به مثال زیر توجه کنید:

فرض کنید آدرس واسط ۰ شما برابر با `1.2.3.4` است. بنابراین آدرس‌های عمومی‌ای که تولید می‌کنید به ترتیب برابر با:

`1.2.3.5:2000`

`1.2.3.5:2100`

`1.2.3.6:2000`

`1.2.3.6:2100`

... می باشد. نکته: دقت کنید که برای راحتی کار، بسته‌هایی که از زیرشبکه ارسال می‌شوند، ابتدا آدرس مبدأ آن‌ها عوض می‌شود، سپس مسیریابی می شوند و بسته فرستاده می‌شود. ممکن است آدرس مقصد نیز نیاز به ترجمه داشته باشد، اما این ترجمه صورت **نمیگیرد** و پس از ارسال بسته دوباره از شبکه بسته به NAT برمیگردد و این بار چون بسته از بیرون آمده ترجمه صورت می‌گیرد و به زیرشبکه باز می‌گردد.

- دریافت دستور

`block port range` $Port_{min}$ $Port_{max}$

که تنظیمات NAT را انجام می‌دهد. این تنظیمات تعیین می‌کند که محدوده درگاه مبدا بسته‌هایی که از زیر شبکه این NAT می‌آیند، در چه بازه‌ای باشد. با هربار دریافت این دستور، شما باید بازه‌ای شامل خود اعداد گفته شده را مسدود کنید و بسته‌های این بازه را دور بریزید. سپس بسته‌ی Drop assigning ID ای تولید کرده و در جواب برای فرستنده ارسال کنید.
نکته: ممکن است چندین بار این دستور با محدوده های مشترک و غیر مشترک وارد شود، شما باید اجتماع تمام این بازه‌ها را مسدود کنید.

- ارسال بسته Drop assigning ID تنها در صورتی که بسته‌ای از زیر شبکه خود دریافت کردید، اما بسته در محدوده block قرار داشت. در این حالت باید درگاه مبدأ را `1234` بگذارید و آدرس مبدأ بسته را، آدرس واسط شماره ۰ خود قرار دهید. آدرس و درگاه مقصد را نیز برابر آدرس و درگاه مبدأ بسته اصلی قرار دهید.

۵. موارد خاص

در این قسمت حالت‌های خاصی از مسئله که ممکن است پیش بیاید و در حالت‌های مسئله گفته نشده بود را آورده‌ایم تا راحت‌تر بررسی کنید. نکته بسیار مهم این است که کد شما به هیچ وجه نباید در طول تست از کار بیافتد، زیرا ممکن است نمره برخی قسمت‌ها را به کلی نگیرید. حالت‌های خاص بیشتری برای مسئله وجود دارد مانند اینکه یک گره به خودش پیامی بفرستد یا گره شما بسته‌هایی دریافت کند که از نظر منطقی غلط هستند ولی از نظر پروتکل تعریف شده درست هستند. در زیر حالت‌های مهم که در تست‌ها باید رعایت شوند آمده است و کافیست همین حالت‌ها را بررسی کنید:

- دور ریختن و چاپ عبارت

`invalid packet, dropped`

برای بسته‌هایی که:

`Checksum` لایه IP آن‌ها غلط است.

عدد پروتکل لایه IP و یا عدد پروتکل UDP که در لایه‌های زیرین خود نوشته می‌شوند، غلط باشد.

- برای گره‌های کارخواه و NAT در صورتی که دستور وارد شده غلط باشد، باید عبارت:

`invalid command`

را چاپ کنید. و منتظر دستورات بعدی باشید.

- در صورتی که درخواست اطلاعات ID گره‌ای از کارگزار شد که وجود نداشت یا خودش از قبل id ای نگرفته بود. کارگزار باید بسته را دور بریزد و عبارت:

```
id not exist, dropped
```

را چاپ کند.

- در صورتی که گره A از شبکه خارجی NAT بسته‌ای به گره B در زیر شبکه NAT بفرستد، در صورتی که B قبلا بسته‌ای برای A نفرستاده باشد، باید عبارت:

```
outer packet dropped
```

را چاپ کنید و بسته را دور بریزید.

- در صورتی که از شبکه داخلی NAT بسته‌ای وارد شود و درگاه مبدأ در محدوده مسدود شده قرار داشته باشد، باید بسته را دور بریزید و عبارت:

```
source port was blocked, packet dropped
```

را چاپ کنید.

- در صورتی که کارخواهی از کارگزار id گرفته باشد، دیگر نمیتواند اینکار را بکند و در صورتی که دستور مربوطه وارد شد، عبارت:

```
you already have an id, ignored
```

را چاپ کنید.

- در صورتی که کارخواهی دستور ارسال پیام به id ای کرد که به آن id متصل نبودید، باید عبارت

```
please make a session first
```

را چاپ کنید.

۶. پیاده سازی

برای پیاده سازی این تمرین، شما حق استفاده از دو زبان c++ و java را دارید. پیشنهاد ما استفاده از زبان java است، چرا که مشکلات کار با اشاره‌گرها را نخواهید داشت. در تمام این تمرین، برای شبیه‌سازی شبکه و ارسال پیام بین گره‌ها، شما نیاز به استفاده از سیستم پرتو دارید.

۱.۶. مشترک

- برای کار با سیستم پرتو، نام کاربری و رمز خود را در پرونده `info.sh` قرار دهید.
- برای کامپایل شدن کد خود، از دستور `make` استفاده کنید. دقت کنید که کد ارسالی شما **باید** از این طریق کامپایل شود وگرنه شما نمره‌ای نخواهید گرفت.
- پس از کامپایل، ابتدا به اینترنت متصل شوید. سپس جهت اجرا شدن کد، باید فایل `free.sh` را اجرا کنید تا اطلاعات نقشه قبلی از پرتو شما حذف شود. سپس، با اجرای `new.sh` یک نقشه جدید ایجاد کنید. پس از این می‌توانید کد کامپایل شده خود را با اجرای `run.sh` X اجرا کنید. که X شماره گره‌ای از شبکه است که کد شما قرار است جای آن بنشیند.

۲.۶. برنامه نویسی java

- در صورتی که زبان java را برای پیاده سازی انتخاب کردید، پیشنهاد ما استفاده از Eclipse IDE است، تا کارتان راحت تر شود. شما تنها حق تغییر فایل های پکیج ir.sharif.ce.partov.machine را دارید و فایل‌های دیگر خود را نیز تنها در این بخش قرار دهید.
- سه فایل `ServerMachine.java` ، `NATMachine.java` و `ClientMachine.java` به صورت پیش فرض پر شده‌اند. شما باید این سه فایل را برای هر یک از حالت‌هایی که گره شما در نقش کارگزار، NAT، کارخواه باشد، پر کنید و منطق خود را پیاده سازی کنید.

۳.۶. برنامه نویسی c++

در صورتی که زبان c++ را انتخاب کردید، پیشنهاد ما استفاده از یکی از IDE های رایج مانند (intelij، eclipse، codeblocks و غیره) است، چرا که ممکن است نیاز به استفاده از کتابخانه‌هایی داشته باشید که تا به حال به آن‌ها برنخورده‌اید. با امکانات این نرم‌افزارها می‌توانید کار خود را راحتتر انجام دهید.

شما باید کد اصلی خود را در این سه فایل `server_machine.cpp` ، `nat_machine.cpp` و `client_machine.cpp` قرار دهید تا هرگاه کد شما به عنوان یکی از این اعضاء اجرا شد، منطق گفته شده کار کند.

در صورتیکه می‌خواهید چند فایل دیگر نیز اضافه کنید، آن‌ها را در پوشه user قرار دهید و مطمن شوید که کد شما با روش گفته شده کامپایل می‌شود.

۴.۶. کد nat

همانطور که گفته شد، فایل اجرایی NAT به صورت jar. در اختیار شما قرار داده شده است. شما می‌توانید پس از درست کردن نقشه روی پرتو، این کد را روی گره‌هایی که NAT هستند، اجرا کنید. برای اینکار کافیست فایل `run.sh` X را اجرا کنید که X شماره گره مورد نظر است. دقت کنید که برای اجرا این کد در رایانیتان نیاز به استفاده از جاوا نسخه ۸ را دارید، همچنین اگر این فایل را روی گره‌ای بجز NAT اجرا کنید، با پیغام خطا مواجه خواهید شد.

برای بخش امتیازی، در صورتی که می‌خواهید کد NAT را بزنید، مطابق گفته شده، فایل های مربوط به nat machine را پر کنید. تا در تست‌ها نمره امتیازی این بخش را بگیرید. در غیر اینصورت، نیازی به پر کردن این فایل در c++ یا java ندارید.

نکات ضروری

- به علت اینکه نمره‌ی تمرین به صورت خودکار داده می‌شود، ساختار پیام‌های گفته شده باید دقیقاً به صورت گفته شده باشد.
- نقشه‌ای که برای ارزیابی استفاده می‌شود با نقشه تست که در اختیار شما قرار دارد گرفته فرق می‌کند.
- داوری خودکار به صورت کامل در اختیار شما قرار داده می‌شود و می‌توانید نمره خود را ببینید. اما ملاک ارزیابی نمره‌ای است که کد ارسالی شما روی سرور خواهد گرفت. اگر موارد گفته شده را رعایت کرده باشید، نمره شما نباید تغییری بکند.
- به دلیل مشکلات اینترنتی بهتر است داوری را هنگامی که به اینترنت دانشگاه متصل هستید انجام دهید.
- در صورتی‌که هر مشکل یا پرسشی داشتید که فکر می‌کنید پاسخ آن برای همه مفید خواهد بود، آن را به گروه اینترنتی درس ارسال کنید.
- از فرستادن جواب تمرین به گروه اینترنتی درس خودداری کنید.
- تمام برنامه‌ی شما باید توسط خود شما نوشته شده باشد. فرستادن کل یا قسمتی از برنامه‌تان برای افراد دیگر، یا استفاده از کل یا قسمتی از برنامه‌ی فرد دیگری، حتی با ذکر منبع، تقلب محسوب می‌شود.
- پس از اتمام کارتان لازم است با اجرای دستور `make archive` فایل زیپی شامل تمام فایل‌هایی که برای اجرا شدن کد شما نیاز است بسازید. در صورتی که از کلاس‌ها و فایل‌های اضافه شده خودتان استفاده می‌کنید، سعی کنید در پوشه گفته شده باشد. در هر صورت فایل آرشیو شما باید قابلیت کامپایل/اجرا شدن را به روش سیستمی داشته باشد، در غیر اینصورت نمره شما صفر خواهد شد.
- نسخه نهایی تمرین خود را به وب‌سایت پرتو ارسال نمایید.