浙江大学

本科实验报告

课程名称：　计算机网络基础

实验名称：　实现一个轻量级的 WEB 服务器

姓　　名：

学　　院：　计算机学院

系：　计算机科学与技术

专　　业：　计算机科学与技术

学　　号：

指导教师：　邱劲松

浙江大学实验报告

实验名称：实现一个轻量级的 WEB 服务器　　实验类型：　编程实验

同组学生：　无　　实验地点：　计算机网络实验室

一、　实验目的

深入掌握 HTTP 协议规范，学习如何编写标准的互联网应用服务器。

二、　实验内容

- 服务程序能够正确解析 HTTP 协议，并传回所需的网页文件和图片文件
- 使用标准的浏览器，如 IE、Chrome 或者 Safari，输入服务程序的 URL 后，能够正常显示服务器上的网页文件和图片
- 服务端程序界面不做要求，使用命令行或最简单的窗体即可
- 功能要求如下：
  1. 服务程序运行后监听在 80 端口或者指定端口
  2. 接受浏览器的 TCP 连接（支持多个浏览器同时连接）
  3. 读取浏览器发送的数据，解析 HTTP 请求头部，找到感兴趣的部分
  4. 根据 HTTP 头部请求的文件路径，打开并读取服务器磁盘上的文件，以 HTTP 响应格式传回浏览器。要求按照文本、图片文件传送不同的 Content-Type，以便让浏览器能够正常显示。
  5. 分别使用单个纯文本、只包含文字的 HTML 文件、包含文字和图片的 HTML 文件进行测试，浏览器均能正常显示。
- 本实验可以在前一个 Socket 编程实验的基础上继续，也可以使用第三方封装好的 TCP 类进行网络数据的收发
- 本实验要求不使用任何封装 HTTP 接口的类库或组件，也不使用任何服务端脚本程序如 JSP、ASPX、PHP 等

三、　主要仪器设备

联网的 PC 机、Wireshark 软件、Visual Studio、gcc 或 Java 集成开发环境。

四、　操作方法与实验步骤

- 阅读 HTTP 协议相关标准文档，详细了解 HTTP 协议标准的细节，有必要的话使用 Wireshark 抓包，研究浏览器和 WEB 服务器之间的交互过程
- 创建一个文档目录，与服务器程序运行路径分开
- 准备一个纯文本文件，命名为 test.txt，存放在 txt 子目录下面
- 准备好一个图片文件，命名为 logo.jpg，放在 img 子目录下面
- 写一个 HTML 文件，命名为 test.html，放在 html 子目录下面，主要内容为：

```
<html>
    <head><title>Test</title></head>
    <body>
        <h1>This is a test</h1>
        <img src="img/logo.jpg">
        <form action="dopost" method="POST">
            Login:<input name="login">
            Pass:<input name="pass">
            <input type="submit" value="login">
        </form>
    </body>
</html>
```

- 将 test.html 复制为 noimg.html，并删除其中包含 img 的这一行。
- 服务端编写步骤（**需要采用多线程模式**）

a) 运行初始化，打开 Socket，监听在指定端口（**请使用学号的后 4 位作为服务器的监听端口**）

b) 主线程是一个循环，主要做的工作是等待客户端连接，如果有客户端连接成功，为该客户端创建处理子线程。该子线程的主要处理步骤是：

1. 不断读取客户端发送过来的字节，并检查其中是否连续出现了 2 个回车换行符，如果未出现，继续接收；如果出现，按照 HTTP 格式解析第 1 行，分离出方法、文件和路径名，其他头部字段根据需要读取。

✧ **如果解析出来的方法是 GET**

2. 根据解析出来的文件和路径名，读取响应的磁盘文件（该路径和服务器程序可能不在同一个目录下，需要转换成绝对路径）。如果文件不存在，第 3 步的响应消息的状态设置为 404，并且跳过第 5 步。
3. 准备好一个足够大的缓冲区，按照 HTTP 响应消息的格式先填入第 1 行（状态码=200），加上回车换行符。然后模仿 Wireshark 抓取的 HTTP 消息，填入必要的几行头部（需要哪些头部，请试验），其中不能缺少的 2 个头部是 Content-Type 和 Content-Length。Content-Type 的值要和文件类型相匹配（请通过抓包确定应该填什么），Content-Length 的值填写文件的字节大小。
4. 在头部行填完后，再填入 2 个回车换行
5. 将文件内容按顺序填入到缓冲区后面部分。

✧ **如果解析出来的方法是 POST**

6. 检查解析出来的文件和路径名，如果不是 dopost，则设置响应消息的状态为 404，然后跳到第 9 步。如果是 dopost，则设置响应消息的状态为 200，并继续下一步。
7. 读取 2 个回车换行后面的体部内容（长度根据头部的 Content-Length 字段的指示），并提取出登录名（login）和密码（pass）的值。如果登录名是你的学号，密码是学号的后 4 位，则将响应消息设置为登录成功，否则将响应消息设置为登录失败。
8. 将响应消息封装成 html 格式，如

<html><body>响应消息内容</body></html>

9. 准备好一个足够大的缓冲区，按照 HTTP 响应消息的格式先填入第 1 行（根据前面的情况设置好状态码），加上回车换行符。然后填入必要的几行头部，其中不能缺少的 2 个头部是 Content-Type 和 Content-Length。Content-Type 的值设置为 text/html，如果状态码=200，则 Content-Length 的值填写响应消息的字节大小，并将响应消息填入缓冲区的后面部分，否则填写为 0。
10. 最后一次性将缓冲区内的字节发送给客户端。
11. 发送完毕后，关闭 socket，退出子线程。

c) 主线程还负责检测退出指令（如用户按退出键或者收到退出信号），检测到后即通知并等待各子线程退出。最后关闭 Socket，主程序退出。

- 编程结束后，将服务器部署在一台机器上（本机也可以）。在服务器上分别放置纯文本文件（.txt）、只包含文字的测试 HTML 文件（将测试 HTML 文件中的包含 img 那一行去掉）、包含文字和图片的测试 HTML 文件（以及图片文件）各一个。
- 确定好各个文件的 URL 地址，然后使用浏览器访问这些 URL 地址，如 http://x.x.x.x:port/dir/a.html，其中 port 是服务器的监听端口，dir 是提供给外部访问的路径，请设置为与文件实际存放路径不同，通过服务器内部映射转换。
- 检查浏览器是否正常显示页面，如果有问题，查找原因，并修改，直至满足要求
- 使用多个浏览器同时访问这些 URL 地址，检查并发性

五、 实验数据记录和处理

请将以下内容和本实验报告一起打包成一个压缩文件上传：

- **源代码：需要说明编译环境和编译方法，如果不能编译成功，将影响评分**
- **可执行文件：可运行的.exe 文件或 Linux 可执行文件**

- 服务器的主线程循环关键代码截图（解释总体处理逻辑，省略细节部分）

```cpp
int main(int argc, char** argv)
{
    int connfd;
    NetworkManager NetMng;

    NetMng.Listen(3746);
    std::cout << "\033[31m[LOG] \033[0m"
              << "Web Server started. Waiting for request" << std::endl;

    /* Infinity loop on accepting request and handling */
    while (true) {
        connfd = NetMng.Accept();
        RequestManager rm(connfd);
        std::cout << "\033[31m[LOG] \033[0m"
                  << "Connection Established, socket id = " << connfd << std::endl;
        rm.Start();
        NetMng.Close();
    }

    return 0;
}
```

首先初始化，打开 Socket，监听 3746 号端口。网络连接这一部分封装为一个 NetworkManager 类。

不断循环，每次都先阻塞等待，收到连接请求后，将文件描述符保存为 connfd，并实例化请求处理类 RequestManager，并进行对应的操作。

RequestManager 的 Start 方法解析请求，并对 POST 和 GET 两种请求做出对应的处理。处理结束后返回主循环，最后关闭这个连接，进入下一轮循环。

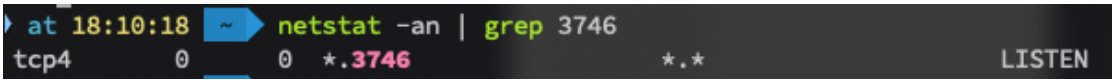
- 服务器的客户端处理子线程关键代码截图（解释总体处理逻辑，省略细节部分）

```cpp
void* Request_Handler(void* arg)
{
    rio_t rio;

    int connfd = *(int*)arg;
    rio_readinitb(&rio, connfd);

    char Buffer[LINE_MAX_LENGTH], method[LINE_MAX_LENGTH], uri[LINE_MAX_LENGTH], version[LINE_MAX_LENGTH];
    rio_readlineb(&rio, Buffer, LINE_MAX_LENGTH);

    sscanf(Buffer, "%s %s %s", method, uri, version);

    std::cout << "\n----------------------------------------" << std::endl;
    std::cout << "\033[31mMethod:  \033[0m" << method << std::endl;
    std::cout << "\033[31mURI:     \033[0m" << uri << std::endl;
    std::cout << "\033[31mVERSION: \033[0m" << version << std::endl;
    if (!strcasecmp(method, "POST")) {
        HandlePost(connfd, uri, &rio);
        pthread_exit(NULL);
    } else if (!strcasecmp(method, "GET")) {
        HandleGet(connfd, uri, &rio);
        pthread_exit(NULL);
    } else {
        iClient_error(connfd, "501", "Not implemented", "This kind of request is not supported in this server!");
        pthread_exit(NULL);
    }
}
```

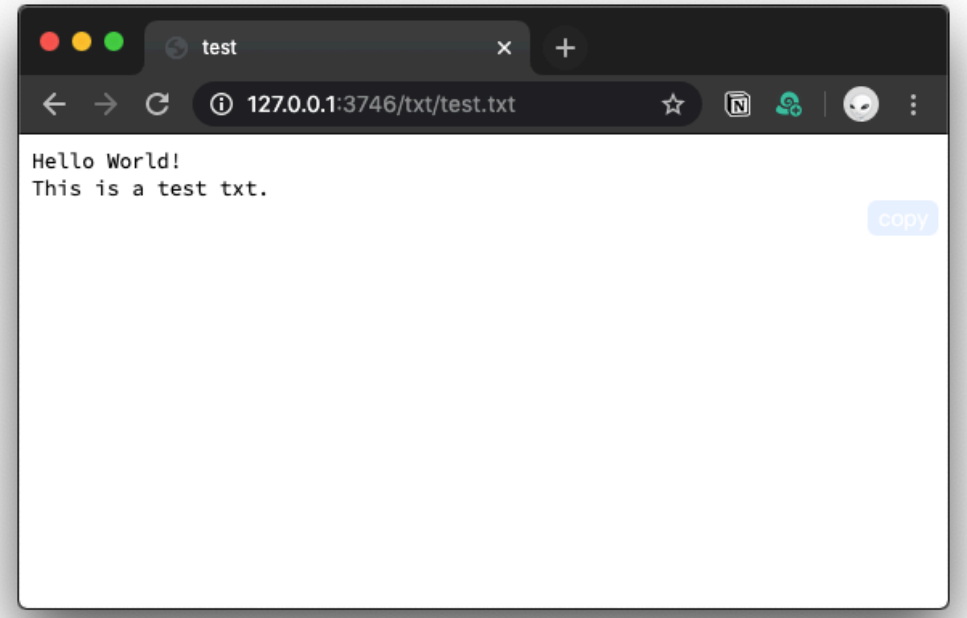
子进程入口函数 Request_Handler，接受到文件描述符，从中读取发送的信息：

Method、URI 和 Version，根据 Method 不同做出不同的操作，最后结束进程。

- 服务器运行后，用 netstat –an 显示服务器的监听端口

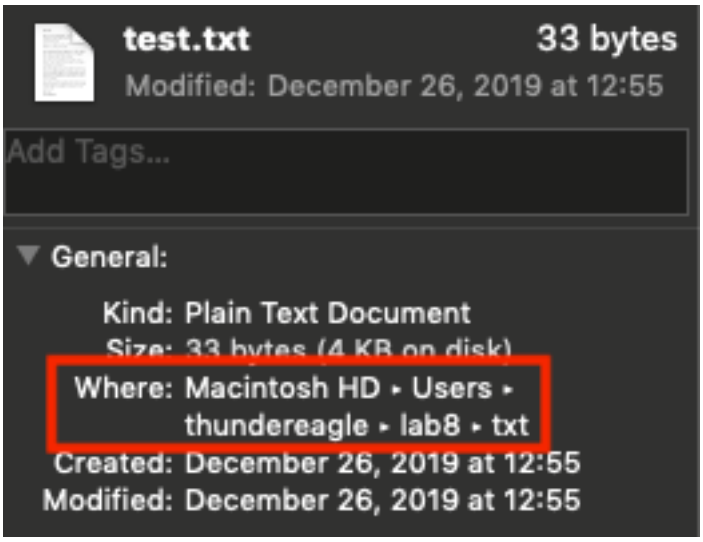


- 浏览器访问纯文本文件（.txt）时，浏览器的 URL 地址和显示内容截图。



服务器上文件实际存放的路径：

~/lab8/txt/test.txt



服务器的相关代码片段：

```c
void HandleGet(int connfd, char* uri, rio_t* rio)
{
    int isStatic;
    char FileName[LINE_MAX_LENGTH], cgi_Args[LINE_MAX_LENGTH];
    struct stat sbuf;

    Read_RequestHeader(rio);
    // parse URI from GET request
    isStatic = URI_Prase(uri, FileName, cgi_Args);
    if (stat(FileName, &sbuf) < 0) {
        iClient_error(connfd, "404", "Not found", "Tiny could not find this file");
        return;
    }

    if (isStatic) {
        // static content: Verify that static content is a normal file with read permission
        if (!(S_ISREG(sbuf.st_mode)) || !(S_IRUSR & sbuf.st_mode)) {
            iClient_error(connfd, "403", "Forbidden", "Tiny could not read the file");
            return;
        }
        serve_static(connfd, FileName, sbuf.st_size);
    } else {
        // dynamic sontent: Dynamic content, verify that it is executable, and if so, provide dynamic content
        if (!(S_ISREG(sbuf.st_mode)) || !(S_IRUSR & sbuf.st_mode)) {
            iClient_error(connfd, "403", "Forbidden", "Tiny could not run the CGI program");
            return;
        }
        serve_dynamic(connfd, FileName, cgi_Args);
    }
}
```

HandleGet 处理 GET 请求，完成从客户读取 request 到发送 response 给客户的所有过程。

```c
void Read_RequestHeader(rio_t* rp)
{
    char Buffer[LINE_MAX_LENGTH];

    rio_readlineb(rp, Buffer, LINE_MAX_LENGTH);
    while (strcmp(Buffer, "\r\n")) {
        // The empty text line in the header of the termination request is composed of a carriage return and a line feed
        rio_readlineb(rp, Buffer, LINE_MAX_LENGTH);
        printf("%s", Buffer);
    }
    return;
}
```

Read_RequestHeader 处理用户的请求包头。

```c
int URI_Prase(char* uri, char* filename, char* cgiargs)
{
    char* ptr;

    if (strstr(uri, "cgi-bin")) {
        // Dynamic content: Take all the CGi parameters and conver
        ptr = index(uri, '?');
        if (!ptr) {
            strcpy(cgiargs, ptr + 1);
            *ptr = '\0';
        } else {
            cgiargs[0] = '\0';
        }
        strcpy(filename, ".");
        strcat(filename, uri);
        return 0;
    } else {
        // static content: Clear the CGI parameter string, and the
        strcpy(filename, "."); // begin convert1
        strcat(filename, uri); // end convert1
        if (uri[strlen(uri) - 1] == '/') {
            // slash check: If ending with "/", append the default
            strcat(filename, "home.html"); // append default
        }
        return 1;
    }
}
```

URI_Prase 函数解析请求，获得相关文件名等信息。

```c
void get_filetype(char* filename, char* filetype)
{
    if (!filename || !filetype)
        return;
    if (strstr(filename, ".html")) {
        strcpy(filetype, "text/html");
    } else if (strstr(filename, ".jpg")) {
        strcpy(filetype, "image/jpeg");
    } else if (strstr(filename, ".gif")) {
        strcpy(filetype, "image/gif");
    } else {
        strcpy(filetype, "text/plain");
    }
}
```

get_filetype 用来获取客户要求的文件类型。

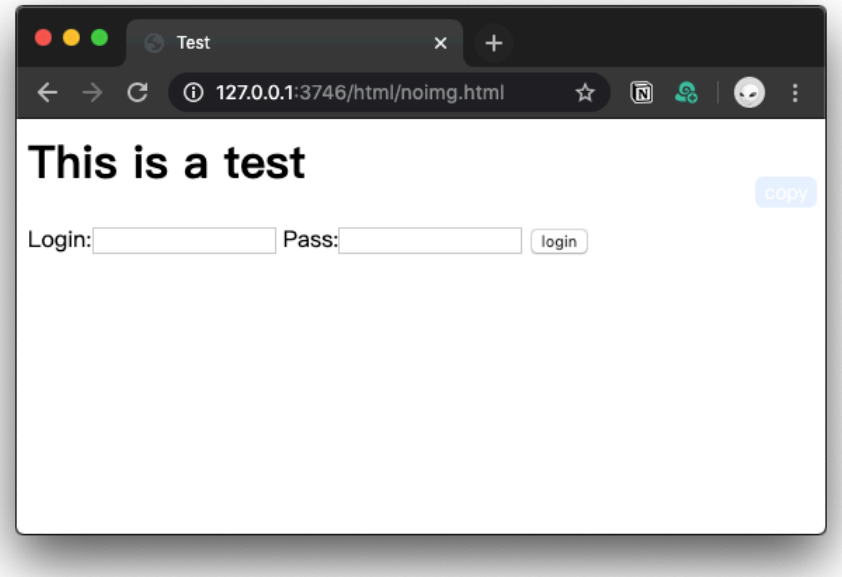
```c
void serve_static(int fd, char* filename, int filesize)
{
    char *srcp, filetype[LINE_MAX_LENGTH], buf[LINE_MAX_LENGTH];
    int srcfd;

    // send response headers to client
    get_filetype(filename, filetype); // get filetype

    sprintf(buf, "HTTP/1.0 200 OK\r\n Server: Tiny Web Server\r\n Content-length: %d\r\n Content-type: %s\r\n\r\n", filesize, filetype); // begin serve
    rio_writen(fd, buf, strlen(buf)); // end serve

    // send response body to client
    srcfd = Open(filename, O_RDONLY, 0); // open
    srcp = (char*)Mmap(0, filesize, PROT_READ, MAP_PRIVATE, srcfd, 0);
    // mmap: map the requested file to a virtual memory space,
    // Call mmap to map the first filesize bytes of file srcfd to a private read-only memory area starting at address srcp
    Close(srcfd);
    // Perform the actual file transfer to the client, copy the filesize bytes starting from the srcp position to the client's connected descriptor
    rio_writen(fd, srcp, filesize);
    // Frees mapped virtual memory areas to avoid potential memory leaks
    Munmap(srcp, filesize);
}
```

完成解析后，服务端发送相关信息给客户端。

Wireshark 抓取的数据包截图（通过跟踪 TCP 流，只截取 HTTP 协议部分）：

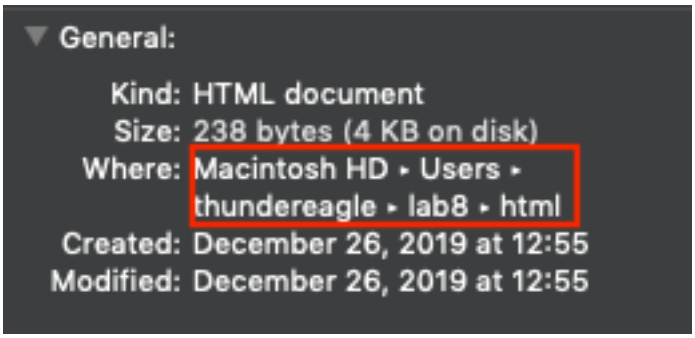
```
GET /txt/test.txt HTTP/1.1
Host: 127.0.0.1:3746
Connection: keep-alive
Cache-Control: max-age=0
Upgrade-Insecure-Requests: 1
User-Agent: Mozilla/5.0 (Macintosh; Intel Mac OS X 10_14_6) AppleWebKit/537.36 (KHTML, like Gecko) Chrome/79.0.3945.88 Safari/537.36
Sec-Fetch-User: ?1
Accept: text/html,application/xhtml+xml,application/xml;q=0.9,image/webp,image/apng,*/*;q=0.8,application/signed-exchange;v=b3;q=0.9
Sec-Fetch-Site: none
Sec-Fetch-Mode: navigate
Accept-Encoding: gzip, deflate, br
Accept-Language: en-US,en;q=0.9,zh-CN;q=0.8,zh;q=0.7

HTTP/1.0 200 OK
 Server: Tiny Web Server
 Content-length: 33
 Content-type: text/plain

Hello World!
This is a test txt.
```

- 浏览器访问只包含文本的 HTML 文件时，浏览器的 URL 地址和显示内容截图。



服务器文件实际存放的路径：

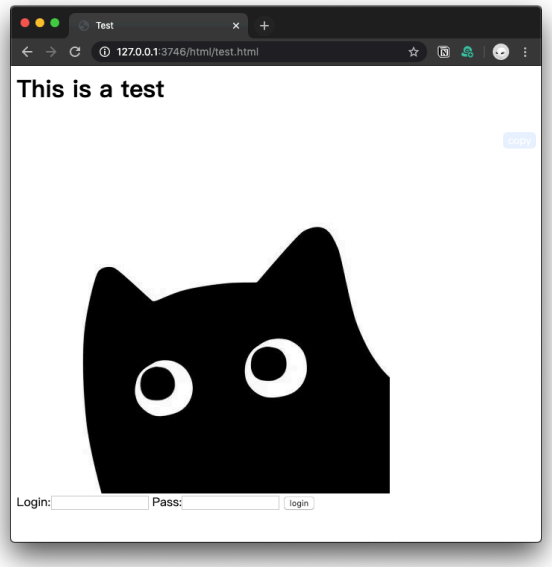
~/lab8/html/noimg.html



Wireshark 抓取的数据包截图（只截取 HTTP 协议部分，包括 HTML 内容）：

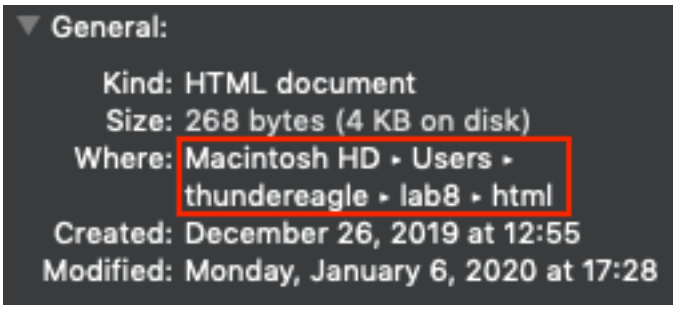
```
GET /html/noimg.html HTTP/1.1
Host: 127.0.0.1:3746
Connection: keep-alive
Cache-Control: max-age=0
Upgrade-Insecure-Requests: 1
User-Agent: Mozilla/5.0 (Macintosh; Intel Mac OS X 10_14_6) AppleWebKit/537.36 (KHTML, like Gecko) Chrome/79.0.3945.88 Safari/537.36
Sec-Fetch-User: ?1
Accept: text/html,application/xhtml+xml,application/xml;q=0.9,image/webp,image/apng,*/*;q=0.8,application/signed-exchange;v=b3;q=0.9
Sec-Fetch-Site: none
Sec-Fetch-Mode: navigate
Accept-Encoding: gzip, deflate, br
Accept-Language: en-US,en;q=0.9,zh-CN;q=0.8,zh;q=0.7

HTTP/1.0 200 OK
 Server: Tiny Web Server
 Content-length: 238
 Content-type: text/html

<html>
          <head><title>Test</title></head>
          <body>
                    <h1>This is a test</h1>
                    <form action="dopost" method="POST">
                              Login:<input name="login">
                              Pass:<input name="pass">
                              <input type="submit" value="login">
                    </form>
          </body>
</html>
```

- 浏览器访问包含文本、图片的 HTML 文件时，浏览器的 URL 地址和显示内容截图。



服务器上文件实际存放的路径：

~/lab8/html/test.html

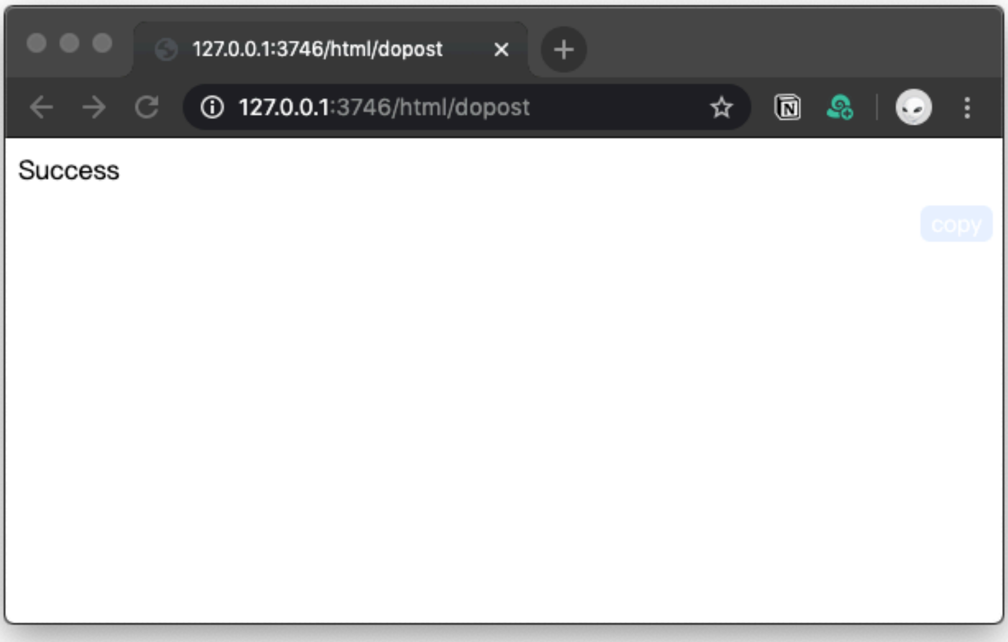


Wireshark 抓取的数据包截图（只截取 HTTP 协议部分，包括 HTML、图片文件的部分内容）：

```
GET /html/test.html HTTP/1.1
Host: 127.0.0.1:3746
Connection: keep-alive
Cache-Control: max-age=0
Upgrade-Insecure-Requests: 1
User-Agent: Mozilla/5.0 (Macintosh; Intel Mac OS X 10_14_6) AppleWebKit/537.36 (KHTML, like Gecko) Chrome/79.0.3945.88 Safari/537.36
Sec-Fetch-User: ?1
Accept: text/html,application/xhtml+xml,application/xml;q=0.9,image/webp,image/apng,*/*;q=0.8,application/signed-exchange;v=b3;q=0.9
Sec-Fetch-Site: none
Sec-Fetch-Mode: navigate
Accept-Encoding: gzip, deflate, br
Accept-Language: en-US,en;q=0.9,zh-CN;q=0.8,zh;q=0.7

HTTP/1.0 200 OK
 Server: Tiny Web Server
 Content-length: 268
 Content-type: text/html

<html>
          <head><title>Test</title></head>
          <body>
                    <h1>This is a test</h1>
                    <img src="../img/logo.jpg">
                    <form action="dopost" method="POST">
                              Login:<input name="login">
                              Pass:<input name="pass">
                              <input type="submit" value="login">
                    </form>
          </body>
</html>
```

```
GET /img/logo.jpg HTTP/1.1
Host: 127.0.0.1:3746
Connection: keep-alive
User-Agent: Mozilla/5.0 (Macintosh; Intel Mac OS X 10_14_6) AppleWebKit/537.36 (KHTML, like Gecko) Chrome/79.0.3945.88 Safari/537.36
Accept: image/webp,image/apng,image/*,*/*;q=0.8
Sec-Fetch-Site: same-origin
Sec-Fetch-Mode: no-cors
Referer: http://127.0.0.1:3746/html/test.html
Accept-Encoding: gzip, deflate, br
Accept-Language: en-US,en;q=0.9,zh-CN;q=0.8,zh;q=0.7

HTTP/1.0 200 OK
 Server: Tiny Web Server
 Content-length: 8431
 Content-type: image/jpeg

.....dExif..MM.*.......i.........J.........................
2............................................JFIF.............C...............
.

...............%...#... , #&')*)..-0-(0%()(...C....
.
.

.(...
((((((((((((((((((((((((((((((((((((((((((((((((((...........".........................................................................
..............................................................................................................................................
.........................................................................
y.s.............................O..;
vK..V..}....................
O...
^..&.{rY.2......................_.....X..q#...........3k...X...J...@...........?_......l..@........W .......V{2wy....0e....2.."....
[.E.V|.T..........3Ygc..........;.p....N...,SW.?n*9&n.%...5..........  N,...........W.Vp`........p.................t..........R
.................*...........vb..$................f..9 .......+...............>...E..;.D...._..&k...=^Qg..T......
.dkY...........N.{.M..0gu..`:..d..?.
........=v:.w.......V.-Z.H...29......>q..r1...........L|T...x.X..eM.#..f.....p'N...Cp.......W#D...I..(40..x....G4...........kd....<.R/
Rq.g.....E[......u..e..Z....+...NL...jw...Y..y@>..(h..%...8....+
Y...hw...{.-|j~q................<..>..hy.~O+.....P.....%C........./....s.0............
%..R......a.js^..VE.Bl.b.....`....................
....................-P....OX..............................'.......................T....
8....3....................T.........j...................T.....Go.+.?..........................
+...................?...,.........................0... @P..!5.#."$1.................>...V9Y+}... CazaZU...s      %5.,`....W.ir.?
ea...dl..k#b.k.%4..8.d>..c..[  l...+.==..6....a>.$.E_.U....[&..?.?.tnF ..Y......r{.b...},.\..F..^.E.../...k.....r,|[.z.....
.9... .@!{..n&...'.rGM[.Er.....=.^...8u.I^.K....**%t....}....g...1u.....=.{..I..>.i?.N.[ik........DB....2.        .1.L.N.7.xy|..=..)...
2.`UF...ch..I...|.^nM..i/>.dB..B.$.A.........y...n~}G.......I..k/..e.=-....._../...2.}..n.g...%^7>lQ.W...*3..O.&..G..c..&...6.....).f3PF
dq.<...... (S.a.x...........  ..+......i-.b..........
4..pIacoZ~.......KV.`.<2.zI..V7".k.........uY'...q.j@j>...;...hS.&..?.<...k...}.>3f.V.7i...k.-..xE..........AMZ.
(,#.cDT75..#g.o..*.Yq.Y.N..k....x.V...n[~.c..k......          R.Hs...n.O.V.c....*.R.....L.9.......$3..
```

- 浏览器输入正确的登录名或密码，点击登录按钮（login）后的显示截图。



服务器相关处理代码片段：

```cpp
void HandlePost(int connfd, char* uri, rio_t* rio)
{
    char Buffer[LINE_MAX_LENGTH];
    char login[LINE_MAX_LENGTH], pass[LINE_MAX_LENGTH];
    bool log = false;
    if (strcasecmp(uri, "/html/dopost") || strcasecmp(uri, "/dopost")) {
        int contentlength;
        rio_readlineb(rio, Buffer, LINE_MAX_LENGTH);
        std::cout << Buffer;

        /* Read till \r\n appear */
        while (strcmp(Buffer, "\r\n")) {
            if (strstr(Buffer, "Content-Length:"))
                sscanf(Buffer + strlen("Content-Length:"), "%d", &contentlength);
            rio_readlineb(rio, Buffer, LINE_MAX_LENGTH);
            std::cout << Buffer;
        }
        std::cout << "\033[31m[Finish reading header]\033[0m" << std::endl;
        /* Now we get the body */
        rio_readlineb(rio, Buffer, contentlength + 1);
        /* Output the body */
        std::cout << "Body: [[" << Buffer << "]]" << std::endl;
        if (strstr(Buffer, "login=") && strstr(Buffer, "pass=")) {
            char* p = strstr(Buffer, "login=");
            int li = 0, pi = 0;
            while (*p++ != '=')
                ;
            while (*p != '&') {
                login[li++] = *p++;
            }
            login[li] = 0;
            while (*p++ != '=')
                ;
            while (*p) {
                pass[pi++] = *p++;
            }
            pass[pi] = 0;
        }
        /* Login status check */
        std::cout << "Username: " << login << "\nPasswd: " << pass << std::endl;
        if (!strcmp(login, "3170103746") && !strcmp(pass, "12345"))
            log = true;
        else
            log = false;

        /* Return status */
        MakeResponse_Post(connfd, log);
        return;
    } else {
        iClient_error(connfd, "404", "Not found", "This kind of resource is not available in this server");
        return;
    }
}
```

HandlePost 函数处理客户端的 POST request，并发送 response 给客户端，其中调用了 MakeResponse_Post 函数：

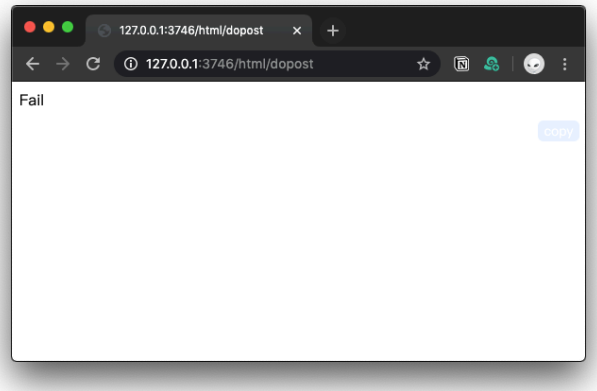
```c
void MakeResponse_Post(int connfd, bool log)
{
    char* failmsg = "<html><body>Fail</body></html>";
    char* successmsg = "<html><body>Success</body></html>";
    char Buffer[LINE_MAX_LENGTH];

    sprintf(Buffer, "HTTP/1.0 200 OK\r\nServer: Server Content-length: %d\r\nConter

    /* Log in successful */

    rio_writen(connfd, Buffer, strlen(Buffer));
    if (log)
        rio_writen(connfd, successmsg, strlen(successmsg));
    else
        rio_writen(connfd, failmsg, strlen(failmsg));
}
```

MakeResponse_Post 解析并返回指定的消息。

Wireshark 抓取的数据包截图（HTTP 协议部分）

```
POST /html/dopost HTTP/1.1
Host: 127.0.0.1:3746
Connection: keep-alive
Content-Length: 27
Cache-Control: max-age=0
Origin: http://127.0.0.1:3746
Upgrade-Insecure-Requests: 1
Content-Type: application/x-www-form-urlencoded
User-Agent: Mozilla/5.0 (Macintosh; Intel Mac OS X 10_14_6) AppleWebKit/537.36 (KHTML, like Gecko) Chrome/79.0.3945.88 Safari/537.36
Sec-Fetch-User: ?1
Accept: text/html,application/xhtml+xml,application/xml;q=0.9,image/webp,image/apng,*/*;q=0.8,application/signed-exchange;v=b3;q=0.9
Sec-Fetch-Site: same-origin
Sec-Fetch-Mode: navigate
Referer: http://127.0.0.1:3746/html/test.html
Accept-Encoding: gzip, deflate, br
Accept-Language: en-US,en;q=0.9,zh-CN;q=0.8,zh;q=0.7

login=3170103746&pass=12345HTTP/1.0 200 OK
Server: Server Content-length: 33
Content-type: text/html

<html><body>Success</body></html>
```

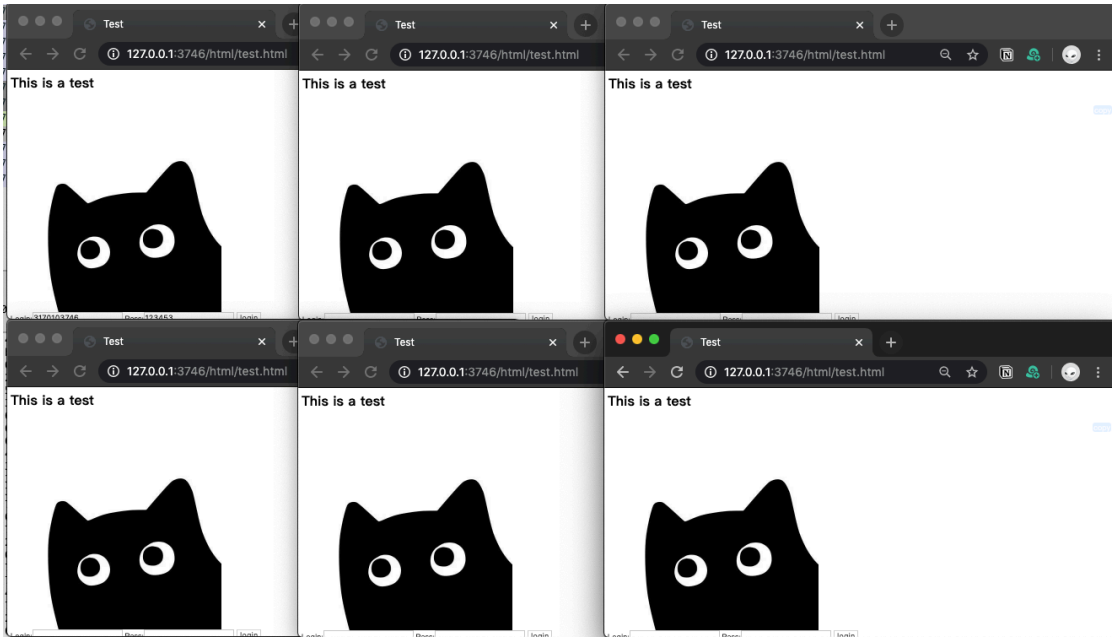
- 浏览器输入错误的登录名或密码，点击登录按钮（login）后的显示截图。



- Wireshark 抓取的数据包截图（HTTP 协议部分）

```
POST /html/dopost HTTP/1.1
Host: 127.0.0.1:3746
Connection: keep-alive
Content-Length: 28
Cache-Control: max-age=0
Origin: http://127.0.0.1:3746
Upgrade-Insecure-Requests: 1
Content-Type: application/x-www-form-urlencoded
User-Agent: Mozilla/5.0 (Macintosh; Intel Mac OS X 10_14_6) AppleWebKit/537.36 (KHTML, like Gecko) Chrome/79.0.3945.88 Safari/537.36
Sec-Fetch-User: ?1
Accept: text/html,application/xhtml+xml,application/xml;q=0.9,image/webp,image/apng,*/*;q=0.8,application/signed-exchange;v=b3;q=0.9
Sec-Fetch-Site: same-origin
Sec-Fetch-Mode: navigate
Referer: http://127.0.0.1:3746/html/test.html
Accept-Encoding: gzip, deflate, br
Accept-Language: en-US,en;q=0.9,zh-CN;q=0.8,zh;q=0.7

login=3170103746&pass=123453HTTP/1.0 200 OK
Server: Server Content-length: 30
Content-type: text/html

<html><body>Fail</body></html>
```

- 多个浏览器同时访问包含图片的 HTML 文件时，浏览器的显示内容截图（将浏览器窗口缩小并列）



- 多个浏览器同时访问包含图片的 HTML 文件时，使用 netstat –an 显示服务器的 TCP 连接（截取与服务器监听端口相关的）

```
at 19:47:42  ~  netstat -an | grep 3746
tcp4       0      0  *.3746                 *.*                    LISTEN
tcp4       0      0  127.0.0.1.3746         127.0.0.1.63481        TIME_WAIT
tcp4       0      0  127.0.0.1.3746         127.0.0.1.63483        TIME_WAIT
tcp4       0      0  127.0.0.1.3746         127.0.0.1.63488        TIME_WAIT
tcp4       0      0  127.0.0.1.3746         127.0.0.1.63490        TIME_WAIT
tcp4       0      0  127.0.0.1.3746         127.0.0.1.63491        TIME_WAIT
tcp4       0      0  127.0.0.1.3746         127.0.0.1.63493        TIME_WAIT
tcp4       0      0  127.0.0.1.3746         127.0.0.1.63497        TIME_WAIT
tcp4       0      0  127.0.0.1.3746         127.0.0.1.63499        TIME_WAIT
tcp4       0      0  127.0.0.1.3746         127.0.0.1.63503        TIME_WAIT
tcp4       0      0  127.0.0.1.3746         127.0.0.1.63504        TIME_WAIT
tcp4       0      0  127.0.0.1.3746         127.0.0.1.63508        TIME_WAIT
tcp4       0      0  127.0.0.1.3746         127.0.0.1.63509        TIME_WAIT
```

有多个连接对 3746 端口进行监听，并进入 TIME_WAIT 模式。

六、 实验结果与分析

- HTTP 协议是怎样对头部和体部进行分隔的？

  头部与体部用空行\r\n 进行分割。

- 浏览器是根据文件的扩展名还是根据头部的哪个字段判断文件类型的？

  根据头部字段 Content-type 的内容来判断文件类型。

- HTTP 协议的头部是不是一定是文本格式？体部呢？

  头部是纯文本格式，但是体部不一定，要根据 Content-type 来进 行确定，在本次实验中包含了.jpg 等其他格式。

- POST 方法传递的数据是放在头部还是体部？两个字段是用什么符号连接起来的？

  放在体部，两个字段之间是用&符号连接起来的。

七、 讨论、心得

本次使用 csapp 库来进行较为底层的网络操作。对 Web 工作方式有了更深的了解。另，本地测试过程中，wireshark 一直抓不到包，后来发现不能用 Wifi 设备去监听，而是需要从 loopback 接口去抓包。