实验8

WEB服务器实现

主讲：王信博

目录

CONTENTS

PART 01

开发环境准备

ENVIRONMENT PREPARASTION

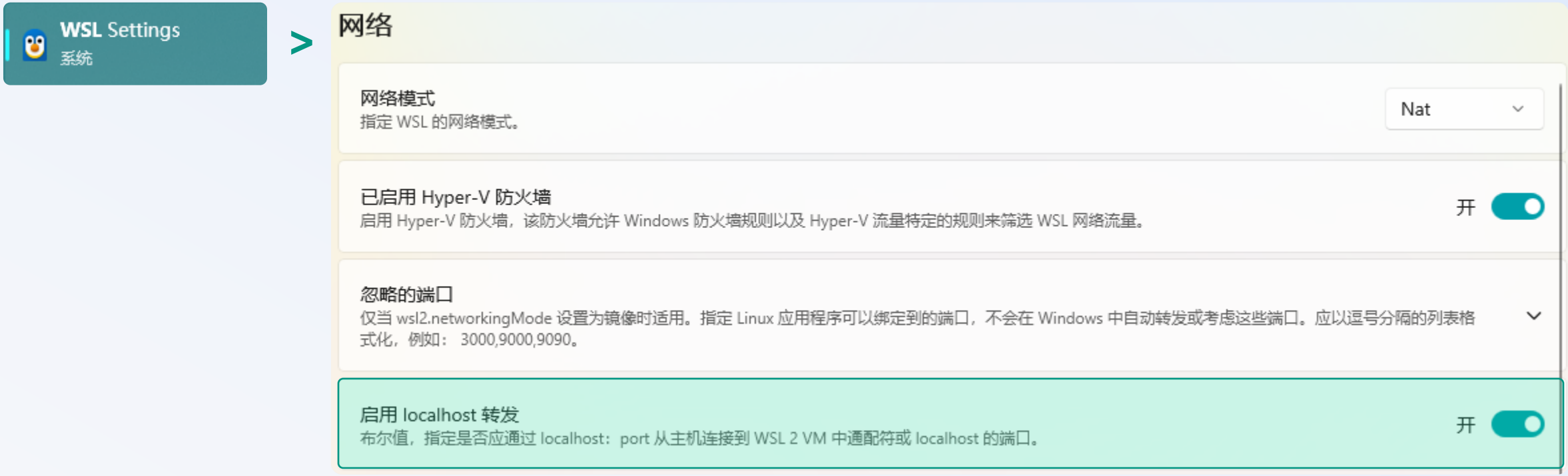
环境配置

系统环境

Linux / macOS 或 Windows

Windows用户推荐在WSL下开发，可以和OS课程使用相同环境

实验在Ubuntu22.04+进行了测试，使用更低版本/其他发行版时部分操作可能略有差异



环境配置

开发工具

[推荐] Windows Terminal

体验显著优于默认命令提示符/Windows Powershell

[推荐] Git

推荐使用Git进行版本管理（含独立完成），务必避免用微信等IM同步代码

注意：代码必须以**私有仓库**的形式托管在GitHub等代码托管平台上

编译环境

使用以下命令确认编译环境是否配置正确，如出现报错，请根据文档进行配置

```
gcc --version
g++ --version
```

辅助工具

GLog

std::cout不是线程安全的，实验多线程环境下可能产生交错混乱的输出，而GLog不受影响

GLog同时可以提供日志分级、条件记录、格式化、调用栈信息输出等功能

```cpp
#include <iostream>
#include <glog/logging.h> // For glog
class GlogWrapper{ // 封装Glog
public:
    GlogWrapper(char* program) {
        google::InitGoogleLogging(program);
        FLAGS_log_dir="PATH/prefix_"; //设置log文件保存路径及前缀
        FLAGS_alsologtostderr = true; //设置日志消息除了日志文件之外是否去标准输出
        FLAGS_colorlogtostderr = true; //设置记录到标准输出的颜色消息（如果终端支持）
        FLAGS_stop_logging_if_full_disk = true;    //设置是否在磁盘已满时避免日志记录到磁盘
        // FLAGS_stderrthreshold=google::WARNING; //指定仅输出特定级别或以上的日志
        google::InstallFailureSignalHandler();
    }
    ~GlogWrapper() { google::ShutdownGoogleLogging(); }
};
```

辅助工具

GLog

```cpp
int main(int argc, char* argv[]) {
    // 初始化 glog
    auto glog = GlogWrapper(argv[0]);
    // 记录不同级别的日志
    LOG(INFO) << "This is an info message.";
    LOG(WARNING) << "This is a warning message.";
    LOG(ERROR) << "This is an error message.";
    // 相当于LOG(ERROR) + return -1;
    LOG(FATAL) << "This is a fatal message. The program will terminate after this message.";
    // 条件日志
    int x = 2;
    LOG_IF(INFO, x % 2 == 0) << "x is even.";
    LOG_IF(INFO, x % 2 != 0) << "x is odd.";
    // 每n次循环记录一条日志
    for (int i = 0; i < 5; ++i) { LOG_EVERY_N(INFO, x) << "Log every " << x << " iter, current: " << i; }
    // 触发段错误，演示崩溃处理效果
    int *p = nullptr;
    p[0] = 0;
}
```

辅助工具

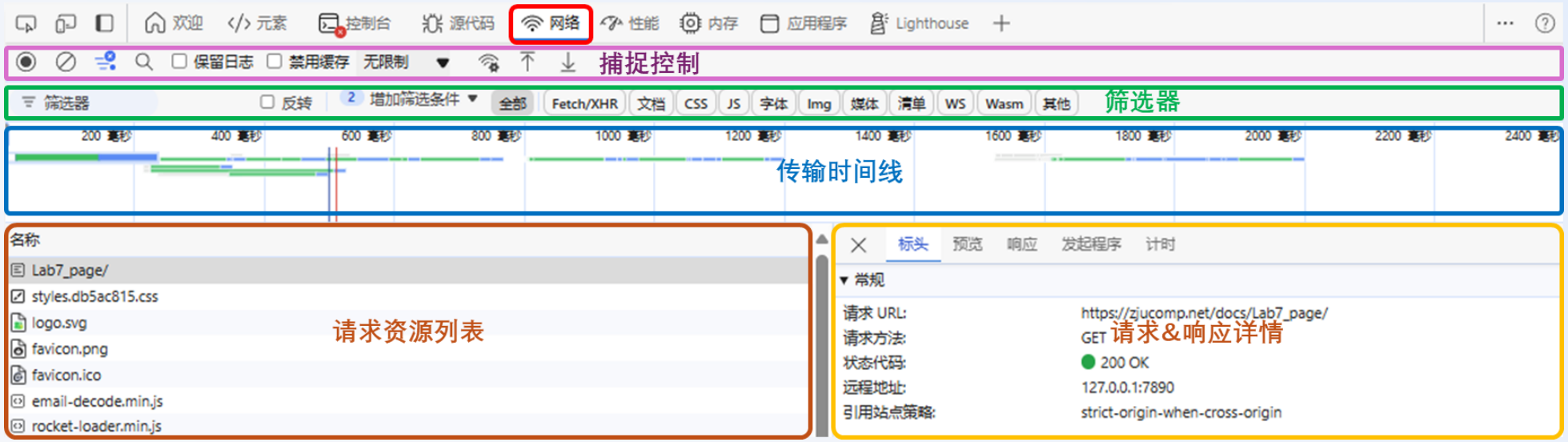
Firefox浏览器

如果端口转发存在问题，你可能需要在WSL内启动浏览器进行测试

浏览器 – 开发人员工具 – 网络

主要用于观察网页加载时浏览器和Web服务器间发生的交互

如果你的列表中显示信息较少，可以右键顶部字段（如"名称"），并勾选想要查看的字段



辅助工具

Wireshark

Lab7

被测程序运行在哪个系统内，就在哪里运行Wireshark

运行在Windows：在Windows下运行Wireshark，并进行抓包

运行在WSL：在WSL下运行Wireshark ，并进行抓包

[WSL内安装Wireshark] https://zjucomp.net/docs/Wireshark/install/

实验文档-Wireshark安装与使用-Wireshark安装-Linux

[无法正确解析HTTP协议] https://zjucomp.net/docs/Wireshark/qa

实验文档-Wireshark安装与使用-使用答疑Q&A

Lab8

WSL正确启用localhost转发后，也可在Windows运行Wireshark并进行抓包

测试框架

运行系统环境

Lab7 / 8　localhost转发正确运行时，在WSL/Windows下运行测试框架均可

运行环境配置

Python 3

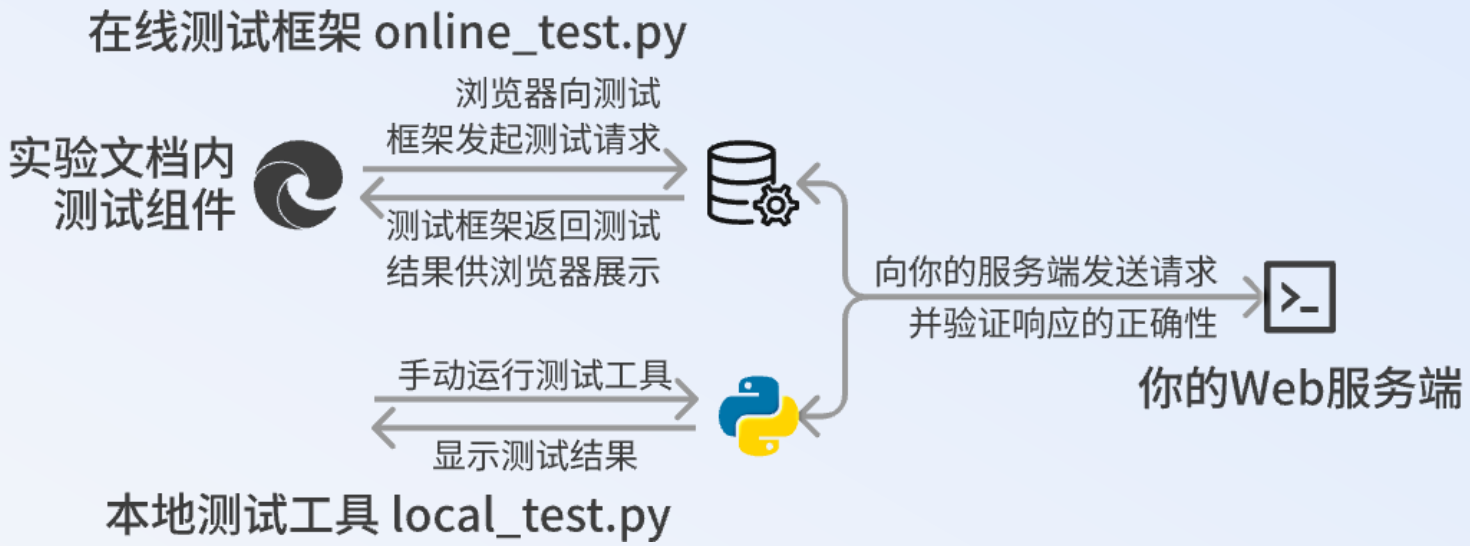
推荐Python3.10+

使用Uv等环境管理器安装均可

安装依赖包

参见requirement.txt

测试流程



PART 02

实验原理

EXPERIMENT PRINCIPLE

网页加载过程

DNS解析：浏览器通过DNS解析得到相应服务器IP地址

建立连接：浏览器根据IP，通过TCP/IP（HTTP/3改用QUIC）协议与服务器建立连接

发送请求：浏览器构建HTTP请求报文，通过已建立的连接发送给服务器

处理请求：服务器根据请求内容执行相应业务逻辑（如查询数据库等）并返回响应

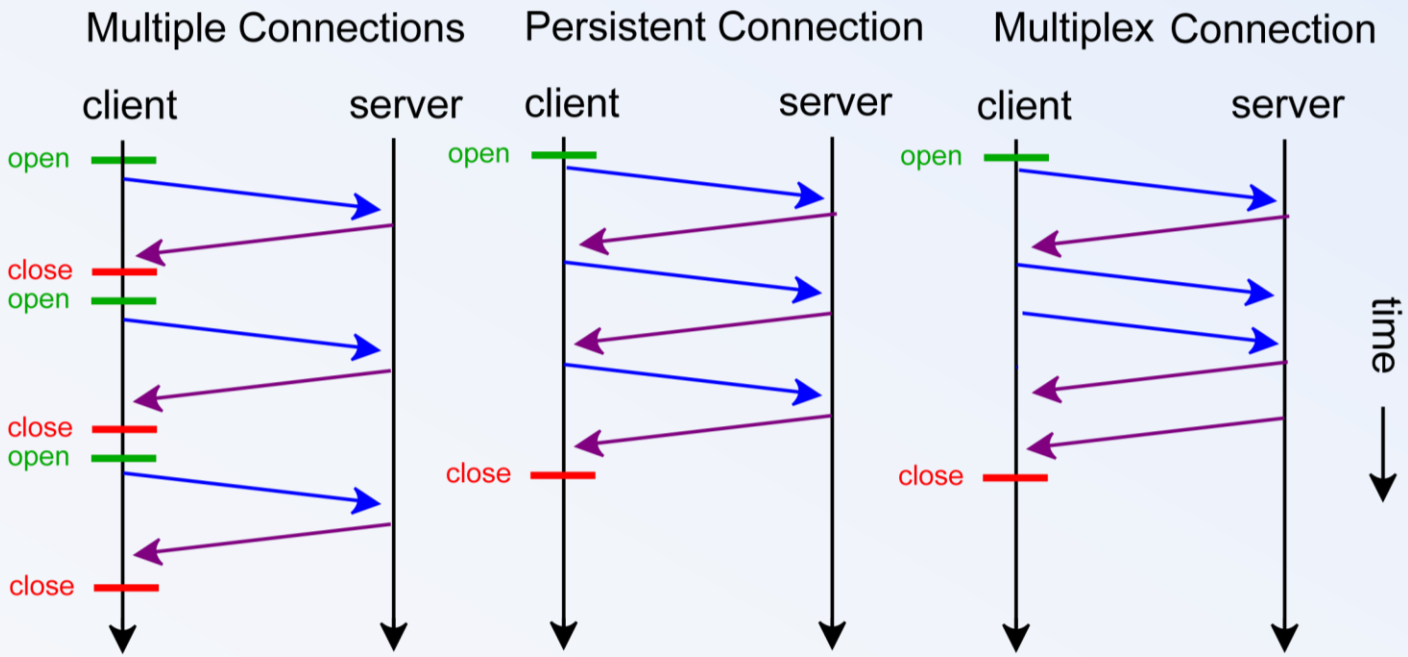
关闭连接：完成请求后，关闭连接（时机与HTTP版本相关）

网页加载过程

HTTP/1.0 每次请求都需要重新建立TCP连接

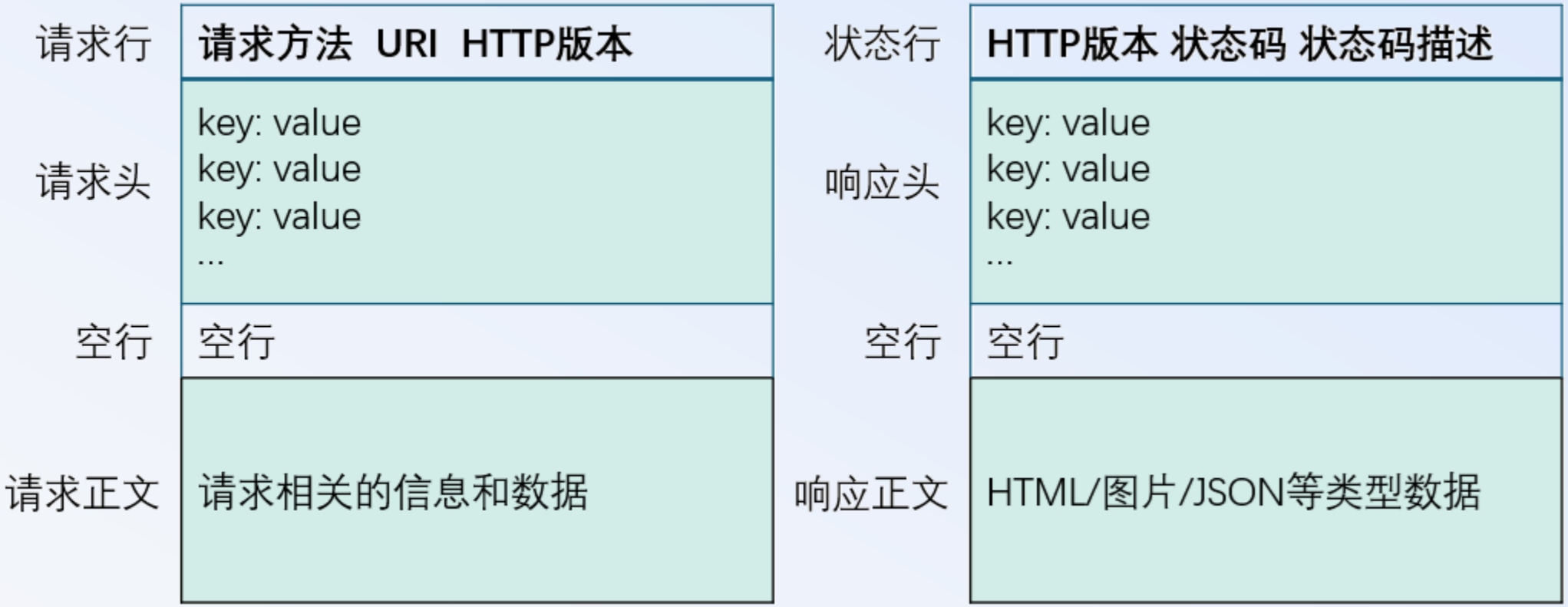
HTTP/1.1 通过持久连接和请求管道化技术，允许在一个TCP连接上发送多对请求-响应，减少了连接建立的时间开销

HTTP/2 在此基础上引入了多路复用技术，允许多个请求和响应在同一连接上任意交错传输，不需要等待前一对响应传输完成




```html
<!DOCTYPE html>
<html>
<head>
    <title>Test</title>
    <link rel="stylesheet" href".../antd.min.css">
    <style>
        ...
    </style>
</head>
<body>
  <div class="form-container">
      <img src="assets/logo.jpg" alt="Logo">
      <h1>This is a test</h1>
  </div>
</body>
</html>
```

HTTP协议格式


请求行
请求方法 URI HTTP版本
请求头
key: value
key: value
key: value
...
空行
空行
请求正文
请求相关的信息和数据
状态行
HTTP版本 状态码 状态码描述
响应头
key: value
key: value
key: value
...
空行
空行
响应正文
HTML/图片/JSON等类型数据

HTTP请求方法

属性	GET	POST	OPTIONS	HEAD	PUT	DELETE	PATCH
请求体	可选	通常	可选	可选	√	可选	√
响应体	√	√	√	×	√	√	√
安全性	√	×	√	√	×	×	×
幂等性	√	×	√	√	√	√	×
可缓存	√	有时	×	√	×	×	×

- **安全性**：相应方法只表示获取资源信息的意图，不包含任何请求副作用的**意图**
- **幂等性**：无错误等意外情况时，多次相同请求无副作用/和单次请求的相同
- **缓存**：允许将响应结果存储在客户端/其他中间节点（如CDN），以便后续直接使用缓存

RESTful or POSTful?

表述性状态传递RESTful (Representational State Transfer)

关键特性：客户-服务器模式, 无状态通信, 缓存机制, 统一接口, 分层系统, [可选]按需代码

每个URL表示一个特定的资源，HTTP方法表示对资源的动作，比如：

```
GET /users          获取用户列表
GET /users/xbwang   获取特定用户信息
```

```
POST /users         创建新用户
Content-Type: application/json
{
   "name": “ZhangSan",
   "email": "zhsan@zju.edu.cn",
   "passwd": “meiyoumima"
}
```

```
DELETE /users/ZhangSan   删除张三
PATCH /users/ZhangSan    部分修改
Content-Type: application/json
{ "email": "zhsix@zju.edu.cn" }
```

```
PUT /users/ZhangSan      完整修改
Content-Type: application/json
{
   "name": “ZhangSan",
   "email": "zhsix@zju.edu.cn",
   "passwd": “xindemima"
}
```

RESTful or POSTful?

POSTful (不存在这种规范) 全部请求使用POST方法，一些RPC框架会这么实现

原因： 运营商/企业安全团队对非GET/POST乱处理，影响正常业务进行；

中间网关/运营商/客户端预期外的GET请求缓存；QueryString解析不兼容

```
POST /getUserList   获取用户列表
POST /getUser       获取特定用户信息
Content-Type: application/json
{ “name": “xbWang" }
```

```
POST /createUser    创建新用户
Content-Type: application/json
{
   "name": “ZhangSan",
   "email": "zhsan@zju.edu.cn",
   "passwd": “meiyoumima"
}
```

```
POST /deleteUser   删除张三
Content-Type: application/json
{ “name": “xbWang" }
```

```
POST /modifyUser   完整修改
Content-Type: application/json
{
   "name": “ZhangSan",
   "email": "zhsix@zju.edu.cn",
   "passwd": “xindemima"
}
```

HTTP请求方法

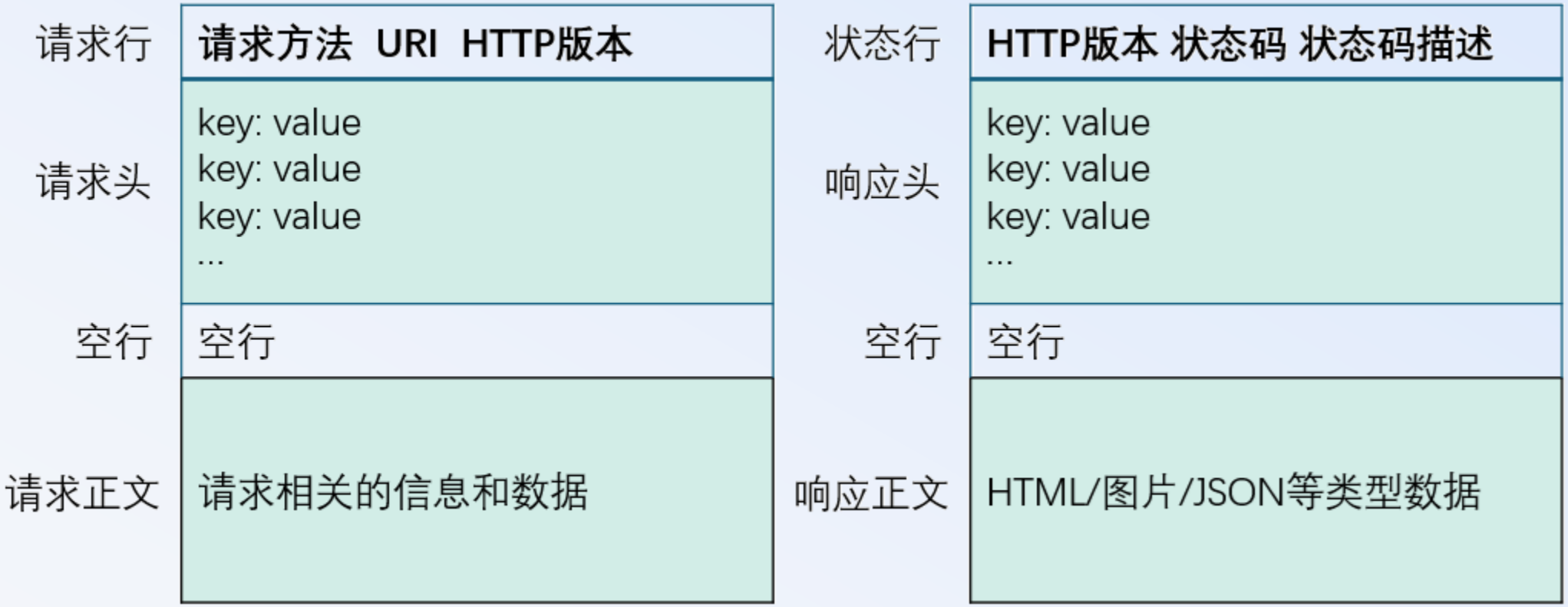
属性	GET	POST	OPTIONS	HEAD	PUT	DELETE	PATCH
请求体	可选	通常	可选	可选	√	可选	√
响应体	√	√	√	×	√	√	√
安全性	√	×	√	√	×	×	×
幂等性	√	×	√	√	√	√	×
可缓存	√	有时	×	√	×	×	×

世界破破烂烂，
我们缝缝补补……

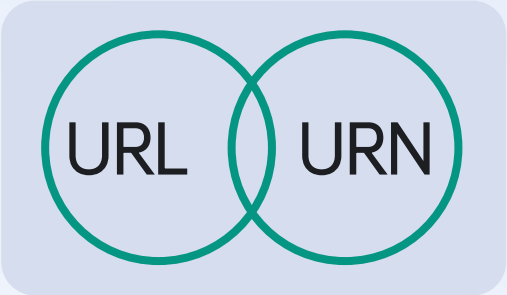
没有完美的解决方案，根据实际情况做最适合的选择

实验中，我们需要区分GET/POST方法，执行相应的功能逻辑并返回响应

HTTP协议格式


请求行
请求方法 URI HTTP版本
请求头
key: value
key: value
key: value
...
空行
空行
请求正文
请求相关的信息和数据
状态行
HTTP版本 状态码 状态码描述
响应头
key: value
key: value
key: value
...
空行
空行
响应正文
HTML/图片/JSON等类型数据

统一资源标识符URI



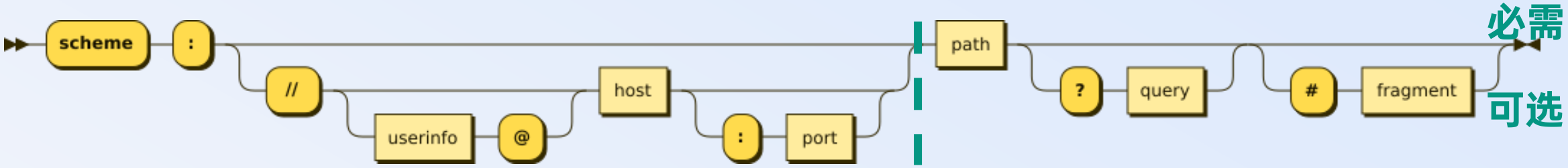
统一资源定位符URL (Uniform Resource Locator)

最常见的URI形式，提供了访问特定资源的路径和方法，帮助计算机确定资源是什么，同时说明如何找到并获取这个资源

统一资源名称URN (Uniform Resource Name)

URN更关注资源的身份标识而非物理位置，旨在提供一种持久不变的名字空间，即使资源的实际位置发生变化，其URN仍然保持不变

统一资源定位符URL




```
https  :   //          zjucomp.net    /docs/Lab8_page        # 21-http请求
http   :   //      10.214.0.253  :   80 /…asid.php ?  stu=5029&cid=105…
mailto :   //  ZhangSan @ zju.edu.cn
```

scheme	指定访问资源时使用的协议类型，如HTTP、HTTPS、FTP等
host	资源所在的主机名或IP地址
port	指定主机上的端口号，如未指定，可能使用scheme默认端口
path	资源在服务器上的具体位置，如path/to/file
query	用于传递给服务器的查询参数，通常以键值对的形式出现
fragment	用于指示页面内部的一个特定部分或元素，通常用于页面内的导航

URL映射

文件描述	文件路径	映射后URL
带有图片的首页HTML文件	/html/test.html	/index.html
去掉图片的首页HTML文件	/html/noimg.html	/index_noimg.html
纯文本文件	/txt/test.txt	/info/server
浙大校标图片文件	/img/logo.jpg	/assets/logo.jpg

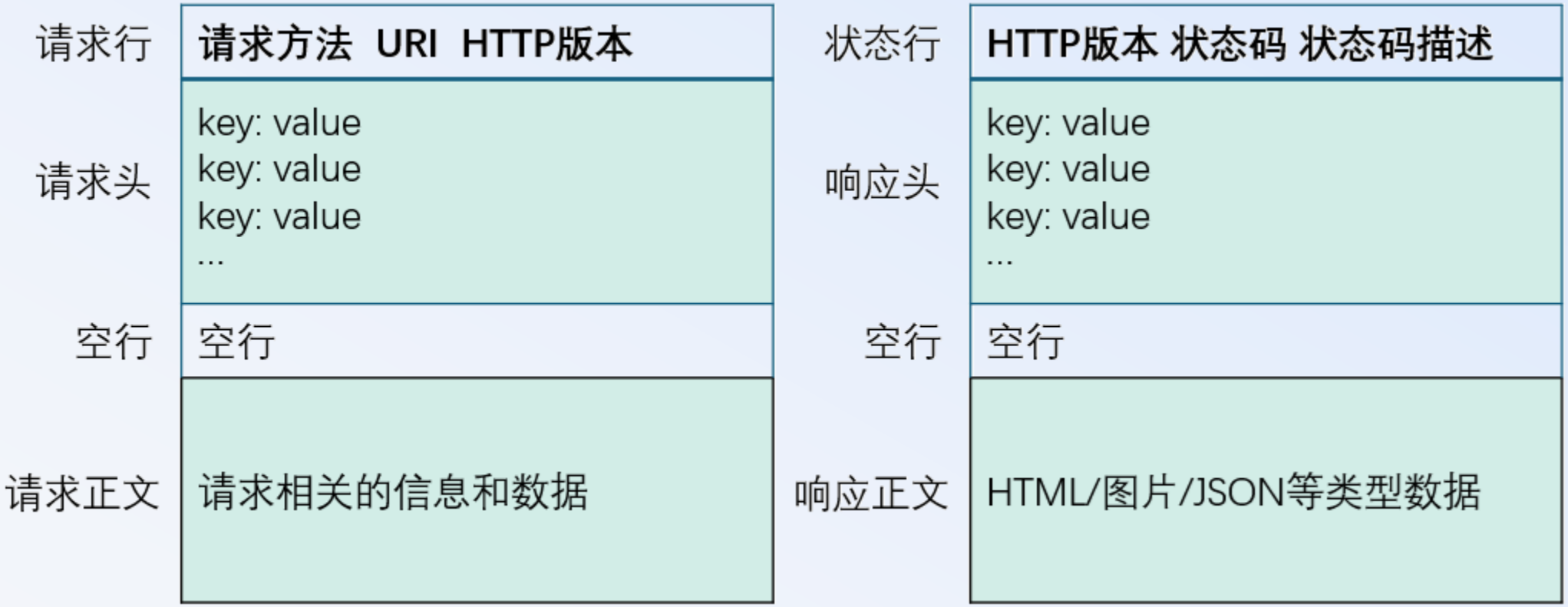
安全性：　避免常见的路径遍历攻击，保证无法通过构造URI确定内部文件资源情况

可维护性：内部文件路径发生变更时，不需要修改外部URL，反之亦然

灵活性：　可以实现多对多映射关系，同一URI可以根据地区等信息映射到不同资源

性能优化：可以通过合适的路径映射设计，实现对资源缓存策略的高效管理

HTTP协议格式


请求行
请求方法 URI HTTP版本
请求头
key: value
key: value
key: value
...
空行
空行
请求正文
请求相关的信息和数据
状态行
HTTP版本 状态码 状态码描述
响应头
key: value
key: value
key: value
...
空行
空行
响应正文
HTML/图片/JSON等类型数据

HTTP头字段

表达请求/响应的属性/需求等信息

头字段 由键值对`key:value`组成，字段间使用CRLF分隔(`\r\n`)

```
Content-Length: 127
```

字段名称 不区分大小写，任意大小写的形式都是合法的

```
Content-Length      content-length      cOnteNt-lEnGTh
```

字段值名称 区分大小写

```
Cookie: cf_clearance=tKTgM…S4QIw    ≠    Cookie: cf_clearance=tktgm…d4qiw
```

一些头字段在请求头/响应头均可使用，而一些仅能在请求/响应头中使用

HTTP头字段

实验中，需要支持Content-Length和Content-Type字段的处理

Content-Length

有正文时通常必须添加该字段，指明资源主体的大小，以字节为单位，对于接收方预估下载时间和分配缓冲区大小非常有用

Content-Type

有正文时通常必须添加该字段，用于指定资源的MIME类型，帮助接收方正确解析资源

类型	字段	描述
文本	text/plain	纯文本文件
文本	text/html	HTML文档
文本	text/css	CSS样式表
应用程序	application/json	JSON数据

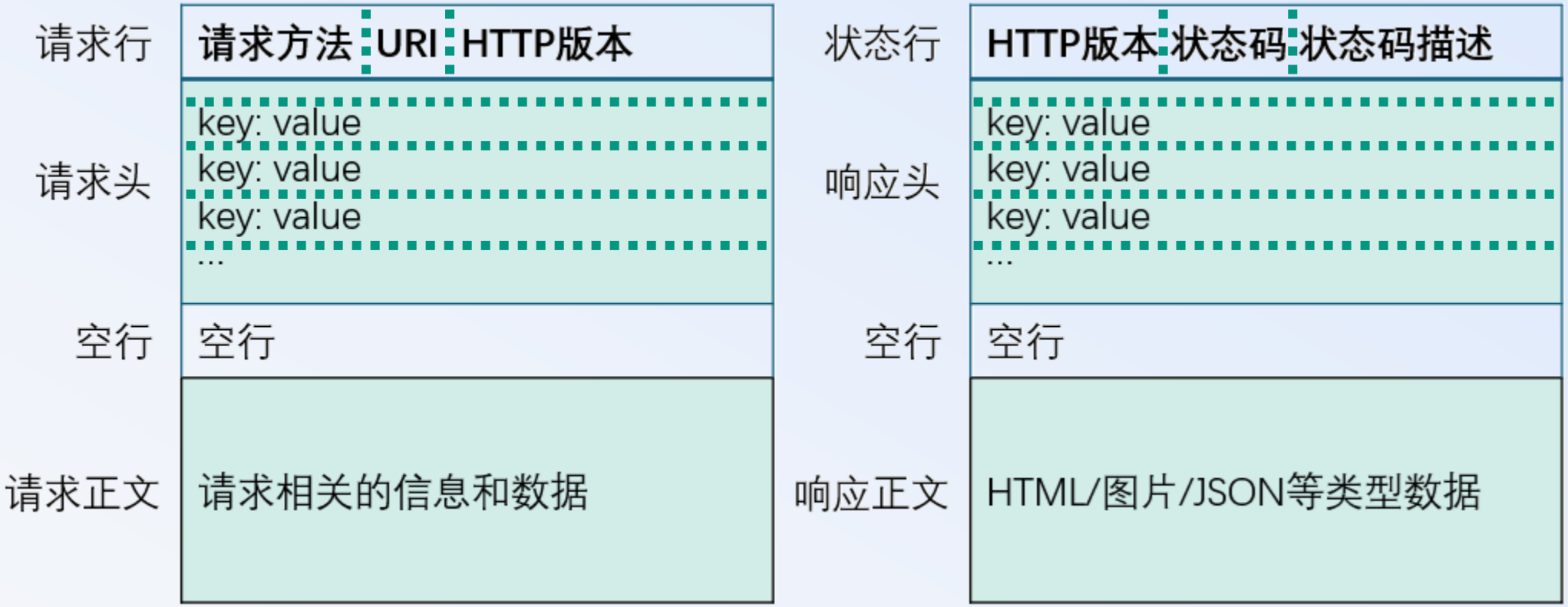
类型	字段	描述
图像	image/jpeg	JPEG图像
图像	image/png	PNG图像
视频	video/mp4	MP4视频文件
音频	audio/mpeg	MP3音频文件

PART 03

开发步骤

DEVELOPMENT STEPS

HTTP协议格式


请求行
请求方法 URI HTTP版本
请求头
key: value
key: value
key: value
...
空行
空行
请求正文
请求相关的信息和数据
状态行
HTTP版本 状态码 状态码描述
响应头
key: value
key: value
key: value
...
空行
空行
响应正文
HTML/图片/JSON等类型数据

请求解析&响应组装

```cpp
class HTTPRequest {
public:
    HTTPRequest(std::string& is); // Ctor - Parse input string & construct
    // Optional - Reload [] for easier header fields access ?
    const std::string& operator[](const std::string& key) const { }
    // Getters - Retrive info from object ...
private:
    // Necessary data elements
};
class HTTPResponse {
public:
    HTTPResponse(const std::string& version, int code, const std::string& reasonPhrase);
    std::string serialize() const; // Serialize to bytestream for send
    // Optional - Reload [] for easier header fields access & modification ?
    std::string& operator[](const std::string& key) { }
    // Setters - modify response ...
private:
    // Necessary data elements
};
```

请求处理

```
void getHandler(info, response) { /* modify response obj based on info */ }
...
// retrive request and dispach tasks
void connectionHandler(int socket) {
    while (!shouldExit) {
        // receive & parse full HTTP request
        HTTPRequest request(receivedMsg);
        HTTPResponse response; // handle request according to method, construct response
        if (request.getMethod() == "GET") getHandler(info, response);
        // construct response
        std::string byteStream = response.serialize();
        // return response & close the connection
    }
}
```

请求处理

接收&解析请求

→ GET请求 映射URI→相应文件

映射**存在** →返回200 映射**不存在**→返回404

→ POST请求 检查URI是否为/dopost

是 状态码200

账号密码**正确**→返回成功信息 账号密码**错误**→返回失败信息

否 状态码404

测试与检验

仅作为实现中特定阶段功能的验证

测试1 Hello World Web服务器

测试2 HTTP请求结构解析

测试3 服务器的WebEcho功能

测试4 资源URI映射

※完成每一阶段新功能的实现后
上一阶段测试不通过是正常现象

需要能够通过测试，按照实验报告要求填写报告

测试5 资源访问

测试6 用户登录测试

测试7 多线程访问测试

※完成全部功能实现后
该部分的测试均需通过

PART 04

延伸内容

EXTENDED CONTENT

HTTP协议，不止网页加载

什么触发了请求?

DNS解析：浏览器通过DNS解析得到相应服务器IP地址

建立连接：浏览器根据IP通过TCP/IP（HTTP/3改用QUIC）协议与服务器建立连接

发送请求：浏览器构建HTTP请求报文，通过已建立的连接发送给服务器

处理请求：服务器根据请求内容执行相应业务逻辑（如查询数据库等）并返回响应

关闭连接：完成请求后，关闭连接（时机与HTTP版本相关）

Axios向127.0.0.1:5000/test/lab8/resource-retrieve发送POST请求，正文为含被测服务器等信息的JSON

Flask根据定义的路由处理请求，将其分发至对应处理函数，执行预定义的操作，并返回指定响应码/数据

前端解析响应数据，得到测试结果，向用户进行展示

单页应用SPA

一种网络应用程序或网站的模型，与动态页面通过**动态重写**当前页面来与用户交互，而不是传统的从服务器重新加载整个新页面

这种方法避免了页面之间切换打断用户体验，使应用程序更像一个桌面应用程序

工作原理

SPA中所有必要的代码（HTML、JavaScript 和 CSS）都在单个页面的加载过程中完成，随后JavaScript脚本开始接管页面的渲染

这之后，用户和页面交互时，点击链接/提交表单等操作不会加载新页面，而是通过AJAX请求向服务器请求数据，再用JavaScript动态局部更新页面

SPA通常前后端分离，两者独立开发/部署/扩展

前端常用框架

React.js、Vue.js、Angular等

Web服务开发

后端常用框架

SpringBoot[Java]、Django[Python]、Flask[Python]、Node.js[JavaScript]

前后端开发最佳实践

- **前端**（或后端）确定接口文档初稿
- **前后端** 评审、完善接口文档，设计接口用例
- **前端** 使用根据接口文档生成的 Mock 数据开发
- **后端** 使用接口用例 调试开发中接口，只要所有接口用例调试通过，接口就开发完成
- **后端** 每次调试完一个功能就保存为一个接口用例
- **测试人员** 直接使用接口用例测试接口
- **测试人员** 所有接口开发完成后，进行多接口集成测试，完整测试整个接口调用流程
- **前后端** 都开发完，前端从Mock 数据切换到正式数据进行联调

参考文献与声明

[1] HTTP - Wikipedia. https://en.wikipedia.org/wiki/HTTP
[2] HTTP messages – HTTP | MDN. https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Web/HTTP/Messages
[3] URL - Wikipedia. https://en.wikipedia.org/wiki/URL
[4] Uniform Resource Name - Wikipedia. https://en.wikipedia.org/wiki/Uniform_Resource_Name
[5] MIME types – HTTP | MDN. https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Web/HTTP/MIME_types
[6] HTTP response status codes – HTTP | MDN. https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Web/HTTP/Status
[7] HTTP headers – HTTP | MDN. https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Web/HTTP/Headers
[8]最佳实践|Apifox帮助文档. https://apifox.com/help/overview/best-practice

本课件内部分内容来源于上述参考文献中维基百科页面，原文由多位贡献者编写，具体可访问相应链接查看完整编辑历史与贡献者列表。