

HTTP 请求

HTTP 请求有如下几个部分（其中所有的换行均为 CRLF，即 \r\n）：

- ① 方法：如 GET、POST、PUT、DELETE 等
- ② 地址：如 `http://www.baidu.com/s?wd=%E9%82%B1%E5%8B%87`，这里域名是 `www.baidu.com`，路径是 `/s`，参数是 `wd=%E9%82%B1%E5%8B%87`
- ③ 头部：一些键值对，记录了域名，正文类型，正文长度，Cookie 等信息
- ④ 正文：用于传输额外的数据

App

```
App::new()  
    .wrap(Logger::default())  
    .route("/hello", web::get().to(|| async { "Hello World!" })))  
    .service(greet)
```

启用了请求日志，然后实现了 API GET /hello ，它的行为是直接返回一个 Hello World! 的响应。同时引入了 greet，它的定义在前面：

```
#[get("/hello/{name}")]  
async fn greet(name: web::Path<String>) -> impl Responder {  
    log::info!(target: "greet_handler", "Greeting {}", name);  
    format!("Hello {name}!")  
}
```


响应状态码

有时候，如果出现了错误，你会希望设置响应的状态码：

```
#[post("/jobs")]
async fn post_jobs(body: web::Json<PostJob>) -> impl Responder {
    // ...
    HttpResponse::BadRequest().json(Error {
        // ...
    })
}
```

这次大作业中，就针对各种错误情况所需要汇报的错误信息和响应状态码进行了规定。

更进一步，可以进行一些处理，自动把 **Result** 通过 `?` 操作符转换为 **API** 文档中所需要的格式，可以大大简化错误处理的代码。请同学们参考 **actix-web** 的文档学习。

访问配置

有时候，你在实现 API 的时候，可能会想要访问配置，此时可以利用 `web::Data` 来传递：

```
#[derive(Clone)]  
struct Config {  
    // ...  
}  
  
#[post("/jobs")]  
async fn post_jobs(body: web::Json<PostJob>,  
    config: web::Data<Config>) -> impl Responder {  
    // ...  
}
```


调试工具

下面是一些工具，能帮助你调试 HTTP 服务器：

- Postman
- VSCode REST Client
- httpie

使用这些工具，可以很方便地发起 HTTP 请求，并观察 HTTP 响应，看是否符合 API 文档的要求。

VSCoDe REST Client

下面讲解 VSCoDe REST Client 插件的基本使用方法。首先在 VSCoDe 中安装插件，然后新建一个文件 `post_jobs.http`，填入如下内容：

```
POST http://127.0.0.1:12345/jobs HTTP/1.1
content-type: application/json
```

```
{
  "source_code": "fn main() { println!(\"Hello, world!\"); }"
}
```

上面的内容表示要向 `http://127.0.0.1:12345/jobs` 发送一个 POST 请求，正文是一个 JSON。此时 POST 上方会显示 Send Request 提示，按下它，VSCoDe REST Client 插件就会发送请求，并显示出响应的内容。

VSCode REST Client

可以得到类似下面的输出:

```
POST http://127.0.0.1:12345/jobs HTTP/1.1
content-type: application/json

{
  "source_code": "fn main() { }",
  "language": "Rust",
  "user_id": 0,
  "contest_id": 0,
  "problem_id": 0
}
```

```
HTTP/1.1 200 OK
content-length: 123
connection: close
content-type: application/json

{
  "id": 0,
  // ...
}
```

更详细的用法，可以阅读插件的文档。

全局变量

在 OJ 系统，需要维护当前的评测任务列表，如果没有实现数据库支持，可以采用全局变量来保存评测任务列表。但是，全局变量引入了新的问题，在多线程的场景下，如何保证它同时只有一个可变借用呢？

后续课程上会讲到这个问题，这里提前预告一下，解决方法是使用 `Arc<Mutex<T>>`，其中 `Mutex` 是互斥锁，提供了线程安全的内部可变性，`Arc` 是线程安全的引用计数器。例如要用 `Vec<Job>` 保存所有评测任务的话，可以用 `Arc<Mutex<Vec<Job>>>` 类型来定义一个全局变量，比如：

```
use std::sync::{Arc, Mutex};

struct Job;

pub static JOB_LIST: Arc<Mutex<Vec<Job>>> =
    Arc::new(Mutex::new(Vec::new()));
```

但是这样的代码不能通过编译。

全局变量 + lazy_static

但是，上面的代码不能通过编译，因为 `Arc::new()` 函数无法用于全局变量的初始化。

因此，我们需要引入第三方库 `lazy_static` 来实现这个事情，比如：

```
use std::sync::{Arc, Mutex};
use lazy_static::lazy_static;

struct Job;

lazy_static! {
    static ref JOB_LIST: Arc<Mutex<Vec<Job>>> =
        Arc::new(Mutex::new(Vec::new()));
}
```

这样就可以通过编译了。

互斥锁

那么，在读取或者修改的时候，需要首先获取互斥锁，然后就可以对内部的 `Vec<Job>` 进行操作了：

```
let mut lock = JOB_LIST.lock().unwrap();  
lock.push(Job);
```

为了保证多线程安全，互斥锁保证同时只能有一个线程获取，保证了数据在多线程场景下同时只有一个地方拥有可变借用。当 `lock` 结束生命周期时，锁会自动释放。编写代码的时候，需要小心出现死锁的情况。

死锁

为了防止死锁，这里介绍几种常见的死锁情况：

① 获取锁顺序

```
let lock_a = A.lock().unwrap();  
let lock_b = B.lock().unwrap();
```

```
let lock_b = B.lock().unwrap();  
let lock_a = A.lock().unwrap();
```

获取锁的顺序颠倒，如果上面两侧代码同时运行，可能会出现左侧代码获取了 A 的互斥锁，右侧代码获取了 B 的互斥锁的情况，此时两侧代码都会阻塞在第二次 lock 上。

死锁

② 恐慌

如果获取了锁，但是在释放之前出现了恐慌，会导致锁进入 `Poisoned` 状态：

```
let lock = LOCK.lock().unwrap();
panic!();
```

之后如果其他线程尝试获取这个锁，都会失败。

建议使用互斥锁的时候，尽量缩小持有锁的时间，并且使用的时候尽量不要用 `unwrap()` 等可能出现恐慌的错误处理方法。

死锁

- ③ 模式匹配时，注意不要在匹配内部再次获取锁：

```
match LOCK.lock().unwrap() {  
    XX(yy) => {  
        // dead lock  
        let lock = LOCK.lock().unwrap();  
    }  
}  
  
if let XX(yy) = LOCK.lock().unwrap() { } else {  
    // dead lock  
    let lock = LOCK.lock().unwrap();  
}
```

如何避免死锁

保证获取锁的代码区域（临界区，Critical Section）尽量小，并且不会出现恐慌：

```
let mut lock = JOB_LIST.lock().unwrap();  
lock.push(Job);  
drop(lock);
```

```
// later
```

```
let mut lock = JOB_LIST.lock().unwrap();  
lock.pop();  
drop(lock);
```

竞争条件

但是，临界区不一定是越小越好：

```
let mut lock = JOB_LIST.lock().unwrap();  
// find maximum job id  
let max_job_id = ???;  
drop(lock);  
  
// later  
let mut lock = JOB_LIST.lock().unwrap();  
lock.push(Job {  
    id: max_job_id + 1  
});  
drop(lock);
```

可能会导致任务 ID 冲突。

JSON 序列化与反序列化

在两个大作业中都出现了 JSON 的序列化和反序列化。你可以使用 `serde_json` 来实现 JSON 的序列化 (Serialize) 与反序列化 (Deserialize), 实现代码中的值与 JSON 值的双向转换:

```
#[derive(Serialize, Deserialize)]    {
struct Config {                      "random": true,
    random: Option<bool>,            "difficult": false,
    difficult: Option<bool>,         "stats": true,
    stats: Option<bool>,             "day": 5,
    day: Option<usize>,              "seed": 20220123,
    seed: Option<u64>,               // ...
    // ...                            }
}
```

在 OJ 大作业中, 涉及到 JSON 的地方会更多, 因此这里介绍一下 `serde_json` 的进阶用法。

枚举与 JSON 的转换

在 OJ 大作业中，为了表示评测任务的状态，会出现枚举：

```
{ "state": "Queueing" }
```

此时，我们可以用枚举类型来表示 state：

```
#[derive(Serialize, Deserialize)]  
enum State { Queueing, Running, Finished }
```

```
#[derive(Serialize, Deserialize)]  
struct Job {  
    // ...  
    state: State,  
}
```

枚举与 JSON 的转换

但有时候，并不能直接对应到 Rust 代码，因为出现了空格：

```
{ "result": "Compilation Error" }
```

此时，可以用 `#[serde(rename = "")]`：

```
#[derive(Serialize, Deserialize)]
enum JudgeResult {
    Waiting,
    #[serde(rename = "Compilation Error")]
    CompilationError,
}
```

枚举与 JSON 的转换

有时候, 也会出现命名方式的不兼容: CamelCase vs snake_case:

```
{ "type": "standard" }
```

此时, 可以用 `#[serde(rename_all = "snake_case")]` 批量重命名:

```
#[derive(Serialize, Deserialize)]
#[serde(rename_all = "snake_case")]
enum ProblemType {
    Standard,
    Strict,
    DynamicRanking
}
```

JSON 与 Rust 关键字冲突

还有一种情况，JSON 的键正好对应了 Rust 中的关键字：

```
{ "type": "standard" }
```

```
#[derive(Serialize, Deserialize)]
```

```
struct Problem {
```

```
    // expected identifier, found keyword `type`
```

```
    type: ProblemType,
```

```
}
```

此时有两种方法可以解决：

- ① 把 `type` 改为 `r#type`，强制定义一个名为 `type` 的成员
- ② 把 `type` 改为 `ty`，然后加上标注 `#[serde(rename = "type")]`

如何理解 JSON 比较结果

在 OJ 大作业中，自动测试程序会把 OJ 响应中的 JSON 与预期结果进行比对。于是，你需要学会从错误信息中判断错误出在了什么地方：

例如：

```
json atoms at path ".result" are not equal:
  expected:
    "Wrong Answer"
  actual:
    "Time Limit Exceeded"
```

如何理解 JSON 比较结果

错误信息：

```
json atoms at path ".result" are not equal:
```

```
  expected:
```

```
    "Wrong Answer"
```

```
  actual:
```

```
    "Time Limit Exceeded"
```

表示的是：

实际：

```
{ "result": "Time Limit Exceeded" }
```

期望：

```
{ "result": "Wrong Answer" }
```

如何理解 JSON 比较结果

错误信息:

```
json atoms at path ".cases[1].result" are not equal:
  expected:
    "Wrong Answer"
  actual:
    "Time Limit Exceeded"
```

表示的是:

<p>实际:</p> <pre>{ "cases": [{}, {"result": "Time Limit Exceeded"}] }</pre>	<p>期望:</p> <pre>{ "cases": [{}, {"result": "Wrong Answer"}] }</pre>
--	---

如何理解 JSON 比较结果

错误信息：

```
json atom at path ".result" is missing from actual
```

表示的是：

实际：
{ }

期望：
{ "result": "Accepted" }

子进程

在 OJ 系统中，编译可执行文件以及评测的时候，都需要运行程序，并且按照需求传递命令行参数，或进行输入输出的重定向。Rust 标准库提供了 `std::process::Command` 来运行程序。

首先最简单的用法是，直接运行一个程序，等待其运行结束，并获得它的结束状态：

```
// Taken from rust docs
use std::process::Command;
let status = Command::new("/bin/cat")
    .arg("file.txt")
    .status()?;

println!("process finished with: {status}");
```

上面的代码运行了 `/bin/cat file.txt` 命令，等待其运行完成并获取它的结束状态。

传递参数 + 输入输出重定向

进一步，我们可能想要传递多个参数，或者对标准输入输出进行重定向：

```
let in_file = File::open("wordle.in"?);
let out_file = File::create("wordle.out"?);
let status = Command::new("wordle")
    .args(["--random", "-t"])
    .stdin(Stdio::from(in_file))
    .stdout(Stdio::from(out_file))
    .stderr(Stdio::null())
    .status()?;
```

上面的代码运行了 `wordle --random -t` 命令，将标准输入重定向为 `wordle.in`，标准输出重定向为 `wordle.out`，丢弃它的标准错误输出，等待其运行完成并获取它的结束状态。

上面的代码会一直等待程序运行完成，如果想要设置超时，可以使用第三方库 `wait_timeout`。

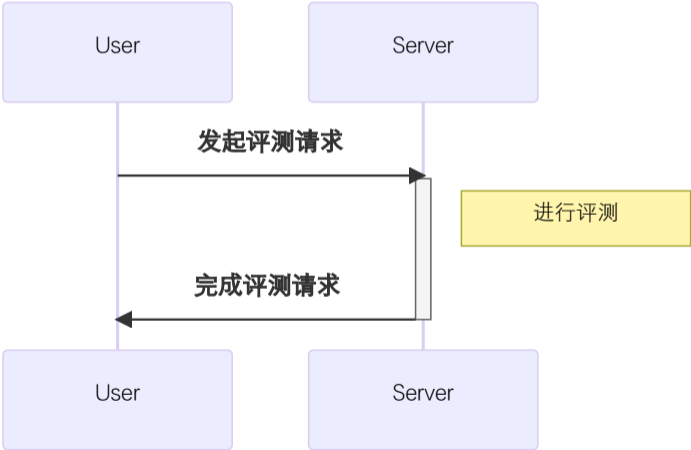
OJ 评测流程

以 A+B 题目为例，OJ 系统会做下面几件事情来进行评测：

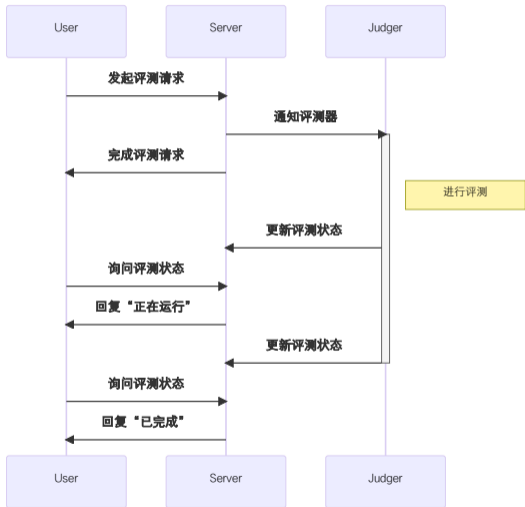
- ① 创建一个评测临时目录，用于保存评测时使用的源代码、可执行文件和输出文件，下面用 `TMPDIR` 来指代这一步创建的临时目录；
- ② 将源代码保存到临时目录中，如 `TMPDIR/main.rs`；
- ③ 将源代码编译成可执行文件（Windows 下运行还需要保证后缀名为 `.exe`），如 `rustc -C opt-level=2 -o TMPDIR/test.exe TMPDIR/main.rs`；
- ④ 编译成功后，按照顺序对数据点进行评测：运行 `TMPDIR/test.exe < ./data/aplusb/1.in > TMPDIR/test.out`，然后再比对 `TMPDIR/test.out` 与 `./data/aplusb/1.ans` 的内容；
- ⑤ 完成评测后，删除评测临时目录中的所有内容。

为了保证多个评测可以同时进行，需要保证临时目录不会冲突。也请注意不要把临时目录中的文件提交到仓库中。

OJ 阻塞评测流程图



OJ 非阻塞评测流程图



自动测试配置

每个自动测试都有两个文件：

- ① `[case_name].config.json`: OJ 的配置文件，通过参数 `-c [case_name].config.json` 传递给 OJ
- ② `[case_name].data.json`: 评测流程，包括自动测试会发起的 HTTP 请求以及预期的响应。

