به نام خداوند بخشنده مهربان

دانشگاه صنعتی شریف

مدرس: مهدی خزایی

تمرین برنامه نویسی دوم [*]
سیستم‌های عامل

دانشکده‌ی مهندسی کامپیوتر

پاییز ۱۳۹۷

اهداف تمرین

- پیاده سازی یک http server
- آشنایی با مفهوم ریسه و کاربرد آن

۱. مقدمه

امروزه پروتکل انتقال ابرمتن (HTTP) رایج‌ترین پروتکل سطح برنامهٔ مورد استفاده است. مانند بسیاری از پروتکل‌های شبکه، HTTP از مدل کارخواه [۱] ـ کارگزار [۲] استفاده می‌کند. کارخواه HTTP یک اتصال شبکه به یک کارگزار HTTP باز می‌کند و یک پیغام درخواست HTTP می‌فرستد. سپس، کارگزار با یک پیغام پاسخ که شامل بعضی منابع (فایل، متن، داده دودویی) خواسته شده توسط کارخواه می‌شود پاسخ می‌دهد. در این تمرین، شما یک کارگزار HTTP پیاده‌سازی خواهید کرد که به درخواست‌های HTTP GET رسیدگی می‌کند. شما این عملکرد را با استفاده از سرآیندهای درخواست HTTP، پشتیبانی از کدهای خطای HTTP، ساخت فهرست‌های دایرکتوری با HTML و ساخت یک پروکسی HTTP فراهم خواهیدکرد.

---

[*] این تمرین برگرفته از تمرین ارائه شده در دانشگاه برکلی، مربوط به درس CS۱۶۲ می‌باشد.
باسپاس از گروه دستیاران آموزشی

[۱] client
[۲] server

۲. راه‌اندازی مقدمات

به ماشین مجازی خود در Vagrant وارد شده و همانند تمارین قبل، یک پوشه متناسب با این تمرین ایجاد کنید و در آن پوشه موارد مرتبط با این تمرین را قرار دهید.

```
cd ~/code/hw2
```

تیم دستیاران تمرین کد شروع کار بر روی httpserver و یک Makefile ساده را برای شما در قسمت skeleton قرار داده‌اند. (شما می‌توانید skeleton را از اینجا دریافت کنید.)

به منظور اجرای httpserver می‌بایست دستورهای زیر را اجرا کنید:

```
make
./httpserver
```

هم‌چنین به منظور خاتمه دادن به اجرای httpserver پس از شروع آن، می‌توانید CTRL-C را فشار دهید.

آدرس IP ماشین مجازی شما 192.168.162.162 است. شما باید قادر باشید تا دستور `ping 192.168.162.162` را بر روی رایانه‌ی میزبانتان اجرا کنید و پاسخ ping را از ماشین مجازی دریافت کنید. اگر قادر نیستید تا ماشین مجازی را ping کنید، می‌توانید درعوض port forwarding را در Vagrant راه‌اندازی کنید. [۳]

۳. پیش زمینه

۱.۳ ساختار درخواست HTTP

قالب پیغام درخواست HTTP به صورت زیر است:

- یک خط درخواست HTTP (شامل یک متود [۴]، یک رشته پرسش و نسخه پروتکل HTTP)
- صفر، یک یا چند خط برای سرآیند HTTP
- یک خط خالی (فقط شامل یک CRLF)

خط‌های درخواست‌های HTTP به CRLF ختم می‌شوند که در زبان C با `\r\n` نمایش داده می‌شود. در زیر یک مثال از درخواست HTTP که توسط مرورگر کروم به یک کارگزار وب HTTP که بر روی localhost (127.0.0.1) و پورت ۸۰۰۰ بالا آمده است مشاهده می‌کنید. (CRLF به صورت اسکیپ شده نشان داده شده است):

[۳] برای اطلاعات بیشتر : https://www.vagrantup.com/docs/networking/forwarded_ports.html

[۴] method

```
GET /hello.html HTTP/1.0\r\n
Host: 127.0.0.1:8000\r\n
Connection: keep-alive\r\n
Accept: text/html,application/xhtml+xml,application/xml;q=0.9,
image/webp,*/*;q=0.8\r\n
User-Agent: Chrome/45.0.2454.93\r\n
Accept-Encoding: gzip,deflate,sdch\r\n
Accept-Language: en-US,en;q=0.8\r\n
\r\n
```

خطوط سرآیند اطلاعاتی در مورد درخواست به ما می‌دهد. در زیر بعضی از انواع سرآیندهای درخواست HTTP آمده است:

- HOST : شامل بخش نام میزبان در URL درخواست HTTP می‌شود. (برای مثال `ce.sharif.edu` یا `127.0.0.1:8000`)
- User-Agent : برنامه کارخواه HTTP را مشخص می‌کند. به صورت `"Program name/x.xx:"`` می‌آید که `x.xx` نسخه برنامه می‌باشد. در مثال بالا مرورگر گوگل کروم این سرآیند را برابر `Chrome/45.0.2454.93` قرار می‌دهد.

۲.۳. ساختار پاسخ HTTP

قالب پیغام پاسخ HTTP به شکل زیر است:

- یک خط شامل نسخه پروتکل HTTP کد وضعیت [۵] و یک توصیف متنی از کد وضعیت
- صفر، یک یا چند خط سرآیند HTTP
- یک خط خالی (فقط شامل یک CRSF تنها)
- محتوای مورد درخواست توسط درخواست HTTP

هر خط در درخواست‌های HTTP به CRLF ختم می‌شود که در زبان C به صورت \r\n نمایش داده می‌شود. در زیر یک نمونه پاسخ HTTP با کد وضعیت ۲۰۰ و یک فایل HTML پیوست‌شده به پاسخ می‌باشد [۶]:

[۵] Status Code

[۶] CRLF به صورت اسکیپ شده نشان داده شده است

```
HTTP/1.0200OK\r\n
Content-Type:text/html\r\n
Content-Length:128\r\n
\r\n
<html>\n
<body>\n
<h1>Hello World</h1>\n
<p>\n
Let's see if thi sworks \n
</p>\n
</body>\n
</html>\n
```

خطوط وضعیت ممکن است HTTP/1.0 200 OK (همان‌طور که در مثال بالا آمده است)، HTTP/1.0 404 NotFound یا موارد دیگری باشد. کد وضعیت یک عدد ۳ رقمی است که رقم اول آن دسته‌بندی عمومی پاسخ را مشخص می‌کند:

- 1xx: پیامی فقط شامل یک سری اطلاعات را نشان می‌دهد.
- 2xx: نشان از موفقیت درخواست است.
- 3xx: کارخواه را به URL دیگری تغییر مسیر می‌دهد.
- 4xx: خطایی از طرف کارخواه را نشان می‌دهد.
- 5xx: خطایی از طرف کارگزار را نشان می‌دهد.

خطوط سرآیند اطلاعاتی درباره‌ی پاسخ فراهم می‌کنند. در زیر تعدادی از انواع سرآیند پاسخ HTTP آمده است:

- Content-Type : نوع MIME داده‌ی پیوست‌شده به پاسخ را نشان می‌دهد. برای مثال می‌تواند `text/html` یا `text/plain` باشد.
- Content-Length : تعداد بایت بدنه‌ی پاسخ را نشان می‌دهد.

۴. وظیفه‌ی شما

۱.۴. طرح کلی از کارگزار وب HTTP

از نظر شبکه، کارگزار وب HTTP پایه‌ی شما باید موارد زیر را پیاده کند:

۱. یک سوکت بسازد که بر روی یک پورت گوش فرا دهد.

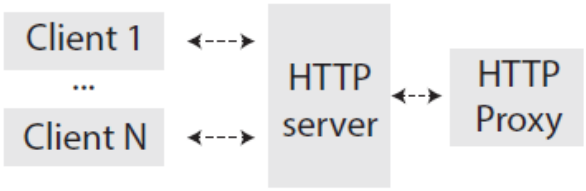
۲. صبر کند تا یک کارخواه به آن پورت متصل شود.

۳. کارخواه را بپذیرد و یک اتصال سوکت جدید فراهم کند.

۴. از سوکت بخواند و درخواست HTTP را پارس کند.

۵. با توجه به آرگومان‌های دستور، یکی از دو کار زیر را انجام دهد:

- یک فایل را از فایل‌سیستم محلی ارائه کند یا پیغام 404 Not Found برگرداند
- درخواست را به یک کارگزار HTTP دیگر پروکسی کند



شکل ۱: وقتی به عنوان پروکسی استفاده می‌شود، کارگزار درخواست‌ها را با فرستادن آن‌ها به یک کارگزار HTTP از راه دور (پروکسی) ارائه می‌کند. پاسخ‌های ارسالی از پروکسی به کارخواه‌ها پس فرستاده می‌شود

کارگزار HTTP در حالت فایل یا پروکسی خواهد بود و هیچگاه در هر دو حالت عمل نخواهدکرد.

۶. سرآیند پاسخ HTTP متناسب و فایل پیوست آن را به کارخواه پس می‌فرستد (یا در صورت درخواست یک فایل ناموجود، یک پیغام خطا با ساختار صحیح می‌فرستد)

اسکلت کد در حال حاضر شامل گام‌های ۱ تا ۴ می‌شود. شما باید گام های ۵ و ۶ و یک استخر ریسه [۷] را برای پشتیبانی از چند درخواست HTTP هم‌زمان پیاده‌سازی کنید. `httplib.c/h` به شما برای گام‌های ۵ و ۶ و `wq.c/h` برای استخر ریسه کمک خواهد کرد.

۲.۴. استفاده از `./httpserver`

در زیر چگونگی استفاده از httpserver آمده است. برای راحتی شما، کد پارس‌کردن آرگومان‌ها برای شما از قبل پیاده‌سازی شده است:

```
./httpserver --help
Usage: ./httpserver --files files/ --port 8000 [--num-threads 5]
./httpserver --proxy ce.sharif.edu:80 --port 8000 [--num-threads 5]
```

[۷] Thread Pool

گزینه‌های موجود به شرح زیر می‌باشند:

- files-- یک مسیر که فایل‌ها از آن ارائه می‌شوند را انتخاب می‌کند. شما باید فایل‌ها را از پوشه‌ی files/ ارائه کنید. (مسیر نسبت به `CWD` حساب می‌شود، برای مثال اگر شما در حال حاضر `cd hw2/` کرده‌اید باید از "--files files/" استفاده کنید)
- proxy-- یک کارگزار بالادست برای پروکسی انتخاب می‌کند. آدرس پاس داده‌شده به عنوان آرگومان می‌تواند یک شماره پورت نیز بعد از کاراکتر `:` داشته‌باشد. (برای مثال `ce.sharif.edu:80`) اگر شماره پورت مشخص نشده بود پیش‌فرض پورت ۸۰ است.
- port-- پورتی که کارگزار HTTP روی آن برای اتصالات پیش‌رو گوش فرا می‌دهد را مشخص می‌کند. در هر دو حالت ارسال فایل و پروکسی از آن استفاده می‌شود. (این با پورت پروکسی متفاوت است)
- num-threads-- تعداد ریسه‌های استخر ریسه که ارائه کردن درخواست‌های کارخواه‌ها را به صورت همزمان میسر می‌سازد را مشخص می‌کند. این آرگومان در ابتدا بدون استفاده است و به شما بستگی دارد که از آن استفاده کنید یا خیر.

شما نباید همزمان از هر دو گزینهٔ files-- و proxy-- استفاده کنید، یا در غیر این صورت آخرین گزینه از بین این دو، اولی را بازنویسی می‌کند. گزینه‌ی proxy-- می‌تواند آدرس IP نیز بگیرد.
در ابتدا num-threads-- بلااستفاده و دل‌بخواهی است. وظیفه‌ی شماست که از آن برای پیاده‌سازی استخر ریسه‌تان استفاده کنید. مشکلی ندارد اگر درنهایت کارکرد تک ریسه‌ای را حذف و آرگومان num-threads-- را اجباری کنید.
اگر می‌خواهید از شماره پورتی از ۰ تا ۱۰۲۳ استفاده کنید نیاز دارید تا httpserver را در حالت root اجرا کنید. این پورت‌ها، پورت‌های رزروشده می‌باشند و تنها می‌توانند به یوزر root اختصاص داده شوند. این کار را می‌توانید با اجرای دستور "sudo ./httpserver --files files/" انجام دهید.

۳.۴. دسترسی به کارگزار HTTP

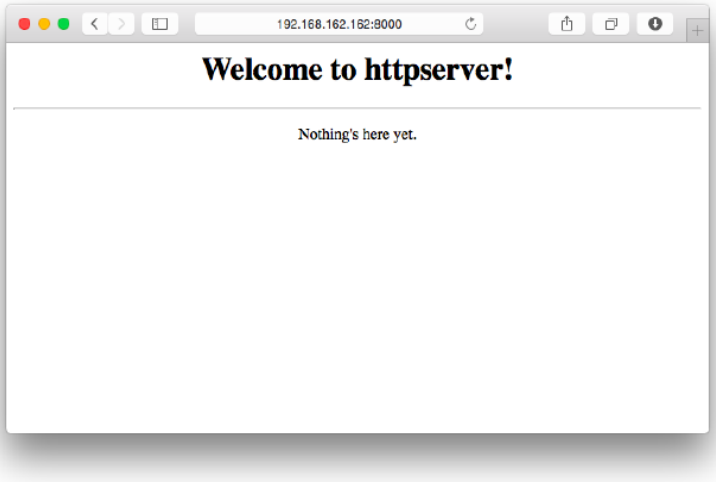
با رفتن به آدرس HTTP:192.168.162.162:8000 چک کنید که کارگزار HTTP کار می‌کند.
همچنین می‌توانید درخواست‌های HTTP خود را با برنامه curl که بر روی ماشین مجازیتان نصب شده است بفرستید. مثالی برای استفاده از curl در زیر آمده است:

```
curl -v http://192.168.162.162:8000/
```

می‌توانید یک اتصال به کارگزار HTTPتان به طور مستقیم بر روی سوکت شبکه با استفاده از netcat(nc) ایجاد کنید و درخواست HTTPتان را تایپ کنید. (یا از یک فایل پایپ کنید)

```
nc -v 192.168.162.162 8000
Connection to 192.168.162.162 8000 port [tcp/*] succeeded!
```

(سپس می‌توانید درخواستتان را بنویسید تا به کارگزار ارسال شود)



شکل ۲

۴.۴ پیغام‌های خطای رایج

۱.۴.۴ Failed to bind on socket: Address already in use

این پیام بدین معنی است که شما یک httpserver در حال اجرا در پس‌زمینه دارید. به عبارت دیگر، برنامه دیگری درحال استفاده از پورت موردنظر شماست. این می‌تواند زمانی اتفاق بیفتد که برنامه شما پردازه‌هایی که سوکت را در اختیار دارند را leak کند، یا برای مثال بدون خاموش کردن httpserver ماشین مجازی را خاموش کنید.

دستور `netstat -tulpn` در لینوکس به شما کمک می‌کند تا متوجه شوید درحال‌حاضر کدام برنامه‌ها کدام سوکت‌ها را در اختیار دارند. برای بستن پردازه‌ها می‌توانید از دستور `kill -9 <PID>` استفاده کنید و یا اگر برنامه خود شما همچنان درحال اجرا در پس‌زمینه است می‌توانید این مشکل را با اجرای دستور `pkill -9 httpserver` برطرف کنید. اگر این دستور کار نکرد می‌توانید یک پورت دیگری را با اجرای `httpserver --files files/ --port 8001` مشخص کنید یا ماشین مجازی را با `vagrant reload` مجددا بارگذاری کنید.

۲.۴.۴ Failed to bind on socket: Permission denied

اگر از پورتی با شماره کمتر از ۱۰۲۴ استفاده کنید ممکن است با این خطا مواجه شوید. فقط کاربر root می‌تواند این شماره پورت‌ها را استفاده کند، درنتیجه شما باید شماره پورت بزرگتری را انتخاب کنید. (از ۱۰۲۴ تا ۶۵۵۳۶)

۵.۴ وظیفه‌ی شما

۱. برای رسیدگی به درخواست‌های GET HTTP برای فایل‌ها `handle_files_request(int fd)` را پیاده‌سازی کنید. این تابع سوکت fd را که از گام ۳ توضیحات قبل به دست آمده، به عنوان ورودی می‌گیرد.

موارد زیر باید رسیدگی شوند:

- از مقدار آرگومان ورودی files-- که شامل مسیری که فایل‌ها در آن قرار دارند می‌شود، استفاده کنید. (این مسیر در متغیر سراسری `*server_files_directory` ذخیره شده است)
- اگر مسیر درخواست HTTP، مربوط به یک فایل باشد با پیغام 200 OK و محتوای فایل پاسخ دهید. (برای مثال اگر index.html/ مورد درخواست باشد و فایلی با نام index.html در مسیر فایل‌ها موجود باشد) همچنین باید قادر باشید به درخواست فایل‌هایی که در زیرپوشه‌ی مسیر فایل‌ها قرار دارد نیز رسیدگی کنید.

  راهنمایی:
  - تعدادی تابع سودمند در libhttp.h موجود است! مثال‌هایی از طریق استفاده و مستندات آن را در پیوست می‌توانید بیابید.
  - مطمئن شوید که سرآیند Content-Type HTTP را به درستی مقداردهی کرده اید. تابعی سودمند برای این کار در libhttp.h موجود است که نوع MIME فایل را برمی‌گرداند. (این تنها فایل سرآیندی است که نیاز دارید برای نشان دادن فایل‌ها/سندها استفاده کنید)
  - همچنین اطمینان یابید که سرآیند Content-Lenght HTTP را به درستی مقداردهی کرده اید. مقدار این سرآیند برابر اندازه‌ی بدنه‌ی پاسخ HTTP به بایت خواهد بود. برای مثال `Content-Length: 7810` [۸]
  - مسیرهای درخواست HTTP همیشه با `/` آغاز می‌شوند؛ حتی اگر صفحه‌ی اصلی مورد درخواست باشد. (برای مثال برای http://ce.sharif.edu/ مسیر درخواست `/` خواهد بود)
- اگر درخواست مربوط به یک مسیر بود و این مسیر شامل فایل index.html باشد، با یک پیغام `200 OK` و محتوای فایل index.html پاسخ دهید. (حواستان باشد که فرض نکنید مسیر درخواست‌ها همیشه با `/` خاتمه میابند)
  - برای فرق گذاشتن بین فایل‌ها و مسیرها احتمالا از تابع `stash()` و ماکروهای `S_ISDIR` یا `S_ISREG` استفاده خواهید کرد.
  - نیازی نیست به اشیاء دیگر فایل‌سیستم غیر از فایل‌ها و مسیرها رسیدگی کنید. (برای مثال نیازی نیست به لینک‌های سمبلیک، پایپ‌ها و فایل‌های خاص رسیدگی کنید)
  - سعی کنید بخش‌هایی از کدتان را که زیاد تکرار می‌شوند را حتما به صورت تابع دربیاورید تا راحت‌تر خطایابی شود.
- اگر درخواست مربوط به مسیری بود که شامل فایل index.html نیست، با یک صفحه HTML شامل لینک به فرزندان مستقیم این مسیر (مانند `ls -1`) و پدر آن پاسخ دهید. (برای مثال لینک به

[۸] برای تست کردن کارگزار خود می‌توانید پرونده مورد درخواست را با دستور `wc -c` لینوکس بررسی کنید و اطمینان حاصل کنید همین عدد برای سرآیند `Content-Length` فرستاده می‌شود.

پدرش به شکل `<a href="../">Parent directory</a>` در می‌آیند.)

راهنمایی:

- برای لیست‌کردن محتوای یک مسیر توابع `opendir()` و `readdir()` مفیدند.
- مسیرهای لینک‌ها می‌توانند مطلق یا نسبی باشند. مثل اینکه دستورات `cd usr/` و `cd /usr/` دو کار متفاوت انجام می‌دهند)
- نیازی نیست نگران `/` های اضافی در لینک‌هایتان باشید. (برای مثال `//files///a.jpg` مشکلی ندارد) هم فایل‌سیستم و هم مرورگر این را تحمل می‌کنند.
- فراموش نکنید که سرآیند Content-Type را مقداردهی کنید.

- در غیراین‌صورت با پیغام `404 Not Found` پاسخ دهید. (بدنه‌ی HTTP اختیاری است) بسیاری از چیزها ممکن است در درخواست HTTP به خطا بیانجامند ولی ما فقط انتظار داریم که از دستور خطای `404 Not Found` برای فایل ناموجود پشتیبانی کنید.
- در حالت ارائه‌کردن فایل، لازم است تنها یک درخواست یا پاسخ را به ازای هر اتصال، پشتیبانی کنید. نیازی نیست اتصال keep-alive یا pipelining را برای این قسمت پیاده‌سازی کنید.

۲. یک استخر ریسه به اندازه‌ی ثابت پیاده‌سازی کنید که به درخواست‌های کارخواه‌ها به طور همزمان رسیدگی کند.

- برای این کار از کتابخانه‌ی pthread استفاده کنید.
- استخر ریسه شما باید قادر باشد به دقیقا و نه بیشتر num-threads-- کارخواه به طور همزمان رسیدگی کند. توجه کنید که ما معمولا از num-threads-- + 1 ریسه در برنامه‌مان استفاده می‌کنیم: ریسه اصلی مسئول پذیرفتن (accept()) اتصالات کارخواه‌ها در یک حلقه بی‌نهایت و توزیع درخواست‌ها به استخر ریسه‌هاست تا ریسه‌های دیگر به آن‌ها رسیدگی کنند.
- با مشاهده‌ی توابع داخل wq.c/h کار خود را آغاز کنید.

- ریسه اصلی (ریسه‌ای که شما برنامه httpserver را با آن شروع می‌کنید) باید هنگام پذیرفتن یک اتصال جدید در سوکت، توصیف‌گر فایل [۹] آن سوکت را در صف `work_queue` (که در ابتدای httpserver.c و نیز در wq.c/h تعریف‌شده) به‌کمک دستور `wq_push()` وارد کند.
- سپس، ریسه‌های موجود در استخر ریسه‌ها با استفاده از دستور `wq_pop()` به توصیفگر فایل سوکت کارخواه رسیدگی می‌کنند.
- بیشتر عملکرد صف‌کارها [۱۰] در wq.c پیاده سازی شده است. اما اسکلت پیاده‌سازی `wq_pop` بدون انسداد است (در حالی که باید این ویژگی را داشته‌باشد) و `wq_pop()` و `wq_push()`

[۹] File Descriptor
[۱۰] Work Queue

هیچ‌کدام Thread Safe نیستند. شما باید این مشکل را برطرف کنید.

- علاوه‌بر پیاده سازی صف کارهای مسدودشونده شما نیاز دارید به تعداد num-threads-- ریسه‌ی جدید بسازید که در یک حلقه، کارهای زیر را انجام می‌دهند:
  - **برای توصیفگر فایل بعدی کارخواه، فراخوانی های مسدود شونده ای به wq_pop انجام دهد.**
  - **بعد از pop کردن موفقیت آمیز یک توصیفگر فایل کارخواهی که باید خدمت رسانی شود، handler request مناسب را برای رسیدگی به درخواست کارخواه فراخوانی کنید.**

راهنمایی‌ها:

- صفحه‌ی مستندات man برای همگام‌سازی را با دستور زیر بگیرید:

```
$ sudo apt-get install glibc-doc
```

- برای pthread_cond_init و pthread_mutex_init صفحات man را بخوانید. (یا از Google-fu استفاده کنید) شما به هر دوی اینها نیاز خواهید داشت.

۳. تابع `handle_proxy_request(int fd)` را برای پروکسی کردن درخواست‌های HTTP به کارگزار HTTP دیگر پیاده‌سازی کنید. درحال حاضر برایتان کد تنظیم اتصالات را آماده کرده‌ایم. شما باید آن را بخوانید و بفهمید اما نیازی نیست آن را تغییر دهید. به صورت مختصر این‌ها کارهایی‌ست که انجام داده ایم:

- از مقدار آرگومان proxy-- که شامل آدرس و شماره پورت کارگزار HTTP بالادست است استفاده کردیم. (این دو مقدار در متغیرهای سراسری char *server_proxy_hostname و int server_proxy_port ذخیره شده‌اند)
- یک جستجوی DNS برای server_proxy_hostname انجام دادیم تا آدرس IP آن را بیابیم. (به تابع gethostbyname2() نگاه بیندازید)
- یک سوکت با آدرس به دست آمده در قسمت قبل ساختیم. توابع socket() و connect() را چک کنید.
- از تابع htons() برای تنظیم پورت سوکت استفاده شده‌است. (اعداد در حافظه به صورت little-endian ذخیره می‌شوند ولی در شبکه به صورت big-endian مورد انتظار می‌باشد) همچنین توجه کنید که HTTP یک پروتکل SOCK_STREAM است.

حال به قسمت شما می‌رسیم! در زیر چیزهایی که شما نیاز دارید به آن‌ها توجه کنید آمده است:

- برای داده‌ی جدید روی هر دو سوکت‌ها منتظر بمانید. (هم fd کارخواه HTTP و هم fd کارگزار HTTP بالادست) وقتی داده رسید شما باید سریعا آن را از داخل یک بافر بخوانید و سپس آن را روی سوکت دیگر بنویسید. باید یک ارتباط دو طرفه بین کارخواه HTTP و کارگزار HTTP بالادست برقرار

سازید. پروکسی شما باید از چندین درخواست/پاسخ پشتیبانی کند.
راهنمایی:

- این کار از نوشتن داخل یک فایل یا خواندن از stdin سخت‌تر است، زیرا شما نمی‌دانید کدام طرف جریان دو طرف ابتدا داده را می‌نویسد یا داده‌ی بیشتری می‌خواهند بعد از دریافت پاسخ بفرستند. در حالت پروکسی، شما با این مواجه می‌شوید که برخلاف کارگزار HTTP تان که فقط نیاز دارد از یک درخواست/پاسخ به ازای هر ارتباط پشتیبانی کند، چندین درخواست/پاسخ روی ارتباط یکسان فرستاده می‌شوند.
- برای این قسمت نیز نیاز دارید از pthread استفاده کنید. درنظر بگیرید که از دو ریسه برای تسهیل کردن ارتباط دو طرفه استفاده کنید؛ یکی از A به B و دیگری از B به A. تا زمانی که پیاده‌سازی شما دقیقا به num-thread-- کارخواه خدمت‌رسانی کند، مشکلی ندارد اگر از چندین ریسه برای رسیدگی به یک درخواست پروکسی کارخواه استفاده کنید.
- نیاز دارید که از client_socket_fd استفاده کنید.
- از توابع select()، fcntl() یا شبیه آن استفاده نکنید. این روش می‌تواند گیج‌کننده باشد.

- اگر یکی از سوکت‌ها بسته شد، اتصال، دیگر برقرار نمی‌ماند. در نتیجه شما باید سوکت دیگر را ببندید و از پروسه‌ی فرزند خارج شوید.

۶.۴. طریقه‌ی ارسال

برای ارسال و فرستادن برای نمره‌دهی ابتدا تغییرات خود را مطابق زیر کامیت کنید:

```
git push personal master
```

سپس می‌توانید نمره‌ی خود را در فایل grade.txt دریافت کنید.

۷.۴. تحویل دادنی‌ها

تنها تحویل‌دادنی این تمرین یک httpserver است که می‌بایست قابلیت‌های مطرح‌شده در قسمت‌های قبل را فراهم کرده باشد. ۳ قابلیت مطرح شده را می‌بایست به صورت مجزا commit کرده باشید و خطاهایی که با آن‌ها مواجه می‌شوید را به صورت issue مشخص کنید.

۵. مرجع توابع httplib

ما تعدادی تابع سودمند فراهم کردیم که راحت‌تر بتوانید با جزئیات پروتکل HTTP کنار بیایید. آن‌ها در فایل‌های httplib.c و libhttp.h موجودند. این توابع بخش کوچکی از پروتکل HTTP را پیاده می‌کنند اما برای این تمرین کافی هستند.

۱.۵. مثالی از چگونگی استفاده

خواندن یک درخواست HTTP از سوکت fd فقط به فراخوانی یک تابع نیازمند است.

```
// Returns NULL if an error was encountered.
struct http_request *request = http_request_parse(fd);
```

فرستادن یک پاسخ HTTP یک فرایند چند مرحله‌ایست. اول باید خط وضعیت HTTP با استفاده از `http_start_response()` فرستاده شود. سپس می‌توانید هر تعداد سرآیند را با `http_send_header()` بفرستید. بعد از اینکه تمامی سرآیندها فرستاده شدند، باید `http_end_headers()` فراخوانده شود (حتی اگر هیچ سرآیندی فرستاده نشده‌باشد). در آخر می‌توان از `http_send_string()` (برای رشته‌های null-terminated در C) یا `http_send_data()` (برای داده‌ی دودویی) برای ارسال داده استفاده کرد.

```
http_start_response(fd, 200);
http_send_header(fd, "Content-type", http_get_mime_type("index.html"));
http_send_header(fd, "Server", "\lr{httpserver/1.0");
http_end_headers(fd);
http_send_string(fd, "<html><body><a href='/'>Home</a></body></html>");
http_send_data(fd, "<html><body><a href='/'>Home</a></body></html>", 47);
close(fd);
```

۲.۵. شیء درخواست

یک اشاره‌گر به http_request struct توسط http_request_parse باز گردانده می‌شود. این struct دو عضو را شامل می‌شود:

```
struct http_request {
  char *method;
  char *path;
};
```

۳.۵. توابع

- `struct http_request *http_request_parse(int fd)`

یک اشاره‌گر به `struct http_request` برمی‌گرداند که شامل متد HTTP و مسیری که درخواست از سوکت خوانده می‌شود است. درصورت معتبر نبود درخواست این تابع NULL برمی‌گرداند. این تابع تا زمانی که داده‌ی fd دردسترس باشد مسدود می‌شود.

- `http_start_response(int fd, int status_code)`

خط وضعیت HTTP را در fd می‌نویسد تا پاسخ HTTP شروع شود. برای مثال هنگامی که `status_code` برابر ۲۰۰ است، تابع `http/1.0 200 OK\r\n` را تولید می‌کند.

- `void http_send_header(int fd, char *key, char *value)`

سرآیند پاسخ HTTP را در fd می‌نویسد. برای مثال اگر کلید برابر "Content-Type" و مقدارش برابر "text/html" باشد این تابع `Content-Type: text/html\r\n` را می‌نویسد.

- `void http_end_headers(int fd)`

CRLF (\r\n) را در fd می‌نویسد که نشان‌دهنده‌ی پایان سرآیندهای پاسخ HTTP است.

- `void http_send_string(int fd, char *data)`

نام مستعاری برای `http_send_data(fd, data, strlen(data))` است.

- `void http_send_data(int fd, char *data, size_t size)`

data را در fd می‌نویسد. اگر data طولانی‌تر از آن بود که یکجا نوشته شود، تابع `write()` را در یک حلقه فرامی‌خواند تا در هربار فراخوانی حلقه قسمتی از داده نوشته شود.

- `char *http_get_mime_type(char *file_name)`

یک رشته برابر مقدار صحیح Content-Type بر اساس فایل `file_name` را برمی‌گرداند.