



تمرین برنامه‌نویسی دوم^۱ شبکه‌های کامپیوتری

مدرس: مهدی خرازی

پائیز ۱۳۸۹

در این تمرین شما پروتکل‌های DHCP و ARP را برای تخصیص IP پیاده‌سازی و امکان برقراری ارتباط میان client ها بر روی شبکه‌ی Ethernet را فراهم می‌کنید.

مقدمه

همانطور که در کلاس گفته شد، هنگامی که یک کاربر انتهایی به شبکه متصل می‌شود، برای برقراری ارتباط با دیگران نیاز به آدرس IP دارد. آدرس IP به شبکه‌ای که کاربر به آن متصل می‌شود بستگی دارد (مثلاً موقعیت جغرافیایی شبکه و ...). به همین خاطر نمی‌توان IP را از قبل مانند آدرس MAC تعیین کرد. یکی از روش‌های تخصیص IP، تخصیص دستی است که به وسیله مدیر شبکه انجام می‌شود و برای شبکه‌هایی که کاربرهای زیادی دارد مشکل، زمان بر و احتمال اشتباه در آن زیاد است به همین خاطر به روش‌های خودکار برای این کار نیاز داریم. پروتکل DHCP بر مبنای وجود کارگزاری است که اطلاعات مورد نیاز هر کاربر را در هنگام اتصال به شبکه در اختیار آن می‌گذارد. در DHCP Server، IP‌های موجود در شبکه نگهداری می‌شود که مدیر شبکه می‌تواند از قبل برای هر IP، یک آدرس MAC تعیین کند و با اتصال هر کاربر، با توجه به آدرس MAC کاربر، آدرس IP‌ای که از قبل به آن آدرس MAC متناظر شده، به آن کاربر تخصیص داده می‌شود (تخصیص static) و یا هنگام boot شدن یک کاربر و اتصال آن به شبکه، از میان IP‌های آزادی که در اختیار این DHCP Server است و هنوز تخصیص داده نشده، یکی را انتخاب و در اختیار کاربر قرار می‌دهد (تخصیص dynamic) و هنگامی که اتصال کاربر از شبکه قطع شد، آن IP دوباره به لیست IP‌های آزاد بازگشته و در صورت درخواست، به یک کاربر دیگر تخصیص داده می‌شود.

هنگامیکه بسته‌ای (مثلاً بسته icmp) از بیرون شبکه به یکی از گره‌های درون شبکه ارسال می‌شود، ابتدا این بسته به گذرگاه^۲ می‌رسد، از آنجایی که برای ارسال بسته به گره مقصد، گذرگاه باید آدرس MAC مقصد را بداند، از پروتکل ARP استفاده می‌کند

^۱ با تشکر از شایان پویا، بهنام مؤمنی، حسن اسلامی، امیر شیخها، علی فتاح‌المنان، فرزانه مقدم و اشکان نیک‌روش

و آدرس MAC گره مقصد را پیدا می کند. همچنین هر گره برای ارتباط با گذرگاه (در واقع برای ارتباط با شبکه اینترنت) باید آدرس MAC آن را بداند، در این حالت نیز از ARP استفاده می شود.

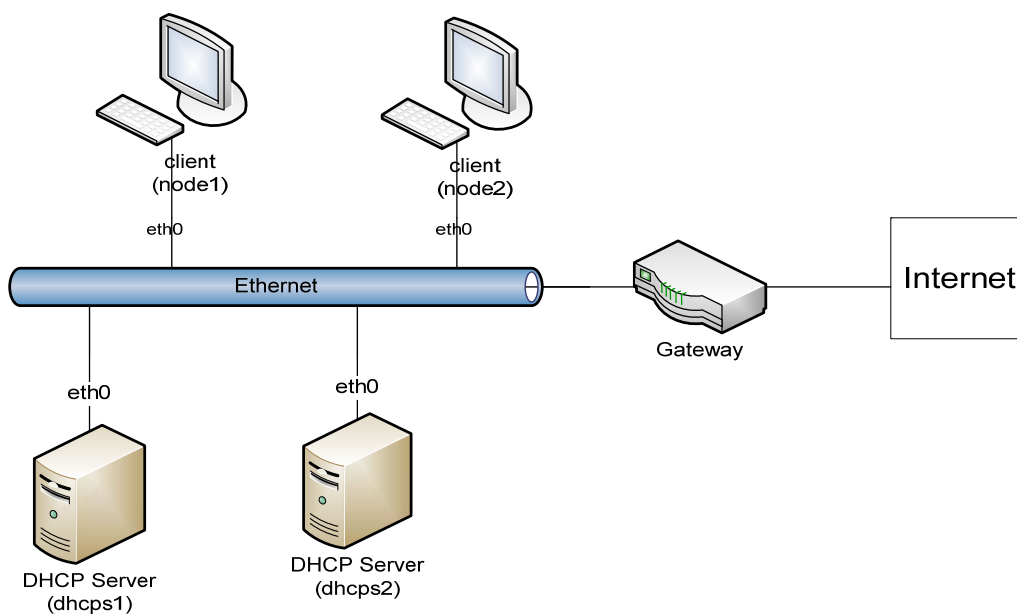
شما در این تمرین مکانیزم های بالا را با جزئیاتی که در ادامه می آید پیاده سازی خواهید کرد.

محیط

اساس کار این مکانیزم در لایه های دو و سه و چهار است. به همین خاطر در این تمرین نیز، مانند تمرین قبل، از محیط پرتو^۳ برای اجرای برنامه ی شما استفاده خواهد شد. برای این منظور لازم است برنامه های خود را بر روی «چارچوب کاربر»^۴ پرتو پیاده سازی کنید. برای اطلاعات بیشتر در مورد این چارچوب به مستند «راهنمای چارچوب کاربر» مراجعه کنید.

توپولوژی

توپولوژی اولیه که در اختیار هر دانشجو قرار می گیرد مانند شکل ۱ است. البته برنامه ی شما به هیچ وجه نباید وابسته به توپولوژی باشد و یا فرض خاصی در مورد توپولوژی انجام دهد.



شکل ۱. توپولوژی نمونه

² Gateway

³ Portable And Reliable Tool fOr Virtualization (PARTOV)

⁴ Client Framework (CF)

هر توپولوژی شامل تعدادی node (کاربران انتهایی) و DHCP server، و یک Gateway است. هر node از طریق interface شماره صفر خود بسته‌ها را دریافت و ارسال می‌کند (DHCP server نیز به همین صورت است).

انتظارات

شما باید برنامه مربوط به node ها و DHCP server ها را به صورت جداگانه بنویسید (یعنی دو برنامه به ترتیب با نام های node.cpp و dhcps.cpp). با اجرای فرمان make، این دو برنامه کامپایل می‌شوند و دو فایل اجرایی به نام‌های node.out و dhcps.out ایجاد می‌شود. نحوه‌ی اجرا کردن این برنامه‌ها با پارامترهای مناسب در فایل‌هایی به همراه «چارچوب کاربر» به شما داده شده است. در ادامه توضیحات دقیق‌تری در مورد نحوه‌ی کار این دو برنامه داده خواهد شد.

برنامه‌ها

برنامه‌ی مربوط به Node ها

یک گره درست مثل یک کاربر انتهایی است که در ابتدای اتصال به شبکه IP ندارد و ابتدا باید با استفاده از پروتکل DHCP، IP بگیرد (فرایند bootstrapping). فرایند دریافت IP از چهار مرحله تشکیل شده است که باید پیاده سازی شوند:

۱. ارسال بسته **DHCPDISCOVER** بصورت broadcast از سوی گره (برای پیدا کردن DHCP server های شبکه).
۲. دریافت بسته **DHCPDISCOVER** توسط DHCP Server و ارسال بسته **DHCPOFFER** به گره (پاسخ پیغام **DHCPDISCOVER** به همراه اطلاعاتی از قبیل IP پیشنهادی،^۵ lease time و IP - DHCP Server و Subnet (Mask)).
۳. ارسال بسته **DHCPREQUEST** توسط گره برای درخواست اطلاعات پیشنهاد شده توسط یک DHCP server و نپذیرفتن بقیه پیشنهادها از سوی DHCP server های دیگر. این بسته به صورت broadcast ارسال می‌شود و در آن IP - DHCP Server ای که از آن IP گرفته شده، ذکر می‌شود. در صورتیکه گره، آدرس IP داشته باشد دوباره آن آدرس را درخواست می‌کند (پس از پایان lease time).
۴. ارسال بسته **DHCPACK** از سوی DHCP Server به گره مورد نظر شامل همه‌ی اطلاعات دریافت شده توسط گره؛ در صورتیکه این اطلاعات مورد تایید DHCP server قرار نگیرد، به جای **DHCPACK**، **DHCNPAK** به گره ارسال می‌شود. در واقع گره با دریافت **DHCPACK**، فرایند bootstrapping اش کامل می‌شود. توجه شود که این پیغام هم بصورت broadcast ارسال می‌شود ولی با دریافت **DHCNPAK**، گره باید مجدداً بسته‌های **DHCPDISCOVER** بفرستد.

DHCP Server برای هر IP که در لیست IP های مربوط به خودش است دو حالت در نظر می‌گیرد. زمانی که یک IP را به یک گره پیشنهاد می‌کند (با بسته **DHCPOFFER**)، تا زمانی که گره آن IP را درخواست نکرده (با ارسال بسته **DHCPREQUEST**).

^۵ زمان اجاره، مدت اعتبار IP پیشنهاد شده به ثانیه

آن IP را آزاد در نظر گرفته و به بقیه گره‌ها هم پیشنهاد می‌کند. تنها در صورتی یک IP را به حالت تخصیص داده شده می‌برد که از گره بسته DHCPREQUEST دریافت کند و زمانیکه lease time به پایان برسد، آن IP را به حالت آزاد می‌برد؛ در این صورت آن گره می‌تواند با ارسال بسته DHCPREQUEST دوباره همان IP را درخواست کند (آدرس قبلی را در فیلد options ذکر می‌کند (جدول ۴))

فیلدهایی که در پروتکل DHCP باید پیاده‌سازی شوند در جداول زیر آمده‌اند. در جدول ۱ تمامی فیلدهای این پروتکل آمده‌است، ولی تنها باید آنهایی که با رنگ سبز متمایز شده‌اند را مقداردهی کنید و فیلدهایی که به رنگ قرمز هستند را حذف کنید. در جداول ۲ تا ۶ قسمت option‌های مربوط به هر بسته مشخص شده‌اند که تنها باید آن‌ها را مقداردهی کنید.

FIELD	OCTETS	DESCRIPTION
op	1	Message op code/ message type. 1 = BOOTREQUEST, 2 = BOOTREPLY
htype	1	
hlen	1	
hops	1	
xid	4	Transaction ID, a random number chosen by the client, used by the client and server to associate messages and responses between a client and a server.
secs	2	
flags	2	0x8000
ciaddr	4	
yiaddr	4	'your' (client) IP address.
siaddr	4	
giaddr	4	
chaddr	16	Client hardware address
sname	64	
file	128	
options	variable	0x63825363 (4 byte) +Optional parameters field

جدول ۱. فیلدهای پروتکل DHCP

(OP. #) OPTION	Length	Value
(53) DHCP message type	1	1

جدول ۲. بسته DHCPDISCOVER

(OP. #) OPTION	Length	Value
(53) DHCP message type	1	2
(51) IP address lease time	4	
(54) Server identifier	4	IP address of the selected server
(1) Subnet Mask	4	
(32) Router Solicitation Address	4	Gateway IP address

جدول ۳. بسته DHCPPOFFER

(OP. #) OPTION	Length	Value
(53) DHCP message type	1	3
(50) Requested IP address	4	
(54) Server identifier	4	IP address of the selected server

جدول ۴. بسته DHCPREQUEST

(OP. #) OPTION	Length	Value
(53) DHCP message type	1	5
(54) Server identifier	4	IP address of the selected server
(51) IP address lease time	4	
(1) Subnet Mask	4	
(32) Router Solicitation Address	4	Gateway IP address

جدول ۵. بسته DHCPACK

(OP. #) OPTION	Length	Value
(53) DHCP message type	1	6
(54) Server identifier	4	IP address of the selected server

جدول ۶. بسته DHCPNAK

یکی از اطلاعاتی که هر گره در حین اجرای DHCP دریافت می‌کند، IP گذرگاه LAN است، ولی برای برقراری ارتباط با آن و ارسال بسته به خارج از LAN، گره باید آدرس MAC گذرگاه را بداند، برای بدست آوردن آدرس MAC گذرگاه، گره از پروتکل ARP استفاده می‌کند.

ARP: برای پیدا کردن آدرس MAC متناظر با آدرس IP، بسته ARP request بصورت broadcast ارسال می‌شود و جواب آن توسط گره مربوطه دریافت می‌شود (ARP reply). فرستنده، آدرس MAC را در ARP Table ذخیره می‌کند (cache) و پس از مدتی آن را پاک می‌کند تا اطلاعاتی که در جدول نگهداری می‌شود معتبر باقی بمانند. (در این جدول، هر آدرس IP، به آدرس MAC مربوطه متناظر می‌شود) البته در این تمرین، هر گره تنها یک آدرس MAC را باید نگه دارد و نیازی به پیاده‌سازی ARP Table نیست. همچنین برای سادگی نیازی به پاک کردن cache برای این یک MAC وجود ندارد. پس در برنامه مربوط به node، علاوه بر DHCP، پروتکل ARP نیز باید پیاده‌سازی شود. برای آشنایی بیشتر با این پروتکل و کسب اطلاعات بیشتر در مورد فیلدهای سرآیند ARP به منابع زیر مراجعه کنید:

- http://en.wikipedia.org/wiki/Address_Resolution_Protocol
- <http://www.networksorcery.com/enp/protocol/arp.htm>

پس یکی دیگر از وظایف هر گره، پاسخ دادن به درخواست ARP می‌باشد (ARP reply)؛ این درخواست (ARP Request) توسط گذرگاه برای گره ارسال می‌شود.

از طرفی برنامه‌ی شما باید بعد از دریافت آدرس IP (برای اولین بار) یک بسته‌ی UDP برای گذرگاه ارسال نماید. این بسته‌ی UDP باید دارای پورت مبدا ۹۴ و پورت مقصد ۹۵ و payload ۱۱ بایتی برابر عبارت Hello World باشد. برای ارسال این بسته لازم است با ارسال ARP request آدرس MAC گذرگاه را بیابید.

برای اینکه بتوانید برنامه خود را تست کنید از بسته‌های ICMP استفاده می‌کنید. برای اینکه بتوانید یک Node را ping کنید، آن Node باید بسته‌های ICMP request را با ICMP reply پاسخ دهد. بنابراین علاوه بر مکانیزم دریافت IP باید این قسمت را نیز برای یک Node پیاده‌سازی کنید. شما صرفاً با بسته‌های Echo (Echo Request) و Echo Reply سر و کار دارید.

برای اطلاعات بیشتر می‌توانید به منابع زیر مراجعه کنید:

- http://en.wikipedia.org/wiki/Internet_Control_Message_Protocol
- <http://tools.ietf.org/html/rfc792>

چند نکته:

- پروتکل DHCP، بر روی لایه (UDP) Transport (Server Port=67, Client Port=68) پیاده‌سازی می‌شود.
- چون پروتکل DHCP میان گره‌هایی که خودتان پیاده‌سازی کرده‌اید اجرا می‌شود، نیازی به پیاده‌سازی دقیق و کامل پروتکل نیست، مثلاً در تولید این بسته‌ها لازم نیست همه‌ی فیلدهای این پروتکل را مقداردهی شود (مثلاً آدرس DNS server های شبکه) این فیلدها در جداول بالا مشخص شده‌اند.
- در صورتیکه یکی از گره‌ها بعد از مدتی IP خود را تمدید نکند، فرض می‌شود که این گره از شبکه خارج شده است، در واقع lease time مدت زمان اعتبار این IP تخصیص داده شده به گره خواهد بود.
- پروتکل ARP توسط gateway هم اجرا می‌شود، پس باید همه‌ی فیلدهای این پروتکل را پر کنید و این پروتکل را بطور کامل پیاده‌سازی کنید.
- پروتکل ARP، بر روی لایه (Ethernet) Link پیاده‌سازی می‌شود.
- یک آدرس IP نباید به بیشتر از یک گره تخصیص داده شود.
- IP ای که به هر گره تخصیص داده می‌شود، یک IP واقعی در شبکه اینترنت است و لذا باید بتوانید آن گره را از بیرون ping کنید.
- برای کسب اطلاعات بیشتر در مورد فیلدهای پروتکل DHCP به منابع زیر مراجعه کنید:
 - <http://tools.ietf.org/html/rfc2131>
 - <http://tools.ietf.org/html/rfc2132>
 - http://en.wikipedia.org/wiki/Dynamic_Host_Configuration_Protocol
 - <http://support.microsoft.com/kb/169289>

برنامه‌ی مربوط به DHCP Server

همانطور که در بخش قبل گفته شد، DHCP server باید عمل تخصیص IP را به گره‌ها انجام دهد و در صورتیکه یک گره، IP اش را تمدید نکند، آن IP را آزاد در نظر بگیرد. پس برنامه مربوط به DHCP Server باید جدولی از وضعیت IP ها نگهداری کند و به‌روز نماید. در custom information برنامه مربوط به DHCP Server اطلاعات زیر به ترتیب می‌آید:

1. Lease Time
2. Gateway IP
3. Network Mask
- 4, 5, ... <IP pool>

نکات

- در صورتیکه هر مشکل یا پرسشی داشتید که فکر می‌کنید پاسخ آن برای همه مفید خواهد بود، لطفاً آن را به گروه پستی درس ارسال کنید.
- از فرستادن جواب تمرین به گروه پستی جداً خودداری کنید.
- فرستادن کل یا قسمتی از برنامه‌تان برای افراد دیگر، یا استفاده از کل یا قسمتی از برنامه فردی دیگر به نام خود، تقلب محسوب می‌شود.
- پس از اتمام کارتان لازم است که پوشه `user` را به همراه `makefile` فشرده کرده و بر روی سیستم خودکار داوری^۶ `upload` کنید.

موفق باشید

^۶ <http://partov.sharif.edu/judge>

