北 京 科 技 大 学

计算机网络课程设计报告

学　　院：_____

班　　级：_____

姓　　名：同学 1　同学 2　同学 3

学　　号：学号 1　学号 2　学号 3

成　　绩：_____

指导教师签字：_____

2021 年 4 月

北京科技大学实验报告

学院：计算机与通信工程学院　　专业：　计算机科学与技术　　班级：　计科 184

姓名：张ＸＸ，王ＸＸ　　学号：41000000, 41000000　　实验日期：　2019　年 4　月

实验名称：计算机网络课程设计

实验目的：

将书本上抽象的概念与具体实现技术结合，通过网络软件编程的实践， 深入理解理论课上学习到的计算机网络基本原理和重要协议，通过自己动手编程封装与发送这些协议的数据包，加深对网络协议的理解，掌握协议传输单元的结构和工作原理及其对协议栈的贡献。

实验仪器：

实验硬件设备：

实验软件要求：

小组成员及分工：

张ＸＸ，负责
王ＸＸ，负责
李ＸＸ，负责

实验原理：

题目 1 实验原理：

数据包的封装发送和解析（ARP/ICMP/TCP），网络协议栈的多种协议都有自己的功能，协议包括语义、语法和同步三个要素，不同的网络协议其分组的首部格式不同，必须按照协议规定的格式封装（发送）和理解（接收）数据分组首部，才能使得不同站点的计算机按照规定的方式相互通信。ARP 协议是 IP 地址和 MAC 地址解析协议；ICMP 是控制 IP 数据包传递的协议；TCP 是面向连接的可靠的传输层协议，它们均有自己固定的分组首部格式。

本实验中使用 WinPcap 技术或 Socket 技术，根据 ARP/ICMP/TCP 协议数据单元的结构和封装规则，封装数据帧发送到局域网中。另外要捕获网络中的 ARP/ICMP/TCP 数据包，解析数据包的内容，并显示结果，同时写入日志文件。

题目 2 实验原理：（200~300 字）

实验内容与步骤：

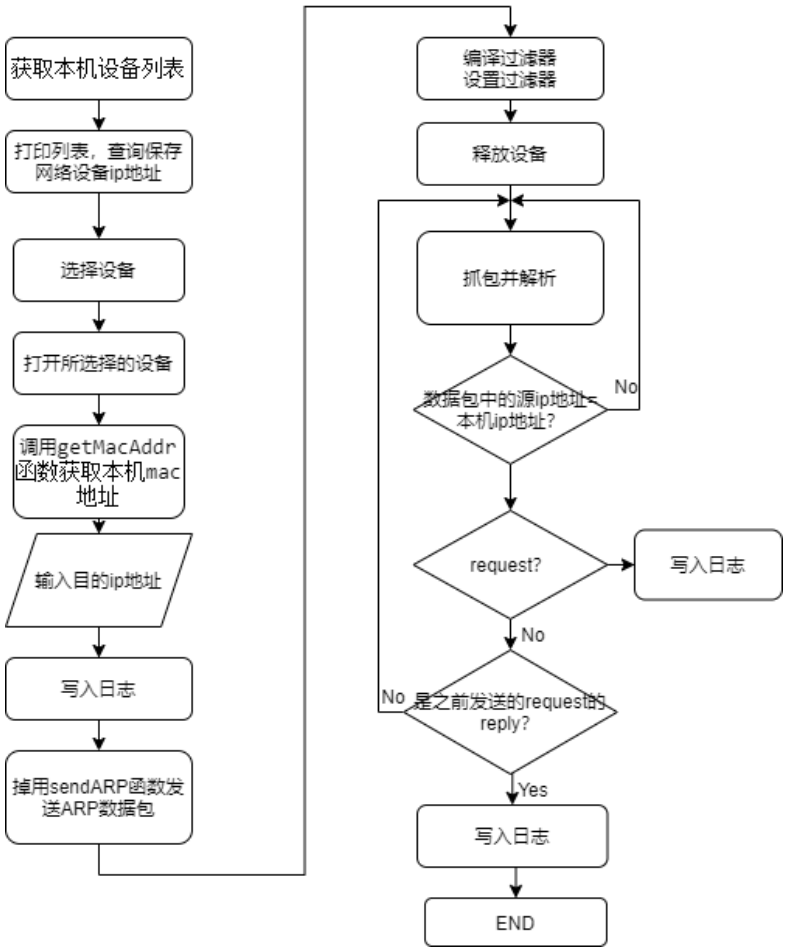
题目 1：数据包的封装发送和解析（ARP/ICMP/TCP）

（1）实验内容

- 根据 ARP 协议数据的结构，封装成数据帧发送给另一台计算机；
- 捕获网络中包含 ARP 协议数据的数据帧，解析协议数据的内容，并在标准输出中显示报文首部字段的内容，同时写入日志文件。
- 以命令行或图形界面形式运行程序。
- 开启 Wirshark 抓包软件，核对本地计算机发出与收到的数据分组。

（2）主要步骤（详细的实验步骤（系统/方法/算法等），图文结合）

主体函数



获取本机设备列表,如果获取失败输出 Error in pcap_findalldevs，并退出程序

```
    pcap_if_t* alldevs;   //所有网络适配器
      pcap_if_t* d;   //选中的网络适配器
      int inum;   //选择网络适配器
```

```
	int i = 0;   //for 循环变量

	if (pcap_findalldevs(&alldevs, errbuf) == -1)
	{
		fprintf(stderr, "Error in pcap_findalldevs: %s\n", errbuf);
		fprintf(fp, "Error in pcap_findalldevs: %s\n", errbuf);
		exit(1);
	}
```

打印列表，同时写入日志文件

```
	for (d = alldevs; d; d = d->next)
	{
		printf("%d. %s", ++i, d->name);
		fprintf(fp, "%d. %s", i, d->name);
		if (d->description) {
			printf(" (%s)\n", d->description);
			fprintf(fp, " (%s)\n", d->description);
		}
		else {
			printf(" (No description available)\n");
			fprintf(fp, " (No description available)\n");
		}
		//查询并保存网络设备的 ip 地址
		char* str = (char*)"0.0.0.0";
		for (pcap_addr_t* a = d->addresses; a; a = a->next) {
			if (a->addr->sa_family == AF_INET) {
				if (a->addr) {
					str = iptos(((struct sockaddr_in*)a->addr)->sin_addr.s_addr, i);
					break;
				}
			}
		}
		printf("   IP Address: %s\n", str);
		fprintf(fp, "   IP Address: %s\n", str);
	}

	if (i == 0)
	{
		printf("\nNo interfaces found! Make sure WinPcap is installed.\n");
		return -1;
	}
```

输入所要选择的设备序号

```
printf("\nEnter the interface number (1-%d):", i);
fprintf(fp, "\nEnter the interface number (1-%d):", i);
scanf_s("%d", &inum);
fprintf(fp, "%d\n", inum);
```

如果输入的序号错误，释放设备列表，结束程序

```
if (inum < 1 || inum > i)
{
	printf("\nInterface number out of range.\n");
	fprintf(fp, "\nInterface number out of range.\n");
	/* 释放设备列表 */
	pcap_freealldevs(alldevs);
	return -1;
}
```

由于 alldevs 是一个链表，故通过 for 循环，跳转到选中的适配器

```
for (d = alldevs, i = 0; i < inum - 1; d = d->next, i++);
```

打开设备，若打开失败，释放设备列表，结束程序

```
if ((adhandle = pcap_open(d->name,          // 设备名
	65536,              // 65535 保证能捕获到不同数据链路层上的每个数据包的全部内容
	PCAP_OPENFLAG_PROMISCUOUS,    // 混杂模式
	1000,               // 读取超时时间
	NULL,               // 远程机器验证
	errbuf              // 错误缓冲池
)) == NULL)
{
	fprintf(stderr, "\nUnable to open the adapter. %s is not supported by WinPcap\n", d->name);
	fprintf(fp, "\nUnable to open the adapter. %s is not supported by WinPcap\n", d->name);
	/* 释放设备列表 */
	pcap_freealldevs(alldevs);
	return -1;
}
```

通过 getMacAddr 函数获取所选的设备 mac 地址，若成功获取则 res=0，反之 res=1

```
int res = getMacAddr(inum);
```

若 getMacAddr 函数未能自动获取到本机 mac 地址，手动输入

```
	if (res != 0) {
		printf("Cannot get MAC address automatically, please input MAC address: ");
		fprintf(fp, "Cannot get MAC address automatically, please input MAC address: ");
		u_int temp;
		for (i = 0; i < 6; i++) {
			scanf_s("%d", &temp);
			net_mac_addr[i] = temp;
			fprintf(fp, "%d ", temp);
		}
		fprintf(fp, "\n");
	}
```

输入目的 ip 地址

```
	printf("Input the IP Address of destination: ");
	fprintf(fp, "Input the IP Address of destination: ");
	u_int temp;
	for (i = 0; i < 4; i++) {
		scanf_s("%d", &temp);
		dst_ip[i] = temp;
		fprintf(fp, "%d ", temp);
	}
	fprintf(fp, "\n");
```

打印输出适配器的 mac 地址，目的 ip 地址，本机 ip 地址，并写入日志文件

```
	printf("\nThe MAC Address of Adapter %d: ", inum);
	fprintf(fp, "\nThe MAC Address of Adapter %d: ", inum);
	printAddr(net_mac_addr, MACADDR);

	printf("The IP Address of Adapter %d: ", inum);
	fprintf(fp, "The IP Address of Adapter %d: ", inum);
	printAddr(net_ip_addr[inum], IPADDR);
	printf("The IP Address of destination: ");
	fprintf(fp, "The IP Address of destination: ");
	printAddr(dst_ip, IPADDR);
```

通过 sendARP 函数发送 ARP 数据包，若发送成功则 res=0，反之 res=1

```
	res = sendARP(net_ip_addr[inum], dst_ip);

	if (res == 0) {
		printf("\nSend packet successfully\n\n");
		fprintf(fp, "\nSend packet successfully\n\n");
	}
```

```
	else {
		printf("Failed to send packet due to: %d\n", GetLastError());
		fprintf(fp, "Failed to send packet due to: %d\n", GetLastError());
	}
```

过滤器设置

```
	netmask = ((sockaddr_in*)((d->addresses)->netmask))->sin_addr.S_un.S_addr;
	pcap_compile(adhandle, &fcode, filter, 1, netmask);	//编译过滤器
	pcap_setfilter(adhandle, &fcode); //设置过滤器
```

释放设备列表并开始抓包

```
	pcap_freealldevs(alldevs);

	i = 0;

	printf("Catching packets...\n\n");
	fprintf(fp, "Catching packets...\n\n");
```

抓包并解析，由于 ARP 包封装在 MAC 帧，MAC 帧首部占 14 字节，故 arpheader 偏移 14 字节，若所抓取的数据包源 ip 地址不等于本机 ip 地址，则继续抓包，直到抓到源 ip 地址等于本机 ip 地址的数据包，继续解析，若是 request，则写入日志文件并继续抓包，若是之前 request 的 reply 则停止抓包

```
	int begin = -1;
	//获取数据包并解析
	while (res = pcap_next_ex(adhandle, &header, &pkt_data) >= 0) {
		//超时
		if (res == 0) {
			continue;
		}

		//解析 ARP 包，ARP 包封装在 MAC 帧，MAC 帧首部占 14 字节
		ArpHeader* arpheader = (ArpHeader*)(pkt_data + 14);
		if (begin != 0) {
			begin = memcmp(net_ip_addr[inum], arpheader->sip, sizeof(arpheader->sip));
			if (begin != 0) {
				continue;
			}
		}
		//获取时间戳
		local_tv_sec = header->ts.tv_sec;
		ltime = localtime(&local_tv_sec);
```

```
            strftime(timestr, sizeof(timestr), "%H:%M:%S", ltime);
            printf("(%s) ", timestr);
            fprintf(fp, "(%s) ", timestr);

            printf("message %d:\n", ++i);
            fprintf(fp, "message %d:\n", i);
            //设置标志，当收到之前发送的 request 的 reply 时结束捕获
            bool ok = false;
            if (arpheader->op == 256) {
                  printf("request message.\n");
                  fprintf(fp, "request message.\n");
            }
            else {
                  printf("reply message.\n");
                  fprintf(fp, "reply message.\n");
                  //如果当前报文时 reply 报文，则通过比较 ip 来判断是否时之前
发送的 request 对应的 reply
                  if       (memcmp(arpheader->dip,       net_ip_addr[inum],
sizeof(arpheader->dip)) == 0) {
                        memcpy(dst_mac, arpheader->smac, 6);
                        ok = true;
                  }
            }
```

将 ARP 数据包中的信息打印输出并写入日志文件

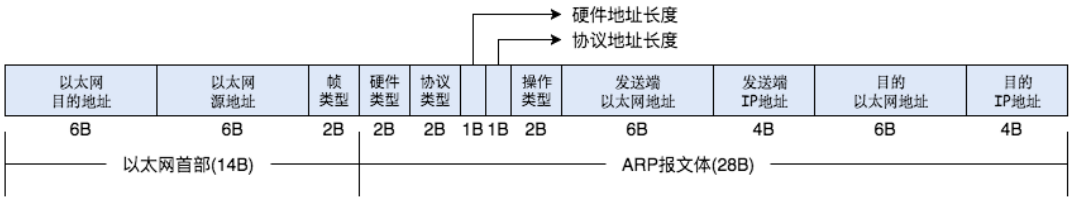
```
            //获取以太网帧长度
            printf("ARP packet length: %d\n", header->len);
            fprintf(fp, "ARP packet length: %d\n", header->len);

            //打印源 mac
            printf("source mac: ");
            fprintf(fp, "source mac: ");
            printAddr(arpheader->smac, MACADDR);
            //打印源 ip
            printf("source ip: ");
            fprintf(fp, "source ip: ");
            printAddr(arpheader->sip, IPADDR);
            //打印目的 mac
            printf("destination mac: ");
            fprintf(fp, "destination mac: ");
            printAddr(arpheader->dmac, MACADDR);
            //打印目的 ip
            printf("destination ip: ");
            fprintf(fp, "destination ip: ");
```

```
            printAddr(arpheader->dip, IPADDR);

            printf("\n\n");
            fprintf(fp, "\n\n");
            if (ok) {
                  printf("Get the MAC address of destination: ");
                  fprintf(fp, "Get the MAC address of destination: ");
                  printAddr(dst_mac, MACADDR);
                  printf("\nEnd of catching...\n\n");
                  fprintf(fp, "\nEnd of catching...\n\n");
                  break;
            }
      }
```

关闭文件流，结束程序

```
      fclose(fp);
      getchar();
      return 0;
```

定义 ARP 协议格式




```
    #define ETH_ARP         0x0806  //以太网帧类型表示后面数据的类型，对于 ARP 请求或应答来说，该字段的值为 x0806
    #define HARDWARE    1  //硬件类型字段值为表示以太网地址
    #define ETH_IP          0x0800  //协议类型字段表示要映射的协议地址类型值为 x0800 表示 IP 地址

    //14 字节以太网首部
    struct EthHeader
    {
       u_char DestMAC[6];
       u_char SourMAC[6];
       u_short EthType;
    };


    //28 字节 ARP 帧结构
    struct ArpHeader
```

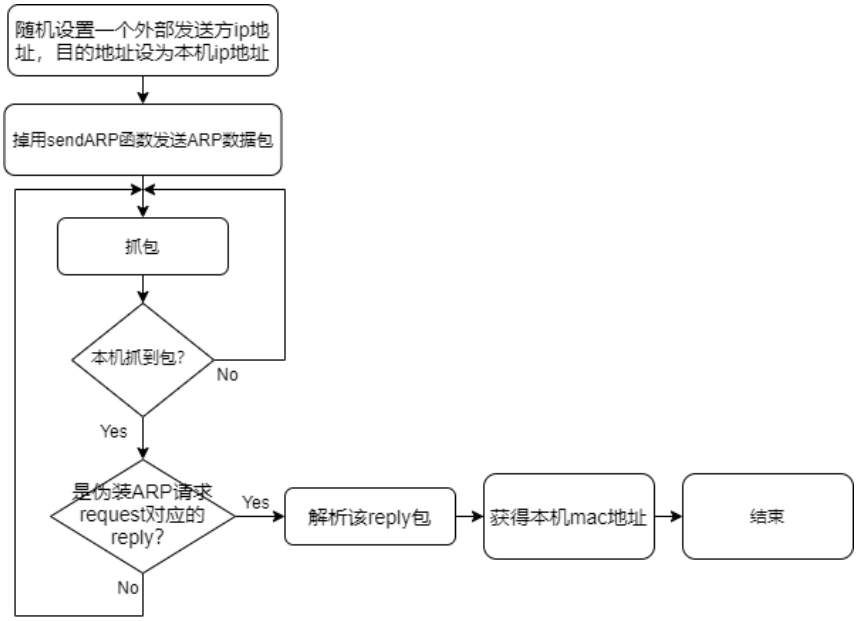
```
    {
        unsigned short hdType;
        unsigned short proType;
        unsigned char hdSize;
        unsigned char proSize;
        unsigned short op;
        u_char smac[6];
        u_char sip[4];
        u_char dmac[6];
        u_char dip[4];
    };

    //定义整个 arp 报文包，总长度 42 字节
    struct ArpPacket {
        EthHeader ed;
        ArpHeader ah;
    };
```

封装 ARP 数据包并广播发送

```
    int sendARP(u_char * src_ip, u_char * dst_ip)
    {
        unsigned char sendbuf[42]; //arp 包结构大小，42 个字节
        EthHeader eh;
        ArpHeader ah;
        memcpy(eh.DestMAC, dst_mac, 6);          //以太网首部目的 MAC 地址，全为
广播地址
        memcpy(eh.SourMAC, net_mac_addr, 6);//以太网首部源 MAC 地址
        memcpy(ah.smac, net_mac_addr, 6);   //ARP 字段源 MAC 地址
        memcpy(ah.dmac, dst_mac, 6);             //ARP 字段目的 MAC 地址
        memcpy(ah.sip, src_ip, 4);               //ARP 字段源 IP 地址
        memcpy(ah.dip, dst_ip, 4);               //ARP 字段目的 IP 地址
        eh.EthType = htons(ETH_ARP);             //htons：将主机的无符号短整形数
转换成网络字节顺序
        ah.hdType = htons(HARDWARE);
        ah.proType = htons(ETH_IP);              //上层协议设置为 IP 协议
        ah.hdSize = 6;
        ah.proSize = 4;
        ah.op = htons(REQUEST);
        memset(sendbuf, 0, sizeof(sendbuf));   //ARP 清零
        memcpy(sendbuf, &eh, sizeof(eh));
        memcpy(sendbuf + sizeof(eh), &ah, sizeof(ah));
        return pcap_sendpacket(adhandle, sendbuf, 42);  // 发送 ARP 数据包并返回
发送状态
```

```
}
```

通过构造一个外来 ARP 请求获取当前网卡的 MAC 地址




```
int getMacAddr(int curAdapterNo)
{
	u_char src_ip[4] = { 0x12, 0x34, 0x56, 0x78 };  //随机一个外部发送方的ip地址
	u_char dst_ip[4];
	memcpy(dst_ip, net_ip_addr[curAdapterNo], 4);   //目的 ip 地址设置为本机的适配器 id
	memcpy(net_mac_addr, random_mac, 6);                    //外部发送方的mac 地址设置为随机的 mac 地址
	int res = sendARP(src_ip, dst_ip);
	if (res != 0) {
		return -1;
	}
	while (res = pcap_next_ex(adhandle, &header, &pkt_data) >= 0) {
		if (res == 0) {
			continue;
		}
		ArpHeader* arph = (ArpHeader*)(pkt_data + 14);
		if (arph->op != 256) {
			if (memcmp(arph->dip, src_ip, sizeof(src_ip)) == 0) {  //收到了伪装 ARP 请求 request 对应的 reply，解析该 reply 包获得本机 mac 地址
				memcpy(net_mac_addr, arph->smac, 6);
				break;
			}
		}
```

```
    }
    return 0;
}
```

题目 2：多线程 Web 服务器

（1）实验内容

设计并实现一个 WEB 服务器，可并行服务处理多个请求，实现 HTTP1.0 的功能。在后台运行服务器程序。

使用 Socket API 或 WinPcap 技术。

主线程监听客户机的连接建立请求，为每次请求主线程监听客户机的连接建立请求，为每次请求/响应创建一个单独的响应创建一个单独的 TCP 连接，一个单独的线程将处理这些连接。

用浏览器打开，显示请求页面内容即可；如有差错，则显示出错信息。用浏览器打开，显示请求页面内容即可；如有差错，则显示出错信息。

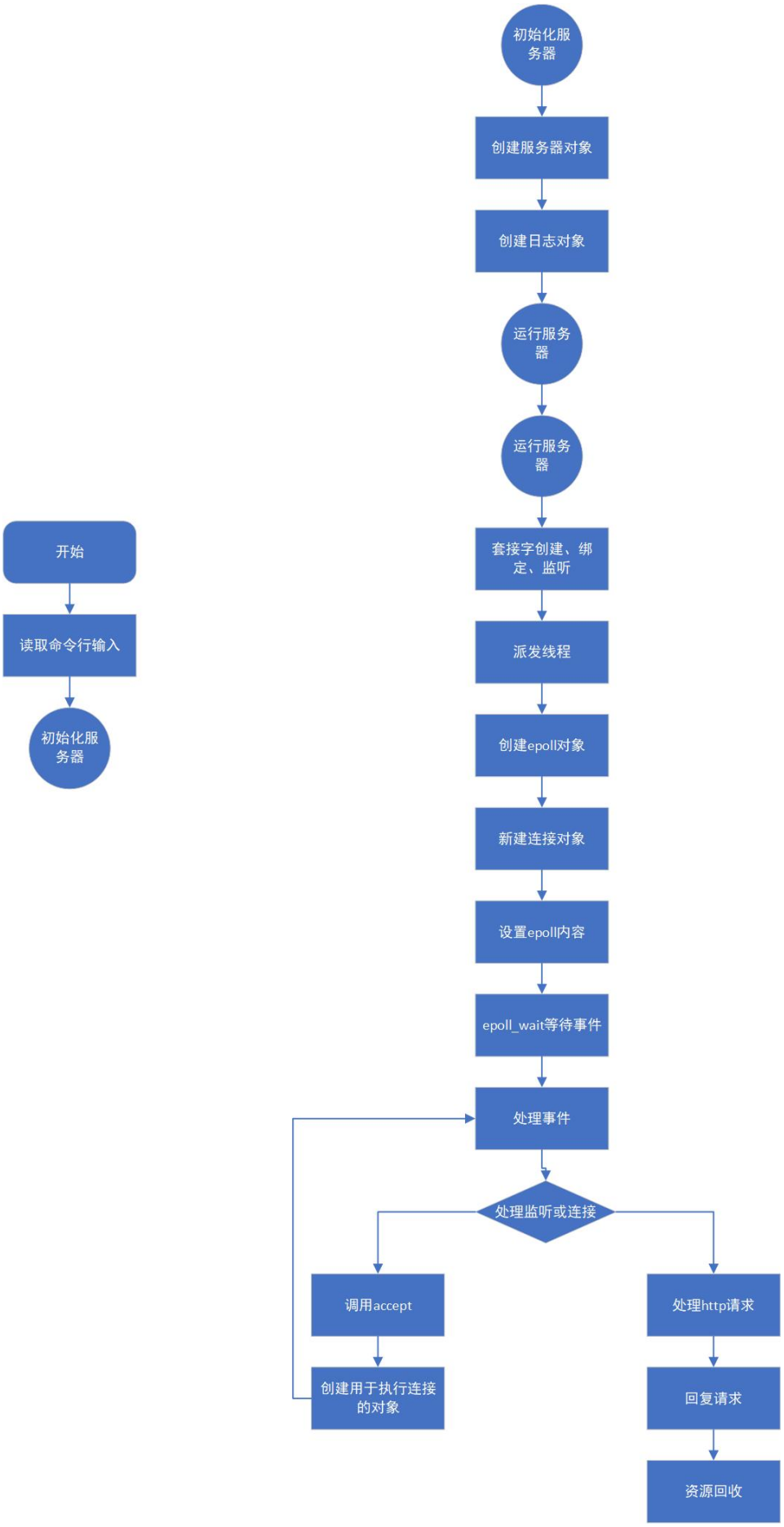
（2）主要步骤

项目目录结构及注解如下：

```
web
├── async_
├── build.sh 编译脚本
├── home
│   ├── logs 存放日志文件
│   └── webhome 存放静态资源文件
│       ├── 404.html
│       ├── img
│       │   └── title.png
│       ├── index.html
│       ├── news.html
│       └── test.html
├── http 存放处理 http 请求的相关函数文件
│   ├── http.cpp
│   ├── http.h
│   ├── http_error.h
│   ├── http_util.cpp
│   ├── http_util.h
│   └── SConscript.py
├── lib 存放依赖文件
│   ├── buffer.cpp
│   ├── buffer.h
│   ├── buffer.hpp
```

```
│   ├── daemon.c
│   ├── daemon.h
│   ├── fileio.c
│   ├── fileio.h
│   ├── hsy_flock.h
│   ├── hsy_path.h
│   ├── hsy_process.h
│   ├── hsy_string.h
│   ├── hsy_time.h
│   ├── list.cpp
│   ├── list.h
│   ├── max_heap.h
│   ├── path.cpp
│   ├── SConscript.py
│   ├── serror.h
│   ├── socket.c
│   └── socket.h
├── log 存放生成日志的相关函数文件
│   ├── log.cpp
│   ├── log.h
│   └── SConscript.py
├── rbtree 存放红黑树相关函数文件
│   ├── rbtree.cpp
│   ├── rbtree.h
│   └── SConscript.py
└── server 存放服务器运行相关函数文件
    ├── async
    ├── async_handler.cpp
    ├── async_handler.h
    ├── async_server.cpp
    ├── async_server.h
    ├── conn_ctx.h
    ├── epoll.cpp
    ├── epoll.h
    ├── main.cpp
    └── SConstruct.py
```

运行流程图如下：


开始
读取命令行输入
初始化服务器
初始化服务器
创建服务器对象
创建日志对象
运行服务器
运行服务器
套接字创建、绑定、监听
派发线程
创建epoll对象
新建连接对象
设置epoll内容
epoll_wait等待事件
处理事件
处理监听或连接
调用accept
创建用于执行连接的对象
处理http请求
回复请求
资源回收

server\main.cpp

程序入口，设置主机地址、端口号、home 文件目录、线程数，并调用初始化服务器函数和启动服务器函数。

```
    int main(int argc ,char * argv[])
    {
        bool is_nostub = false;
        int port = 8989,ret,thread_num = 0;
        char * host = "82.156.86.176", *home = "home";

        port = atoi(argv[1]);
        std::cout << "host:" << host << ",port:" << port << ",home:" << home <<
",thread_num:" <<thread_num <<"\n";

        //init the server including socket bind and listen
        if(init_async_server(is_nostub,home,thread_num)){
            perror("init server error\n");
            return EXIT_FAILURE;
        }
       std::cout << "init server ok\n";

        //run the server
        if(start_async_server(port)){
            perror("start server error\n");
            ret = EXIT_FAILURE;
            if (cleanup_async_server()) {
                perror("clean up server error\n");
                return EXIT_FAILURE;
            }

            return ret;
        }
        ret = EXIT_SUCCESS;

        if(cleanup_async_server()){
            perror("clean up server error\n");
            return EXIT_FAILURE;
        }

        return ret;
    }
```

server\async_server.cpp

在此处进行初始化服务器和启动服务器的相关操作。初始化服务器主要工

作是创建 Async_server_ctx 对象和日志对象，其中包含了连接超时、epoll 超时、日志文件指针等常量的设置。启动服务器的主要工作是派发监听线程和处理线程，主要使用自行定义的 lx_listen()、do_service()函数和 pthread_create()、pthread_detach()来完成。

```
int init_async_server(bool is_nostub, const char * home,int thread_num)
{
    char buff[1024];
    int ret = 0;
    global_ctx = new Async_server_ctx(12000, 12000, 200, is_nostub);
    if(global_ctx == NULL)
    {
        perror("malloc in init error\n");
        return -1;
    }

    if(home)
        g_home = (char *)home;


    if(snprintf(buff,1024,"%s/%s",g_home, g_loghome) <=0){
        perror("snprintf log path error");
        pthread_mutex_destroy(&global_ctx->getmutex());
        if (global_ctx != NULL)
            delete(global_ctx);
        global_ctx = NULL;
    }

    global_ctx->setlog(new log::Log(buff, "access.log", LX_LOG_DEBUG, 1, 1,
0));
    global_ctx->getlog()->setdailyarg(global_ctx->getasarg());
    global_ctx->getlog()->setarg(&(global_ctx->getasarg()));
    global_ctx->getlog()->setplock(0);
    global_ctx->getlog()->settlock(1);
    if ( thread_num <= 0 && (thread_num = sysconf(_SC_NPROCESSORS_ONLN) ) <
0){
            perror("get cpu core number error");
            ret = -1;
            global_ctx->getlog()->cleanup();
            pthread_mutex_destroy(&global_ctx->getmutex());
            if (global_ctx != NULL)
                delete(global_ctx);
            global_ctx = NULL;
            return -1;
```

```
        }
        global_ctx->setthreadnum(thread_num);

        return 0;
    }

       int start_async_server(int port)
    {
        int i,ret,listen_fd ;
        pthread_t tid;
        if( (listen_fd = lx_listen(port)) < 0 ){
            global_ctx->getlog()->logerror("lx_listen        error[%d:%s]",ret,
strerror(ret));
            return -1;
        }
        for(i = 0; i < global_ctx->getthreadnum(); ++i){
           if( ret = pthread_create(&tid, NULL,do_service,(void *)listen_fd )){
                global_ctx->getlog()->logerror("pthread_create
error[%d:%s]",ret, strerror(ret));
                return -1;
           }
           if( ret = pthread_detach(tid)){
                global_ctx->getlog()->logerror("pthread_detach
error[%d:%s]",ret, strerror(ret));
                return -1;
           }

           global_ctx->getlog()->loginfo("server %ld start",(long)tid);
        }

        global_ctx->getlog()->loginfo("Starting server succeed. The number of
working threads is %d",global_ctx->getthreadnum());

        while (1)
            sleep(5);

        if(listen_fd >=0)
            close(listen_fd);

        return 0;
    }
```

lib\socket.c

lx_listen()函数的主要工作是用 socket(),bind(),listen()函数，建立套接口，绑定套接口并创建监听套接口，返回值是套接口的文件描述符。

```
int lx_listen( short port)
{
    const int on = 1;
    int listen_fd = -1;
    struct sockaddr_in addr;
    if(lx_block_sigpipe())
    {
        if (listen_fd >= 0)
            close(listen_fd);
        return -1;
    }

    listen_fd = socket(PF_INET,SOCK_STREAM,0);
    if(listen_fd == -1)
    {
        if (listen_fd >= 0)
            close(listen_fd);
        return -1;
    }

    if(setsockopt(listen_fd,SOL_SOCKET,SO_REUSEADDR,&on,sizeof(on)))
    {
        if (listen_fd >= 0)
            close(listen_fd);
        return -1;
    }

    memset(&addr,0,sizeof(addr));
    addr.sin_family = PF_INET;
    addr.sin_port = htons(port);
    addr.sin_addr.s_addr = htonl(INADDR_ANY);
    if(bind(listen_fd,(struct sockaddr *)&addr,sizeof(addr)))
    {
        if (listen_fd >= 0)
            close(listen_fd);
        return -1;
    }

    if (listen(listen_fd, SOMAXCONN))
    {
        if (listen_fd >= 0)
```

```
                close(listen_fd);
            return -1;
        }
        return listen_fd;

    }
```

server\async_server.cpp

do_service()函数主要功能是调用 epoll_create()创建 epoll 对象，新建 Async_conn_ctx 连接对象（其中包括 listen_handle 实现 accept()），调用 epoll_wait()函数等待事件，并完成对监听到的事件的处理。这里我们使用了红黑树来实现定时器。

```
       void* do_service(void * arg)
    {
        int ret = 0, ep_fd = -1,listen_fd = -1;
        struct epoll_event *events = NULL;
        Async_conn_ctx* listen_ctx = NULL;
        rbtree::RbTree_t timer;
        //timer.root = new rbtree::RbTreeNode();
        //timer.nil = *(timer.root);
        timer.nil = *(new rbtree::RbTreeNode());
        timer.root = &(timer.nil);
        //lx_rbtree_init(&timer,malloc,free);
        listen_fd = (int)(long)arg;

        if( (ep_fd = epoll_create(20)) < 0 ){
            global_ctx->getlog()->logerror("epoll_create error");
            return NULL;
        }

        if( (events = (struct epoll_event *)malloc(global_ctx->getmaxevent() *
sizeof(struct epoll_event) ) )
            == NULL){
            global_ctx->getlog()->logerror("malloc epoll events error");
            ret = -1;
            if (timer.root)
            {
                delete(timer.root);
                timer.root = nullptr;
            }
            if (ep_fd >= 0)
                close(ep_fd);

            if (events)
```

```
                free(events);

            if (listen_ctx)
            {
                delete(listen_ctx);
                listen_ctx = nullptr;
            }
            return NULL;
        }

        listen_ctx    =    new    Async_conn_ctx(ep_fd,    listen_fd,    &timer,
listen_handle);
        listen_ctx->setstage(STAGE_LISTENING);

        if(    lx_set_epoll(ep_fd,listen_fd,listen_ctx,EPOLLIN|EPOLLET,    true,
true)){
            global_ctx->getlog()->logerror("lx_set_epoll error" );
            ret = -1;
            if (timer.root)
            {
                delete(timer.root);
                timer.root = nullptr;
            }
            if (ep_fd >= 0)
                close(ep_fd);

            if (events)
                free(events);

            if (listen_ctx)
            {
                delete(listen_ctx);
                listen_ctx = nullptr;
            }
            return NULL;
        }

        for(;;){
            ret          =          epoll_wait(ep_fd,events,          global_ctx-
>getmaxevent(),global_ctx->gettimeout());
            if(ret < 0){
                if(errno != EINTR){
                    global_ctx->getlog()->logerror("epoll_wait error");
                    ret = -1;
```

```
                break;
            }else
                continue;
        }else if(ret > 0)
      //      std::cout << "doing handle_events" << std::endl;
            handle_events(ep_fd,events,ret,&timer);
    }
    if(ret != -1)
        ret = 0;

    if(timer.root)
    {
          delete(timer.root);
       timer.root = nullptr;
    }
    if(ep_fd >=0)
        close(ep_fd);

    if(events)
        free(events);

    if (listen_ctx)
    {
        delete(listen_ctx);
       listen_ctx = nullptr;
    }
    return NULL;
}
```

server\async_handler.cpp

handle_events()函数的功能是利用红黑树管理连接对象，包括删除超时的连接。

listen_handle()函数中调用 accept()，并创建了新的连接对象。

conn_handle()函数对请求进行处理，连接对象有不同的 stage，包括 STAGE_START, STAGE_REQ_HEAD, STAGE_REQ_BODY, STAGE_RESP_HEAD, STAGE_RESP_BODY，具体实现细节在 req_head_handle(), req_body_handle(), resp_head_handle(),resp_body_handle()中。

```
    int handle_events(int ep_fd,struct epoll_event * events, int nevent, rbtree::RbTree_t* timer)
{
    int i = 0, ret = 0;
    uint64_t key_temp;
    char ebuff[1024] ,*pebuff;
    Async_conn_ctx* cctx;
```

```
        rbtree::RbTreeNode * n;
        //if (nevent) printf("handle events ,nevent :%d\n",nevent);
        std::cout << "nevent:"<<nevent<<std::endl;
        for(; i < nevent;++i){
            cctx = (Async_conn_ctx*)events[i].data.ptr;
            cctx->setevents(events[i].events);

            pebuff = lx_get_events(cctx->getevents(),ebuff,1024 );
            //printf("events flags:%s\n",pebuff);

            ret = cctx->handle(cctx);
        }

        key_temp = (uint64_t)get_micros();
        while(1)
        {
            n = rbtree::rbTree_min(timer,timer->root);
            if(n != nullptr && n != &timer->nil )
            {

                if(n->getkey() == 0)
                {
                    std::cout << "you\n";
                }

                if (n->getkey() < key_temp)
                {
                    uint64_t key = n->getkey();

                    global_ctx->getlog()->loginfo("timer:connection timeout");
                    //printf("delete  key  in  timer  check:%lu\n",(unsigned
long)n->key);

                    remove_conn((Async_conn_ctx*)n->getdata());
                    if(rbtree::rbTreeNode_delete(timer,n->getkey()) != 0)
                    {
                        global_ctx->getlog()->logfatal("timer:  cannot  find
key %lu for delete",(unsigned long) key);
                    }



                }
                else
                {
```

```
                    break;
                }
            }
            else
            {
                break;
            }
        }
        return 0;
    }

    int listen_handle(Async_conn_ctx* arg)
    {
        int ret = 0,fd = -1;
        socklen_t addrlen = 0;
        struct sockaddr_in addr;
        Async_conn_ctx* cctx = NULL;
        uint64_t l_temp;
        if(arg->getevents() & EPOLLERR ){
            global_ctx->getlog()->logerror("listen fd from epoll error");
            return 0;
        }

        addrlen = sizeof(struct sockaddr_in);
        if(pthread_mutex_trylock(&global_ctx->getmutex()) == 0){
           std::cout<< "start to accept"<<std::endl;
            fd = accept(arg->getfd(),(struct sockaddr *)&addr, &addrlen);
            if(pthread_mutex_unlock(&global_ctx->getmutex())){
                 global_ctx->getlog()->logerror("%s:pthread_mutex_unlock
error",__FUNCTION__);
            ret =  -1;
             if (cctx)
                 delete(cctx);

             if (fd >= 0) {
                 close(fd);
             }
             return ret;
            }
        }else{
            return 0;
        }

        if(fd < 0){
```

```
            if(errno == EAGAIN|| errno == EWOULDBLOCK) {
                //g_ctx->log.logdebug(&g_ctx->log,"accept   return   again   or
block,%d:%s",errno,strerror(errno));
                return 0;
            }else{
                global_ctx->getlog()->logerror("accept error");
                return 0;
            }
        }
        cctx = new Async_conn_ctx(arg->getepfd(), fd, arg->gettimer(), addr,
conn_handle);

        if(lx_set_epoll(arg->getepfd()                                    ,cctx-
>getfd(),cctx,EPOLLIN|EPOLLET,true,true)){
            global_ctx->getlog()->logerror("set_epoll error");
            ret = -1;
            if (cctx)
                delete(cctx);

            if (fd >= 0) {
                close(fd);
            }
            return ret;
        }
        l_temp = get_micros() + global_ctx->getconntimeout()*1000;
        std::cout << "the timeout of new node = " << l_temp << std::endl;
        while(rbtree::rbTreeNode_insert(arg->gettimer(),(uint64_t)l_temp,
cctx) != 0){
            l_temp += 1;
       std::cout << "l_temp + 1 succeed"<< std::endl;
        }
        cctx->settimeout(l_temp);
        //printf("insert key:%lu\n",(unsigned long)l_temp);

        printf("listen handle call end\n");
        return 0;

    }

    int conn_handle(Async_conn_ctx* arg)
    {
        int ret;
        rbtree::RbTree_t* root;
        uint64_t key;
```

```
        if(arg->getevents() & EPOLLERR || arg->getevents() & EPOLLHUP){
            global_ctx->getlog()->logerror("%s:connection                error
occur",__FUNCTION__);
            root = arg->gettimer();
            key = (uint64_t)arg->gettimeout();
            ret = rbtree::rbTreeNode_delete(root, key);
            remove_conn(arg);
            arg = nullptr;
            return 0;
         }
        switch(arg->getstage()){

        case STAGE_START:
            arg->setstage(STAGE_REQ_HEAD);

        case STAGE_REQ_HEAD:
            if ((ret = req_head_handle(arg)) == HANDLE_NEED_MORE)
            {
                return 0;
            }
            else if(ret == HANDLE_ERR)
            {
                root = arg->gettimer();
                key = (uint64_t)arg->gettimeout();
                ret = rbtree::rbTreeNode_delete(root, key);
                remove_conn(arg);
                arg = nullptr;
                return 0;
            }
            arg->setstage(STAGE_REQ_BODY);
            arg->setcontlen(0);
            arg->setinoutlen(0);
    /*
            if(http_print_http(&(*this)._req_ctx)){
                g_ctx->log.logerror(&g_ctx->log,"print_pare_info error");
            }
    */
        case STAGE_REQ_BODY:
            if ((ret = req_body_handle(arg)) == HANDLE_NEED_MORE)
            {
                return 0;
            }
```

```
            else if(ret == HANDLE_ERR)
            {
                root = arg->gettimer();
                key = (uint64_t)arg->gettimeout();
                ret = rbtree::rbTreeNode_delete(root, key);
                remove_conn(arg);
                arg = nullptr;
                return 0;
            }
            arg->setstage(STAGE_RESP_HEAD);
            arg->getdatabuff()->setoffset(0);
            arg->getdatabuff()->setlen(0);
            if(lx_set_epoll(arg->getepfd(),          arg->getfd(),          arg,
EPOLLOUT|EPOLLET, true, false)){
                global_ctx->getlog()->logerror("%s:lx_set_epoll
error",__FUNCTION__);
                root = arg->gettimer();
                key = (uint64_t)arg->gettimeout();
                ret = rbtree::rbTreeNode_delete(root, key);
                remove_conn(arg);
                arg = nullptr;
                return 0;
            }
            return 0;

        case STAGE_RESP_HEAD:
            if ((ret = resp_head_handle(arg)) == HANDLE_NEED_MORE)
            {
                return 0;
            }
            else if (ret == HANDLE_ERR)
            {
                root = arg->gettimer();
                key = (uint64_t)arg->gettimeout();
                ret = rbtree::rbTreeNode_delete(root, key);
                remove_conn(arg);
                arg = nullptr;
                return 0;
            }
            arg->setstage(STAGE_RESP_BODY);
            arg->setfh(NULL);

        case STAGE_RESP_BODY:
            if ((ret = resp_body_handle(arg)) == HANDLE_NEED_MORE)
```

```
            {
                return 0;
            }
            else if (ret == HANDLE_ERR)
            {
                root = arg->gettimer();
                key = (uint64_t)arg->gettimeout();
                ret = rbtree::rbTreeNode_delete(root, key);
                remove_conn(arg);
                arg = nullptr;
                return 0;
            }
            arg->setstage(STAGE_DONE);
            record_end_log(arg);
        default:
            root = arg->gettimer();
            key = (uint64_t)arg->gettimeout();
            ret = rbtree::rbTreeNode_delete(root, key);
            remove_conn(arg);
            arg = nullptr;
            return 0;
        }
        //std::cout << "this conn step has finished" << std::endl;
        return 0;
    }
```

server\async_handler.cpp

req_head_handle()对请求头进行处理。主要用到了 http_parse()函数。

```
    int req_head_handle(Async_conn_ctx* arg)
    {
        int ret = 0, read_num = 0, to_read_num = 0;
        char * buff;
        while(1)
        {
            buff = lx_buffer_lenp((arg->getrequest()->getoriginbuff()));
            to_read_num         =         lx_buffer_freenum((arg->getrequest()-
>getoriginbuff()));
             read_num = recv(arg->getfd(), buff, to_read_num, 0);
             if(read_num < 0)
            {
                if(AGAIN_FLAG)
                {
                    return HANDLE_NEED_MORE;
```

```
                }
                else
                {
                        global_ctx->getlog()->logerror("%s:recv
error",__FUNCTION__);
                    return HANDLE_ERR;
                }
            }
            else if(read_num == 0)
            {
                 global_ctx->getlog()->logerror("cannot  get  enough  head
info");
                return HANDLE_ERR;
              }
            else
            {
                arg->getrequest()->getoriginbuff()->setlen(arg->getrequest()-
>getoriginbuff()->getlen() + read_num);
               ret = http_parse(arg->getrequest());
                if( ret == HEC_OK)
                {
                    //copy to data_buff
                    int    tocopy    =    lx_buffer_unscannum(arg->getrequest()-
>getoriginbuff());
                    if(tocopy >= (arg->getdatabuff())->getmaxlen()){
                        global_ctx->getlog()->logerror("req  body  too  big  to
copy to data_buff");
                        return HANDLE_ERR;

                    }
                    Buffer* tmp = arg->getrequest()->getoriginbuff();
                    memcpy(arg->getdatabuff()-
>getbase(),lx_buffer_offsetp(tmp),tocopy);
                    arg->getdatabuff()->setlen(tocopy);

                    return HANDLE_DONE;

                }
                else if( ret == HEC_NEED_MORE)
                    continue;
                else
                {
                    global_ctx->getlog()->logerror("parser error[%d]",ret);
                    return HANDLE_ERR;
```

```
                }
            }
        }

        return 0;
    }
```

server\async_handler.cpp

req_body_handle ()对请求体进行处理。主要用到了 http_get_contlen ()函数。

```
    int req_body_handle(Async_conn_ctx* arg)
    {
        int nleft,to_read_num,read_num ;
        Buffer *data;

        data = arg->getdatabuff();
        arg->setcontlen(http_get_contlen(arg->getrequest()->getinfo()));

        if(arg->getcontlen() <= 0 )
            return HANDLE_DONE;

        if(arg->getinoutlen() == 0){
            arg->setinoutlen(arg->getcontlen()  >  data->getlen()  ?  data->getlen() : arg->getcontlen());
        }

        while(arg->getinoutlen() < arg->getcontlen()){

            nleft = arg->getcontlen() - arg->getinoutlen();
            to_read_num = nleft < data->getmaxlen()? nleft : data->getmaxlen();
            read_num = recv(arg->getfd(),data->getbase(), to_read_num,0);
            if(read_num < 0){
                if(AGAIN_FLAG ){
                    return HANDLE_NEED_MORE;

                }else{
                    global_ctx->getlog()->logerror("%s:recv err",__FUNCTION__);
                    return HANDLE_ERR;

                }
            }else if(read_num == 0){
                global_ctx->getlog()->logerror("%s:can  not  get  enough  req body",__FUNCTION__);
                return HANDLE_ERR;
```

```
            }else{
               std::cout << data->getbase()<< std::endl;
                arg->setinoutlen(read_num + arg->getinoutlen());
            }
        }

        return HANDLE_DONE;

    }
```

server\async_handler.cpp

resp_head_handle ()对响应头进行处理。主要用到了 http_set_prop1() http_set_rcode(),http_set_headers(),http_set_prop3(),http_seri_head() 以及 send()函数。

```
       int resp_head_handle(Async_conn_ctx* arg)
    {
        int ret, send_num,to_send_num;
        int rcode;
        char date[64] ,* uri,*rstr;
        Parser_ctx * response_ctx;
        int temp_num;
        char * headers[] = {
            "Content-Type" ,"text/html",
            "Connection"   ,"Keep-Alive",
            "Server"       ,"ssss/spl 1.0",
            NULL,NULL
        };
        KVListNode* tmp = arg->getresponse()->getinfo()->getheaders();
        response_ctx = arg->getresponse();
        if(arg->getdatabuff()->getlen() == 0){
            if( !(ret = get_browser_time(time(NULL), date, 64))){
                global_ctx->getlog()->logerror("%s:snprintf                date
error",__FUNCTION__);
                return HANDLE_ERR;
            }

            uri  =  arg->getrequest()->getinfo()->geturi()->getbase()  ?  arg-
>getrequest()->getinfo()->geturi()->getbase()  :  arg->getrequest()->getinfo()-
>getbase() + arg->getrequest()->getinfo()->geturi()->getoffset();
            if( uri == NULL || strcmp(uri, "/") == 0)
                uri = "/index.html";
            if(  (ret  =  snprintf(arg->getpath(),  MAX_PATH_LEN,  "%s/%s%s",
g_home, g_whome, uri)) <= 0 ){
```

```
                global_ctx->getlog()->logerror("%s:snprintf                path
error",__FUNCTION__);
                return HANDLE_ERR;

            }

            if( (temp_num = lx_get_fsize(arg->getpath()) )== -1){
                arg->setcontlen(temp_num);
                rcode = 404;
                rstr = "File Not Found";

                global_ctx->getlog()->logerror("uri invalid ,404,uri:%s", uri);

                if( (ret = snprintf(arg->getpath(), MAX_PATH_LEN, "%s/%s%s",
g_home, g_whome, "/404.html")) <= 0 ){
                    global_ctx->getlog()->logerror("%s:snprintf path error,ret
= %d",__FUNCTION__, ret);
                    return HANDLE_ERR;

                }
                if( (temp_num = lx_get_fsize(arg->getpath()))== -1){
                    arg->setcontlen(temp_num);
                    global_ctx->getlog()->logerror("open 404 file error:%s",
arg->getpath());
                    return HANDLE_ERR;

                }
           arg->setcontlen(temp_num);
            }else{
                arg->setcontlen(temp_num);
                rcode = RESP_OK;
                rstr = NULL;
            }
            int tmp_int = arg->getresponse()->getinfo()->getprot();
            Buffer* tmp_prot = arg->getresponse()->getinfo()->getprotstr();
            if(arg->getresponse()->http_set_prop1(P_HTTP_1_1,       h_prot_str,
&tmp_int, tmp_prot))
            {
                global_ctx->getlog()->logerror("set prot error");
                return HANDLE_ERR;
            }

            if( http_set_rcode(arg->getresponse(), rcode, rstr))
            {
```

```
                global_ctx->getlog()->logerror("set resp code error");
                return HANDLE_ERR;

            }
            if(arg->getresponse()->http_set_headers(headers,                arg-
>getcontlen()))
            {
                global_ctx->getlog()->logerror("set headers error");
                return HANDLE_ERR;

            }

            if(response_ctx->http_set_prop3(&tmp,"Date", date, true)){
                global_ctx->getlog()->logerror("set headers error");
                return HANDLE_ERR;

            }

            arg->getdatabuff()->setlen(http_seri_head(response_ctx->getinfo(),
T_RESP, arg->getdatabuff()->getbase(), arg->getdatabuff()->getmaxlen()));

       }

        while( lx_buffer_unscannum(arg->getdatabuff()) > 0  ){
            to_send_num = lx_buffer_unscannum(arg->getdatabuff());
            send_num = send(arg->getfd(),lx_buffer_offsetp(arg->getdatabuff()),
to_send_num,0);
            if(send_num < 0){
                if( AGAIN_FLAG ){
                    return HANDLE_NEED_MORE;

                }else{
                    global_ctx->getlog()->logerror("%s:send             error",
__FUNCTION__);
                    return HANDLE_ERR;
                }
            }else{
                arg->getdatabuff()->setoffset(arg->getdatabuff()->getoffset()+
send_num);
                continue;
            }
        }

        return HANDLE_DONE;
```

```
    }
```

server\async_handler.cpp

resp_body_handle ()对响应体进行处理。主要用到了 fill_send_buff()和 send()函数。

```
       int resp_body_handle(Async_conn_ctx* arg)
    {
        int ret = HANDLE_DONE;
        FILE* tmp;
        if(arg->getfh() == NULL){
            if ((tmp = fopen(arg->getpath(), "rb")) == NULL) {
                std::cout << "fh is null and open fail" << std::endl;
                arg->setfh(tmp);
                global_ctx->getlog()->logerror("%s:open   file   %s   error",
__FUNCTION__, arg->getpath());
                if (arg->getfh() != NULL) {
                    fclose(arg->getfh());
                    arg->setfh(NULL);
                }
                return HANDLE_ERR;

           }
           arg->setfh(tmp);
            arg->getdatabuff()->setoffset(0);
            arg->getdatabuff()->setlen(0);
            arg->setinoutlen(0);
            if(fill_send_buff(arg)){
                global_ctx->getlog()->logerror("%s:fill_send_buff         first
error %s ",__FUNCTION__, arg->getpath());
                if (arg->getfh() != NULL) {
                    fclose(arg->getfh());
                    arg->setfh(NULL);
                }
                return HANDLE_ERR;

            }
            arg->setinoutlen(arg->getinoutlen()      +      arg->getdatabuff()-
>getlen());
        }
        while(1){
            int send_num,to_send_num;

            to_send_num = lx_buffer_unscannum(arg->getdatabuff());
```

```
            send_num = send(arg->getfd(),lx_buffer_offsetp(arg->getdatabuff()),
to_send_num,0);
            if( send_num < 0){
                if(AGAIN_FLAG){
                    return HANDLE_NEED_MORE;
               }else{
                    global_ctx->getlog()->logerror("%s:send    response    body
error",__FUNCTION__);
                    if (arg->getfh() != NULL) {
                        fclose(arg->getfh());
                        arg->setfh(NULL);
                    }
                    return HANDLE_ERR;
                }
            }else if(send_num == 0){
                 global_ctx->getlog()->logerror("%s:send     response     body
error,send_num = 0",__FUNCTION__);
                 if (arg->getfh() != NULL) {
                     fclose(arg->getfh());
                     arg->setfh(NULL);
                 }
                 return HANDLE_ERR;

            }
            else
            {
                arg->getdatabuff()->setoffset(arg->getdatabuff()->getoffset() +
send_num);

                if(arg->getdatabuff()->getoffset()    ==    arg->getdatabuff()-
>getlen()){
                    if( arg->getinoutlen() == arg->getcontlen()){
                        if (arg->getfh() != NULL) {
                            fclose(arg->getfh());
                            arg->setfh(NULL);
                        }
                        return HANDLE_DONE;
                     }else{
                        if(fill_send_buff(arg)){
                            global_ctx->getlog()->logerror("%s:fill_send_buff
second  error %s ",__FUNCTION__, arg->getpath());
                            if (arg->getfh() != NULL) {
                                fclose(arg->getfh());
                                arg->setfh(NULL);
```

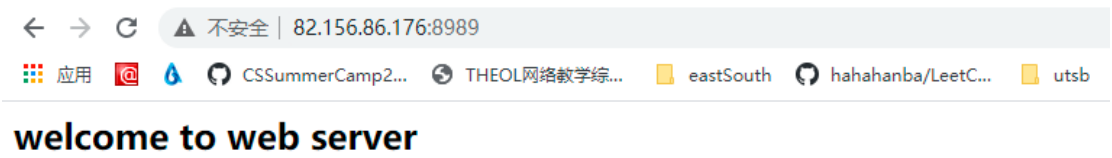
```
                            }
                            return HANDLE_ERR;
                        }
                        arg->setinoutlen(arg->getdatabuff()->getlen()  +  arg-
>getinoutlen());
                        continue;
                    }
                }else{
                    continue;
                }
            }
        }//end send loop



        if(arg->getfh() != NULL){
            fclose(arg->getfh());
            arg->setfh(NULL);
        }
        return HANDLE_DONE;
    }
```

log\log.cpp
服务器中包含日志系统，在服务器对象创建后即创建日志对象，在服务器运行期间，通过在各处使用 log 对象添加日志，并存放到 logs 文件夹下。效果如下：

实验结果与分析：

（详细的实验结果，图/表/文相结合，并对实验结果进行较全面的对比分析，类似于“**验证问题**”）

对于实验二：我们小组同时使用多台设备，通过不同的浏览器（chrome、Microsoft Edge、safari）对网页进行访问，均能正常访问



对于图片的访问，也能正常显示

同时，我们对所实现的 Web 服务器进行了并发测试，访问的是 index 和 404.html，结果如下：

```
root@VM-0-6-ubuntu:/home/ubuntu/http_load# ./http_load -r 1000 -s 5 test.txt
381 fetches, 15 max parallel, 41083 bytes, in 5.02051 seconds
107.829 mean bytes/connection
75.8887 fetches/sec, 8183.03 bytes/sec
msecs/connect: 46.4384 mean, 71.777 max, 43.332 min
msecs/first-response: 82.3795 mean, 131.829 max, 25.396 min
HTTP response codes:
  code 200 -- 184
  code 404 -- 197
root@VM-0-6-ubuntu:/home/ubuntu/http_load# ./http_load -p 1000 -s 5 test.txt
2129 fetches, 1000 max parallel, 229907 bytes, in 5.00008 seconds
107.988 mean bytes/connection
425.793 fetches/sec, 45980.7 bytes/sec
msecs/connect: 242.079 mean, 4088.52 max, 23.189 min
msecs/first-response: 438.421 mean, 4371.38 max, 26.552 min
HTTP response codes:
  code 200 -- 1062
  code 404 -- 1067
root@VM-0-6-ubuntu:/home/ubuntu/http_load#
```

在上面的测试中一共运行了 2129 个请求，最大的并发进程数是 1000，总计传输的数据是 229907bytes，运行时间为 5.00008s，每一个连接平均传输的数据量为 107.988；每秒的响应请求为 425.793msecs，每秒传递的数据为 45980.7bytes/sec，每连接的平均响应时间是 242.079 msecs，最大的响应时间 4088.52 msecs，最小的响应时间 23.189 msecs

总结与讨论：

（本次课设的学习体会收获、设计中存在的问题及可能的改进方向）

通过本学期的计算机网络课程设计，我们对上学期所学的内容有了更深刻的体会。

在实验一中，我们掌握了数据分组的发送和解析，使用 winpcap 实现了封装与发送 ARP 的数据分组，对网络协议的理解有了更直观的认识，掌握了 ARP 的协议数据结构和工作原理及其对协议栈的贡献。

实验二中，我们实现了一个基于 epoll 的 web 服务器，可以并行服务处理多个请求，实现了 HTTP1.0 的功能。在自主学习过程中，我们明白了 HTTP 协议的作用原理，同时根据 HTTP 协议的作用原理，进行编程实现。通过这个实验，我们对计算机网络底层有了新的认识，我们成功使用 epoll 实现异步 web 服务，可以指定线程的数量，同时每一个线程独立工作以充分利用硬件的 cpu 及内存等资源。但是，我们的程序设计还存在着一些问题，如无法访问视频等问题，这是我们的努力改进方向，我们将会继续完善，改善不足。

综上，计算机网络课程设计对于我们理解计算机网络有着莫大的帮助，在本次实验中，我们接触到了课堂上所学不到的东西，收获颇多。

指导教师评语：（空白，半页 A4）