《软件架构与中间件》

作业二：Docker 的安装与应用

学号：2022211939

姓名：杨涛

一、Docker 环境搭建

1、Docker 环境搭建的流程与要点

（一）安装操作步骤

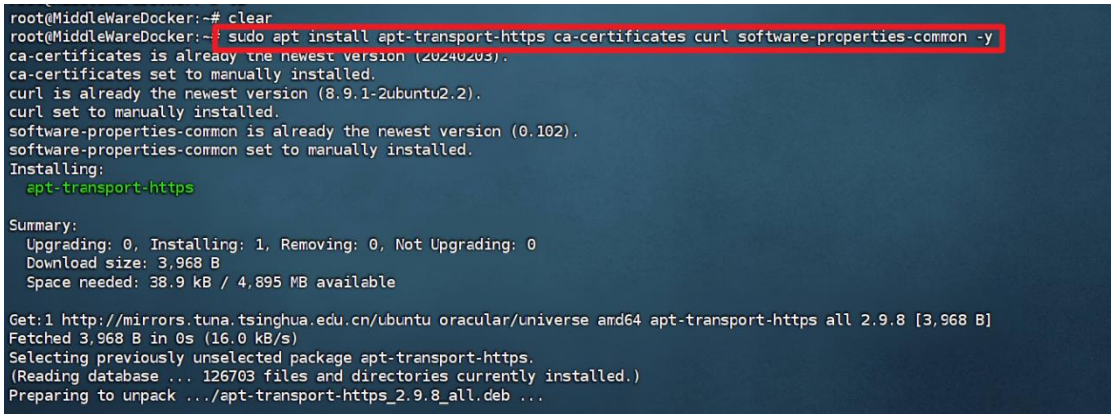
1. 前置准备

首先，服务器换源，设置同步时间，更新并升级 apt 等。

2. 安装依赖包

Docker 需要一些额外的依赖包，使用以下命令:

sudo apt install apt-transport-https ca-certificates curl software-properties-common -y



3. 添加 Docker 官方的 GPG 密钥

执行以下命令来下载并添加 Docker 的官方 GPG 密钥：

curl -fsSL https://download.docker.com/linux/ubuntu/gpg | sudo gpg --dearmor -o /usr/share/keyrings/docker-archive-keyring.gpg

4. 设置 Docker 官方的 APT 源

添加 Docker 仓库到 Ubuntu 的软件源列表：

echo "deb [arch=amd64 signed-by=/usr/share/keyrings/docker-archive-keyring.gpg] https://download.docker.com/linux/ubuntu $(lsb_release -cs) stable" | sudo tee /etc/apt/sources.list.d/docker.list > /dev/null

```
root@MiddleWareDocker:~# clear
root@MiddleWareDocker:~# echo "deb [arch=amd64 signed-by=/usr/share/keyrings/docker-archive-keyring.gpg] https://download.docker.com/linux/ub
untu $(lsb_release -cs) stable" | sudo tee /etc/apt/sources.list.d/docker.list > /dev/null
root@MiddleWareDocker:~#
```

5. 更新 apt 包索引

运行以下命令更新包索引，以便 Ubuntu 可以从新的 Docker 仓库安装 Docker：
sudo apt update

```
root@MiddleWareDocker:~# sudo apt update
Ign:2 https://download.docker.com/linux/ubuntu oracular InRelease
Hit:1 http://mirrors.tuna.tsinghua.edu.cn/ubuntu oracular InRelease
Get:3 http://mirrors.tuna.tsinghua.edu.cn/ubuntu oracular-updates InRelease [126 kB]
Get:4 http://mirrors.tuna.tsinghua.edu.cn/ubuntu oracular-backports InRelease [126 kB]
Get:5 http://security.ubuntu.com/ubuntu oracular-security InRelease [126 kB]
Get:6 http://mirrors.tuna.tsinghua.edu.cn/ubuntu oracular-updates/main amd64 Components [24.3 kB]
Get:7 http://mirrors.tuna.tsinghua.edu.cn/ubuntu oracular-updates/restricted amd64 Components [216 B]
Get:8 http://mirrors.tuna.tsinghua.edu.cn/ubuntu oracular-updates/universe amd64 Components [28.7 kB]
Get:9 http://mirrors.tuna.tsinghua.edu.cn/ubuntu oracular-updates/multiverse amd64 Components [212 B]
Get:10 http://mirrors.tuna.tsinghua.edu.cn/ubuntu oracular-backports/main amd64 Components [212 B]
Get:11 http://mirrors.tuna.tsinghua.edu.cn/ubuntu oracular-backports/restricted amd64 Components [216 B]
Get:12 http://mirrors.tuna.tsinghua.edu.cn/ubuntu oracular-backports/universe amd64 Components [9,696 B]
Get:13 http://mirrors.tuna.tsinghua.edu.cn/ubuntu oracular-backports/multiverse amd64 Components [216 B]
Ign:2 https://download.docker.com/linux/ubuntu oracular InRelease
Get:14 http://security.ubuntu.com/ubuntu oracular-security/main amd64 Components [2,548 B]
Get:15 http://security.ubuntu.com/ubuntu oracular-security/restricted amd64 Components [212 B]
Get:16 http://security.ubuntu.com/ubuntu oracular-security/universe amd64 Components [2,464 B]
Get:17 http://security.ubuntu.com/ubuntu oracular-security/multiverse amd64 Components [212 B]
Get:2 https://download.docker.com/linux/ubuntu oracular InRelease [32.9 kB]
Get:18 https://download.docker.com/linux/ubuntu oracular/stable amd64 Packages [5,794 B]
Fetched 486 kB in 4s (124 kB/s)
All packages are up to date.
root@MiddleWareDocker:~#
```

6. 安装 Docker

使用以下命令安装 Docker： **sudo apt install docker-ce docker-ce-cli containerd.io -y**

```
root@MiddleWareDocker:~# sudo apt install docker-ce docker-ce-cli containerd.io -y
Installing:
  containerd.io  docker-ce  docker-ce-cli

Installing dependencies:
  docker-buildx-plugin  docker-ce-rootless-extras  docker-compose-plugin  libltdl7  libslirp0  pigz  slirp4netns

Suggested packages:
  aufs-tools  cgroupfs-mount  | cgroup-lite

Summary:
  Upgrading: 0, Installing: 10, Removing: 0, Not Upgrading: 0
  Download size: 124 MB
  Space needed: 446 MB / 4,895 MB available

Get:1 http://mirrors.tuna.tsinghua.edu.cn/ubuntu oracular/universe amd64 pigz amd64 2.8-1 [65.6 kB]
Get:2 http://mirrors.tuna.tsinghua.edu.cn/ubuntu oracular/main amd64 libltdl7 amd64 2.4.7-7build1 [40.3 kB]
Get:5 https://download.docker.com/linux/ubuntu oracular/stable amd64 containerd.io amd64 1.7.24-1 [29.5 MB]
Get:3 http://mirrors.tuna.tsinghua.edu.cn/ubuntu oracular/main amd64 libslirp0 amd64 4.8.0-1ubuntu1 [65.7 kB]
Get:4 http://mirrors.tuna.tsinghua.edu.cn/ubuntu oracular/universe amd64 slirp4netns amd64 1.2.1-1build2 [34.9 kB]
Get:6 https://download.docker.com/linux/ubuntu oracular/stable amd64 docker-buildx-plugin amd64 0.19.3-1~ubuntu.24.10~oracular [30.7 MB]
Get:7 https://download.docker.com/linux/ubuntu oracular/stable amd64 docker-ce-cli amd64 5:27.4.1-1~ubuntu.24.10~oracular [15.1 MB]
Get:8 https://download.docker.com/linux/ubuntu oracular/stable amd64 docker-ce amd64 5:27.4.1-1~ubuntu.24.10~oracular [25.8 MB]
70% [8 docker-ce 11.0 MB/25.8 MB 43%]                                                                    3,455 kB/s 10s
```

7. 启动 Docker 并设置开机自启

安装完成后，启动 Docker 服务并设置其在系统启动时自动启动：

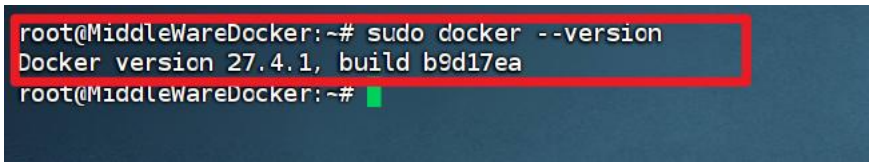
sudo systemctl start docker

sudo systemctl enable docker

8. 检查 Docker 安装情况

使用以下命令检查 Docker 是否安装成功：

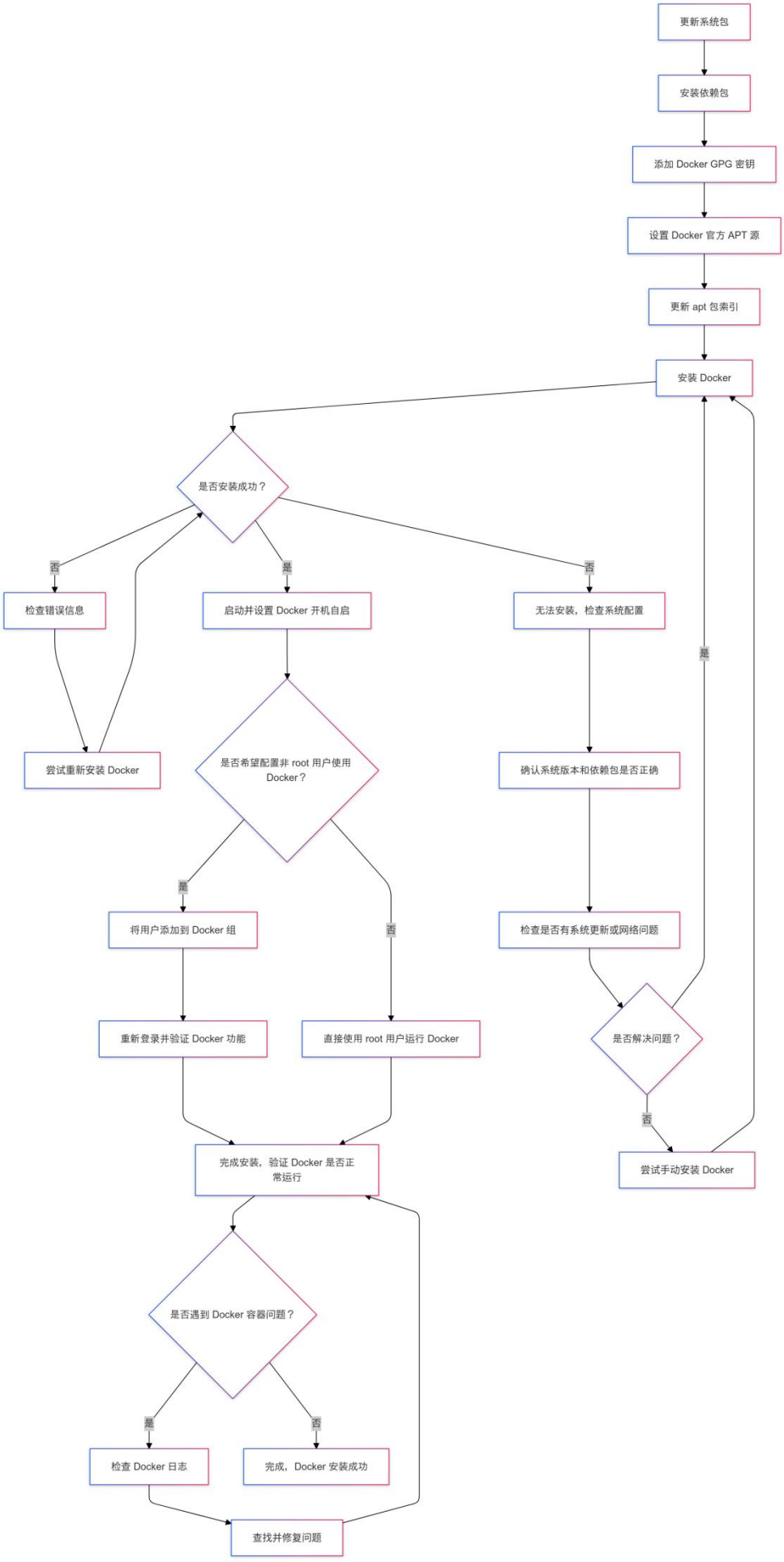
sudo docker --version



运行 hello-world 镜像来确认 Docker 是否正常工作：

发现不能正常拉取镜像源，于是开始换源。

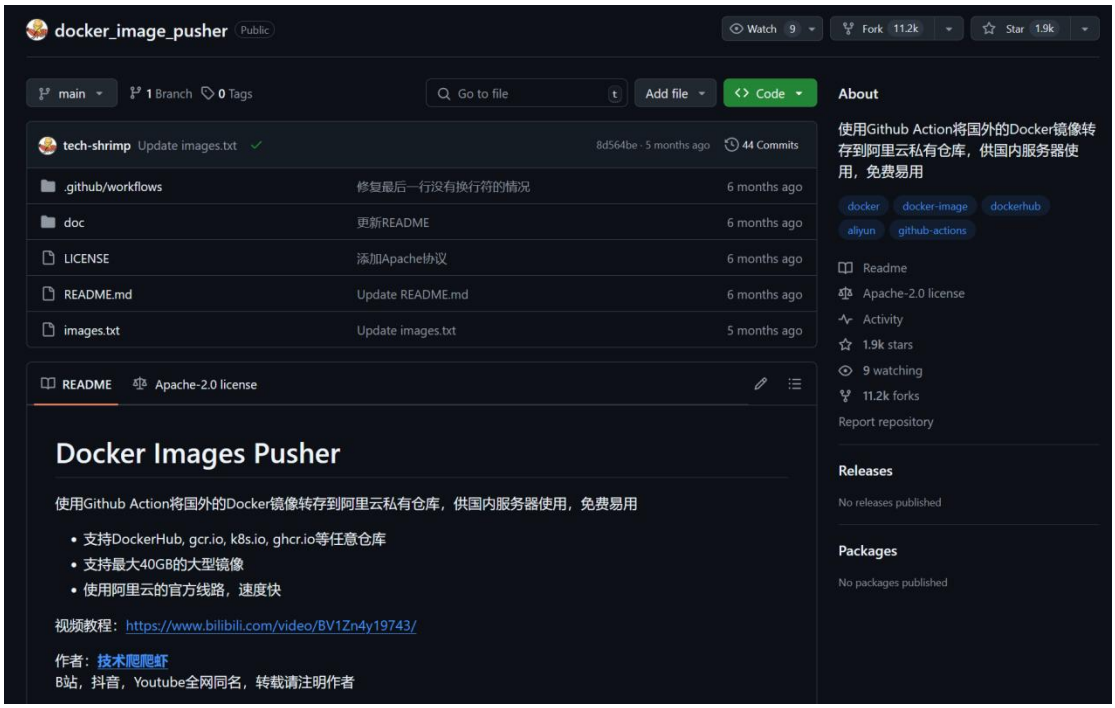
（二）流程图


更新系统包
安装依赖包
添加 Docker GPG 密钥
设置 Docker 官方 APT 源
更新 apt 包索引
安装 Docker
是否安装成功？
否
是
否
检查错误信息
启动并设置 Docker 开机自启
无法安装，检查系统配置
尝试重新安装 Docker
是否希望配置非 root 用户使用 Docker？
确认系统版本和依赖包是否正确
是
将用户添加到 Docker 组
否
检查是否有系统更新或网络问题
重新登录并验证 Docker 功能
直接使用 root 用户运行 Docker
是否解决问题？
是
否
完成安装，验证 Docker 是否正常运行
尝试手动安装 Docker
是否遇到 Docker 容器问题？
是
否
检查 Docker 日志
完成，Docker 安装成功
查找并修复问题

2、Docker 环境搭建的难点与问题

在安装完成后发现由于不可抗力不可以直接访问国外的 dockerhub，同时了解到国内的镜像源大部分都被下架，并且难以保持镜像源版本同步更新。于是最终选择了使用 GithubAction 和阿里云个人镜像仓库的办法。

项目地址：https://github.com/yangtaoytt/docker_image_pusher

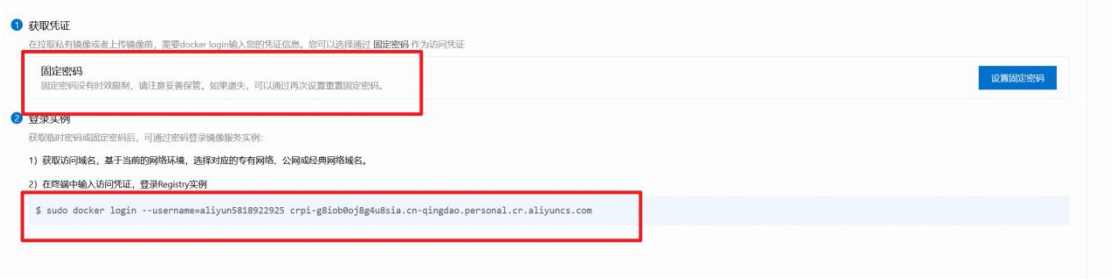


具体操作过程如下：

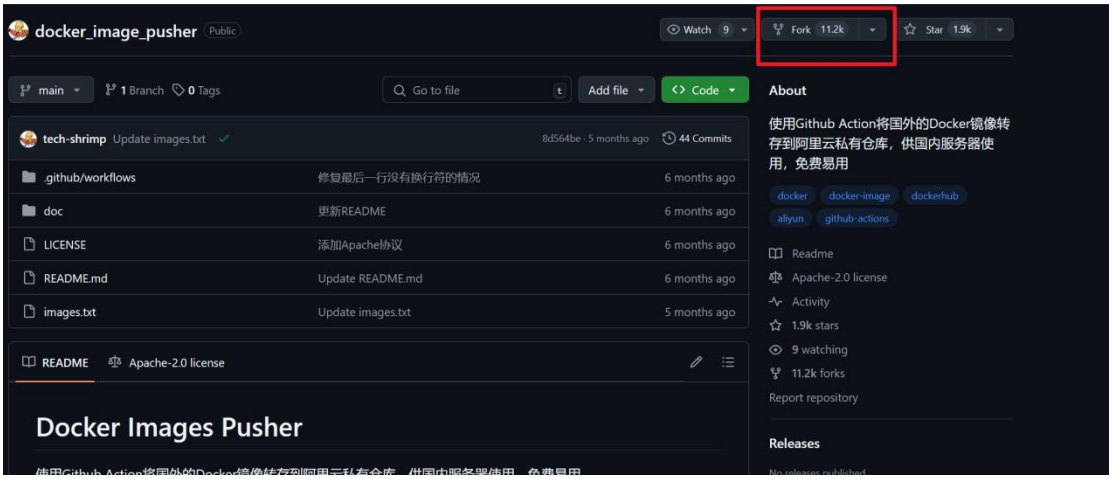
1．登录阿里云的容器镜像服务，选择创建个人实例

2．新建一个命名空间，设置登陆用户名和密码。

3. 点击凭据管理，记录下凭证信息。



4. 进入项目主页，选择 fork 项目。



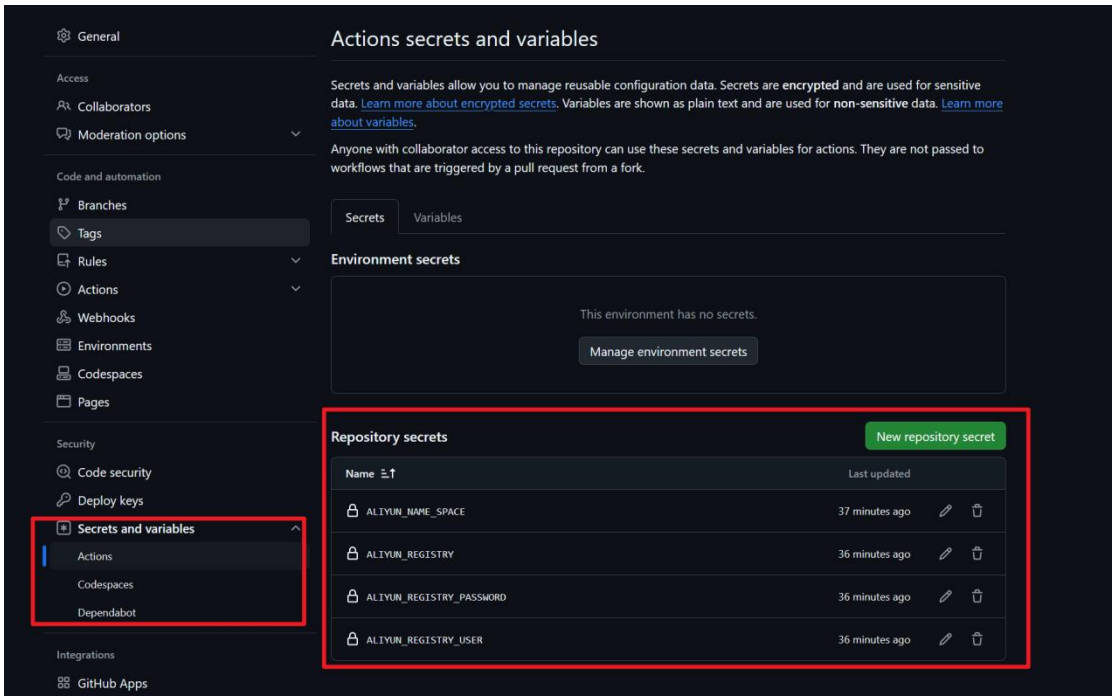
5. 在项目设置里的 Action 处依次填入环境变量：

用户名（ALIYUN_REGISTRY_USER）

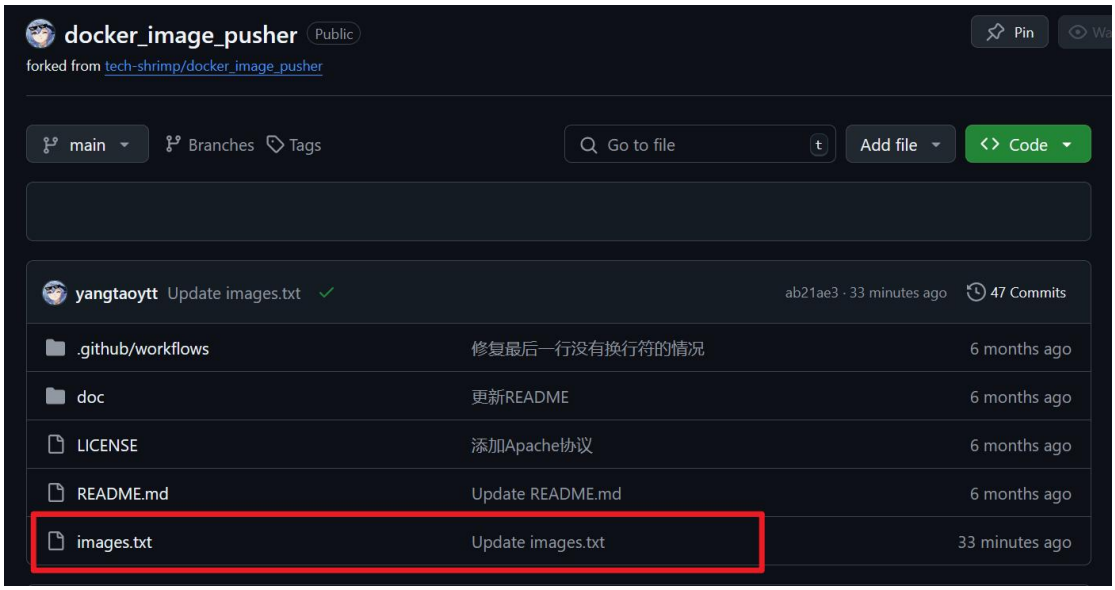
密码（ALIYUN_REGISTRY_PASSWORD）

仓库地址（ALIYUN_REGISTRY）

命名空间（ALIYUN_NAME_SPACE）

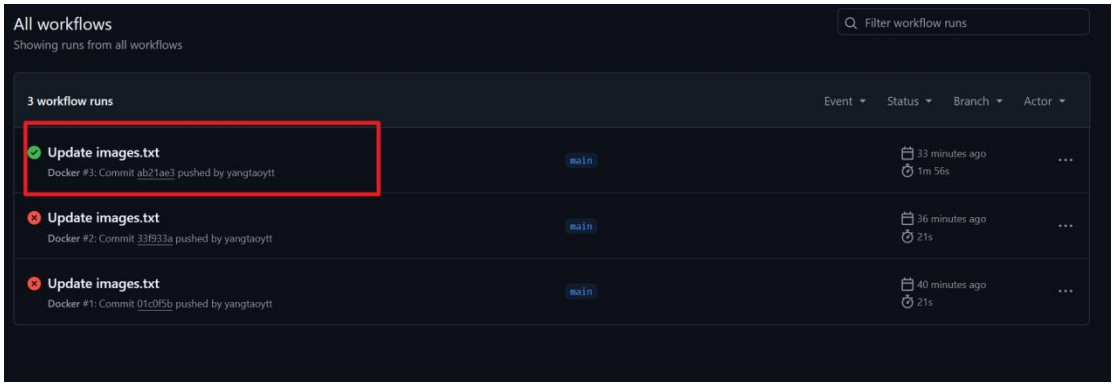


6. 修改 fork 后项目的 images.txt，加入想要的镜像。

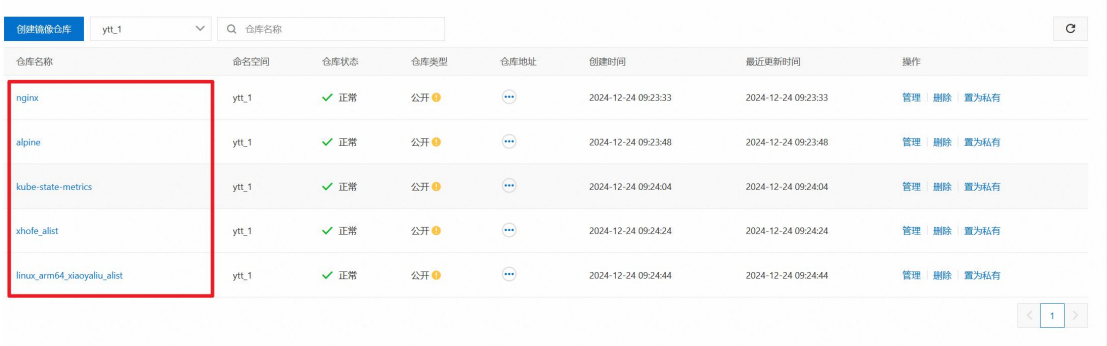



```
nginx
alpine
#支持私库
k8s.gcr.io/kube-state-metrics/kube-state-metrics:v2.0.0
xhofe/alist:latest
#支持指定架构
--platform=linux/arm64 xiaoyaliu/alist
#dgg
```

7. 等待 Action 运行成功



8. 回到阿里云镜像仓库，即可看到保存的镜像。



二、Docker 容器的启动与卸载

1、Docker 容器的启动与卸载的流程与要点

（一）启动卸载操作步骤

1．查看当前运行的容器：

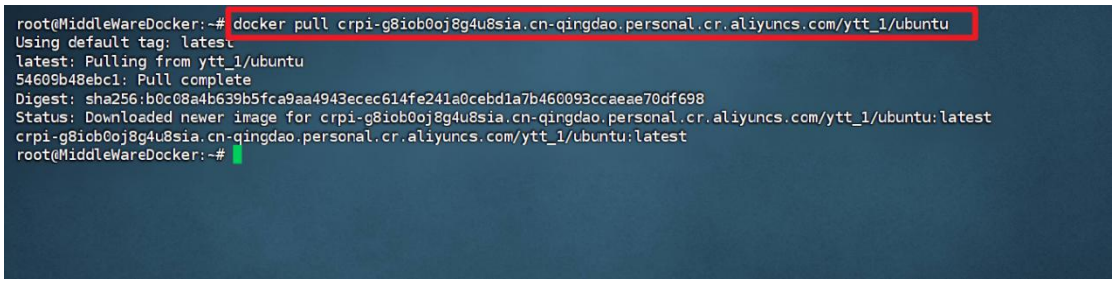
sudo docker ps

2．查看所有容器（包括已停止的容器）：

sudo docker ps -a

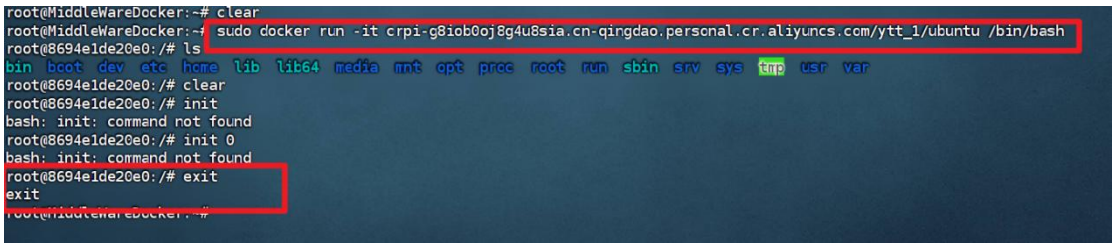
3．从 Registry 中拉取 ubuntu 镜像：

docker pull crpi-g8iob0oj8g4u8sia.cn-qingdao.personal.cr.aliyuncs.com/ytt_1/ubuntu（阿里云个人仓库）



4．启动一个简单的 Ubuntu 容器：

sudo docker run -it crpi-g8iob0oj8g4u8sia.cn-qingdao.personal.cr.aliyuncs.com/ytt_1/ubuntu /bin/bash

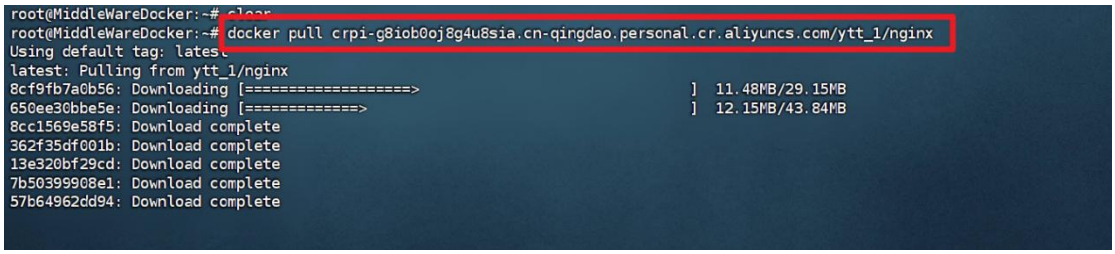


5．后台启动容器：

sudo docker run -d --name mycontainer
crpi-g8iob0oj8g4u8sia.cn-qingdao.personal.cr.aliyuncs.com/ytt_1/ubuntu sleep 1000

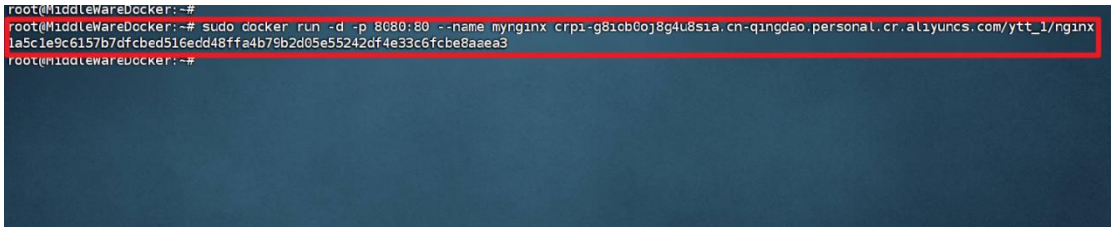
6．拉取 nginx 镜像：

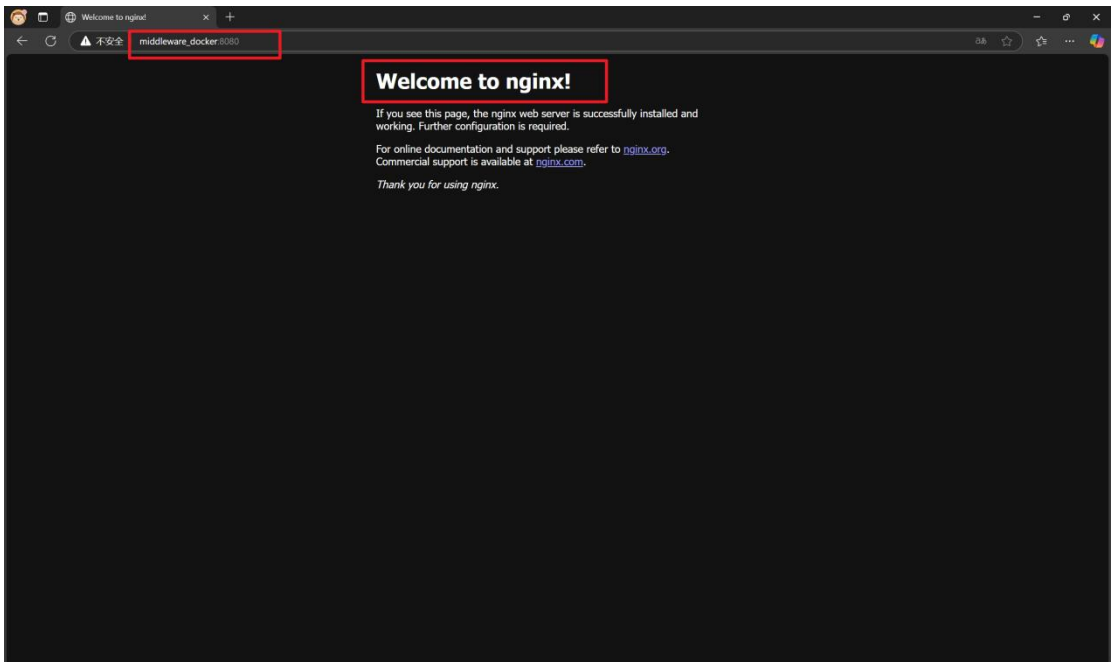
docker pull crpi-g8iob0oj8g4u8sia.cn-qingdao.personal.cr.aliyuncs.com/ytt_1/nginx



7．运行一个 Web 服务器（如 Nginx），并将容器的端口 80 映射到主机的端口 8080：

sudo docker run -d -p 8080:80 --name mynginx
crpi-g8iob0oj8g4u8sia.cn-qingdao.personal.cr.aliyuncs.com/ytt_1/nginx





8．进入正在运行的容器：

sudo docker exec -it mycontainer /bin/bash

```
root@MiddleWareDocker:~#
root@MiddleWareDocker:~# sudo docker exec -it mycontainer /bin/bash
root@e0d7df2275b5:/# ll
total 56
drwxr-xr-x   1 root root 4096 Dec 24 02:08 ./
drwxr-xr-x   1 root root 4096 Dec 24 02:08 ../
-rwxr-xr-x   1 root root    0 Dec 24 02:08 .dockerenv*
lrwxrwxrwx   1 root root    7 Apr 22  2024 bin -> usr/bin/
drwxr-xr-x   2 root root 4096 Apr 22  2024 boot/
drwxr-xr-x   5 root root  340 Dec 24 02:08 dev/
drwxr-xr-x   1 root root 4096 Dec 24 02:08 etc/
drwxr-xr-x   3 root root 4096 Nov 19 09:52 home/
lrwxrwxrwx   1 root root    7 Apr 22  2024 lib -> usr/lib/
lrwxrwxrwx   1 root root    9 Apr 22  2024 lib64 -> usr/lib64/
drwxr-xr-x   2 root root 4096 Nov 19 09:46 media/
drwxr-xr-x   2 root root 4096 Nov 19 09:46 mnt/
drwxr-xr-x   2 root root 4096 Nov 19 09:46 opt/
dr-xr-xr-x 314 root root    0 Dec 24 02:08 proc/
drwx------   2 root root 4096 Nov 19 09:52 root/
```

9．停止运行的容器：

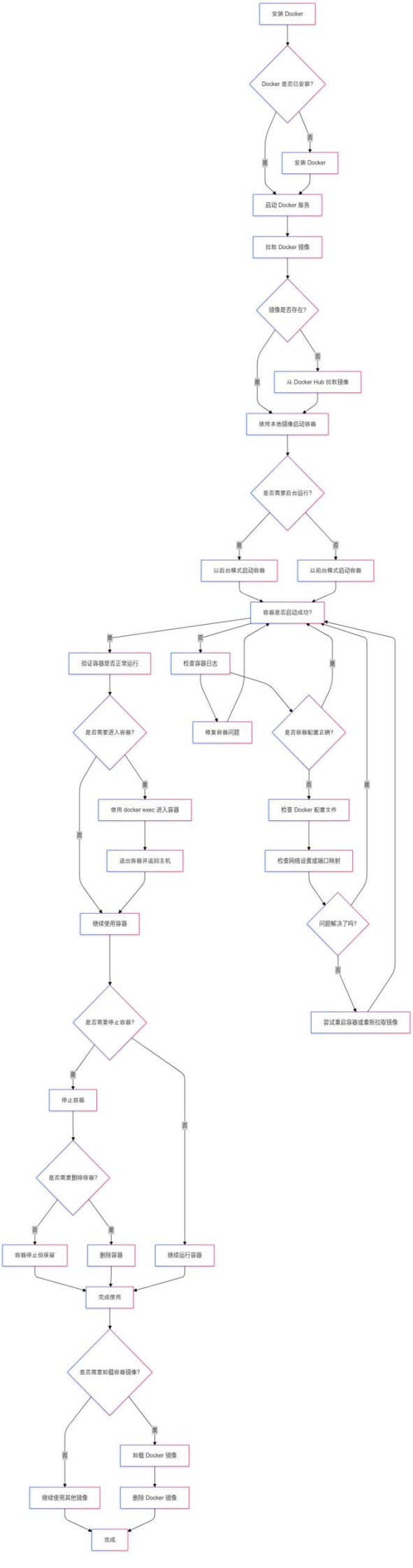
sudo docker stop mycontainer

```
root@MiddleWareDocker:~# sudo docker stop mycontainer
mycontainer
root@MiddleWareDocker:~#
```

10．删除容器：

sudo docker rm mycontainer

（二）流程图


安装 Docker
Docker 是否已安装?
否
是
安装 Docker
启动 Docker 服务
拉取 Docker 镜像
镜像是否存在?
否
是
从 Docker Hub 拉取镜像
使用本地镜像启动容器
是否需要后台运行?
是
否
以后台模式启动容器
以前台模式启动容器
容器是否启动成功?
是
否
验证容器是否正常运行
检查容器日志
是
是否需要进入容器?
修复容器问题
是否容器配置正确?
是
否
使用 docker exec 进入容器
检查 Docker 配置文件
是
否
退出容器并返回主机
检查网络设置或端口映射
继续使用容器
问题解决了吗?
是
否
是否需要停止容器?
尝试重启容器或重新拉取镜像
是
否
停止容器
是否需要删除容器?
否
是
容器停止但保留
删除容器
继续运行容器
完成使用
是否需要卸载容器镜像?
是
否
卸载 Docker 镜像
继续使用其他镜像
删除 Docker 镜像
完成

2、Docker 容器的启动与卸载的难点与问题

（按照自身实践的经验，总结 Docker 容器的启动与卸载过程中容易犯错的点，描述实践过程中遇到的难题及解决的方法。）

1. 端口冲突

启动容器时，常常会遇到端口冲突的问题。例如，容器内的应用需要使用一些常见的端口（比如 80 或 3306），但这些端口可能已经被宿主机上的其他程序占用了。这样，容器就无法正常启动。

解决方法： 只要稍微调整一下端口映射就能解决这个问题。如果不想使用默认端口，可以把容器内部的端口映射到宿主机的其他端口。

2. 镜像拉取失败

有时候，拉取 Docker 镜像的时候会遇到失败，通常是网络不稳定或 Docker Hub 访问问题。错误信息可能是 `network timeout` 或 `repository not found`。

解决方法： 在国内使用 Docker 时，拉取镜像会比较慢，甚至失败。这个时候，配置一个镜像加速器（比如阿里云的加速器）会大大提升速度，避免拉取失败。

3. 挂载卷的权限问题

启动容器时，如果你挂载了宿主机的目录到容器中，有时会遇到权限问题。比如容器中的应用可能没有权限写入宿主机目录，这会导致容器启动失败或功能异常。

解决方法： 最好先检查一下宿主机的目录权限，确保容器能正常访问这些目录。我通常会设置较宽松的权限（比如 `777`），保证容器可以读写。

三、基于 Docker 的应用部署

1．制作 dockerfile

（1）项目介绍

是一个我参与制作的单机关系型数据库，可以分为前端和后端两部分。

前端负责提供一个 web 接口，可以在 web 浏览器直接向后端数据库发请求。

（2）依赖

①前端依赖

前端依赖主要是与 Node.js 和 npm 相关。以下是关键部分：

1. **Node.js 18.x**: 安装 Node.js 18.x 版本来支持前端的 JavaScript 构建工具和相关服务。Node.js 的安装包括了 npm 的安装，npm 是一个流行的前端包管理工具。
2. **npm 镜像配置**: 为了提高速度，配置 npm 使用淘宝镜像源。

②后端依赖

后端依赖主要是与环境配置和运行有关的组件，具体包括：

1. **Python 3**: 安装了 Python3 及其虚拟环境工具（`python3-venv`）和 setuptools，支持后端 Python 脚本和应用程序的运行。
2. **Git**: 用于克隆远程仓库，获取需要的脚本或源代码。
3. **make 和 build-essential**: 安装编译工具和基础库，支持源代码的构建和安装。
4. **Wetty**: 一个 Web 终端，提供了对后端系统的访问接口。

（3）Dockerfile 介绍

①基础镜像选择

```
FROM ubuntu:24.10
```

选择 Ubuntu 24.10 作为基础镜像，它是一个稳定且广泛使用的操作系统版本，适合构建开发环境。

②更新与安装基础工具

```
RUN apt-get update
RUN apt-get upgrade -y
RUN apt-get install -y curl
RUN apt-get install -y gnupg2
RUN apt-get install -y lsb-release
RUN apt-get install -y build-essential
RUN apt-get install -y make
RUN apt-get install -y python3
```

```
RUN apt-get install -y python3-venv python3-setuptools
```

1. **更新包列表**：使用 `apt-get update` 确保镜像中的包信息是最新的。
2. **升级已安装包**：通过 `apt-get upgrade` 升级所有现有的软件包。
3. **安装常用工具**：安装 `curl`、`gnupg2`、`lsb-release`、`build-essential`、`make` 等常见开发工具以及 Python3 相关依赖。

③安装 Node.js 和配置 npm

```
RUN curl -fsSL https://deb.nodesource.com/setup_18.x | bash -
RUN apt-get install -y nodejs
RUN npm config set registry https://registry.npmmirror.com
```

1. **安装 Node.js**：设置 Node.js 18.x 的安装仓库，并安装 Node.js。
2. **配置 npm 镜像**：更换 npm 镜像为淘宝源，提升依赖下载速度，尤其是在中国地区。

④安装 Wetty

```
RUN npm install -g wetty@2.5
```

通过 npm 安装 Wetty，一个可以通过浏览器访问的终端程序。它允许用户通过 Web 界面连接到容器的命令行环境，增强交互性。

⑤克隆仓库并配置 Bustub 环境

```
RUN apt-get install -y git dos2unix
RUN git clone https://gitee.com/yangtaoytt/bustub-shell-preparation.git /opt/bustub-shell-preparation
WORKDIR /opt/bustub-shell-preparation
RUN dos2unix packages.sh
RUN chmod +x packages.sh && ./packages.sh
```

1. **Git 克隆**：克隆指定的 Git 仓库，获取 Bustub 环境的相关脚本和代码。
2. **文件格式转换**：使用 `dos2unix` 转换 Windows 格式的脚本文件为 Unix 格式，确保脚本在 Linux 环境下正常执行。
3. **运行环境配置脚本**：运行 `packages.sh` 配置必要的环境依赖。

⑥配置执行文件

```
RUN chmod +x bustub-shell && mv bustub-shell /usr/local/bin/bustub-shell
```

设置可执行文件权限，并将其移动到系统的 /usr/local/bin 路径，使其可以全局访问。

⑦创建特定用户及执行脚本

```
RUN echo '#!/bin/bash\n/usr/local/bin/bustub-shell\nexit' > /usr/local/bin/limited_shell.sh
RUN chmod +x /usr/local/bin/limited_shell.sh
RUN useradd -m specialuser && echo "specialuser:114514" | chpasswd
```

```
RUN usermod -s /usr/local/bin/limited_shell.sh specialuser
```

1. **创建用户**：创建一个新用户 `specialuser`，并设置密码。
2. **自定义 Shell**：将用户的默认 shell 设置为 `limited_shell.sh`，此脚本会在用户登录时启动指定的环境。

⑧配置容器启动命令

```
ENTRYPOINT ["wetty", "--host", "0.0.0.0", "--port", "3000"]
```

配置容器启动时自动运行 Wetty，并监听在端口 3000 上，允许通过浏览器访问终端。

（4）遇到的问题（部分）

①问题一：wetty 版本问题

Wetty 最新版为 2.7.0，通过 npm 安装，但是最新版 wetty 在部分系统上会出现黑屏卡住崩溃的现象。

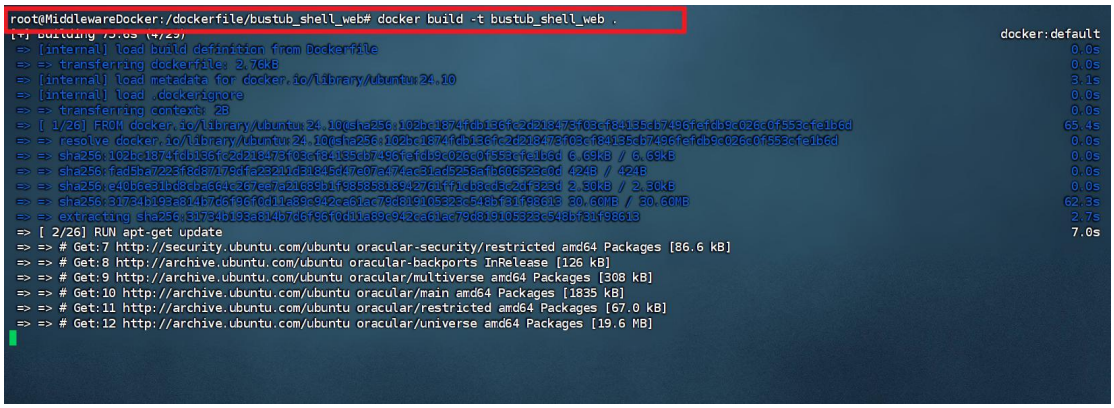
解决办法为使用 2.5.0 版本的 wetty 代替。

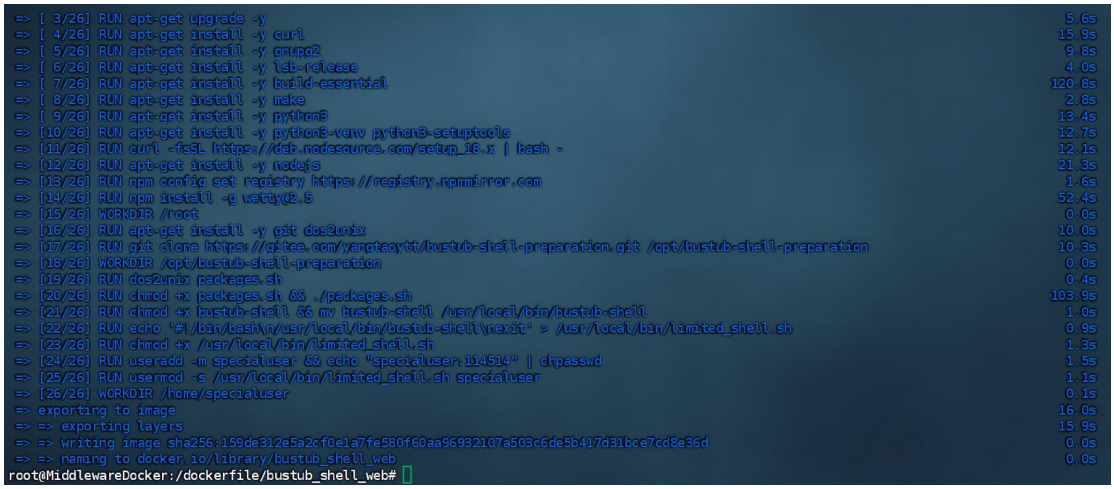
②问题二：ubuntu python-distutils 问题

python-distutils 是 npm 安装所需 py 环境之一，但是在 ubuntu22 以上版本被默认移除，尤其是 docker 的镜像版本中，我测试时使用的虚拟机是自带 py3 环境的，因此没有注意。在 dockerbuild 的时候就出了问题，并且这个包已经不被 apt 支持了，最后只能使用 python-evn，其中会携带这个包来代替。

2. 在一个配置好 docker 服务的主机上上传 dockerfile，并在相同目录下执行 docker 构建命令

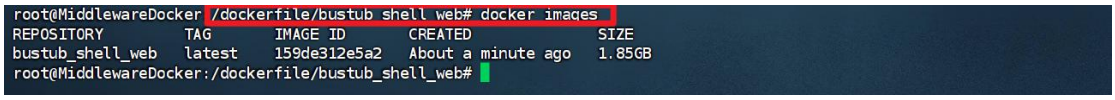
docker build -t bustub_shell_web .





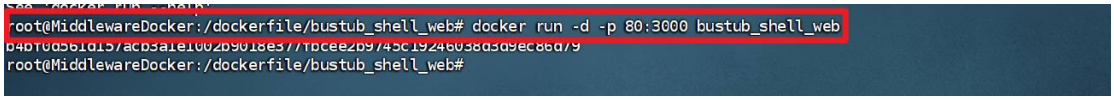
3. 构建完成后查看 docker 镜像是否存在

docker images



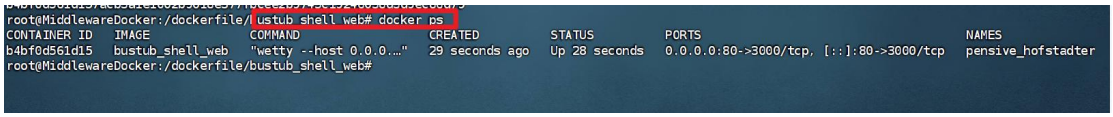
4. 启动 docker 镜像，并将主机 80 端口映射到 3000

docker run -d -p 80:3000 bustub_shell_web



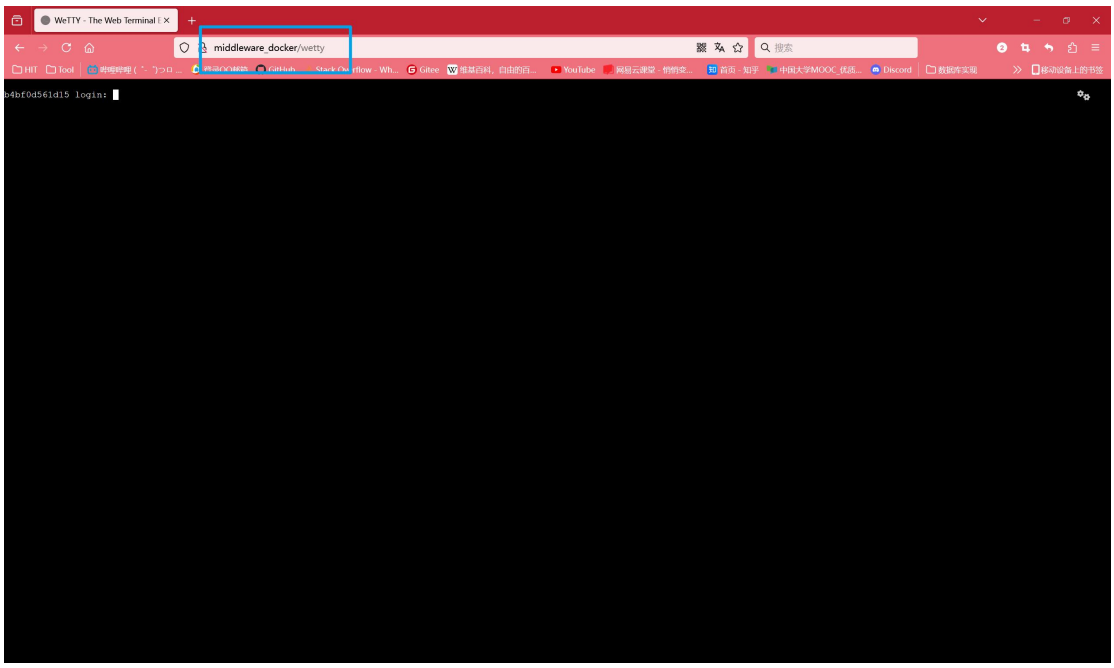
5. 查看容器是否正常运行

docker ps



6. 在其他主机上访问运行 docker 的主机

浏览器访问 http://middleware_docker/wetty



7. 输入预先设定的账号密码登录系统

账号 specialuser

密码 114514

```
b4bf0d561d15 login: specialuser
Password:
Welcome to Ubuntu 24.10 (GNU/Linux 6.11.0-13-generic x86_64)

 * Documentation:  https://help.ubuntu.com
 * Management:     https://landscape.canonical.com
 * Support:        https://ubuntu.com/pro

This system has been minimized by removing packages and content that are
not required on a system that users do not log into.

To restore this content, you can run the 'unminimize' command.

The programs included with the Ubuntu system are free software;
the exact distribution terms for each program are described in the
individual files in /usr/share/doc/*/copyright.

Ubuntu comes with ABSOLUTELY NO WARRANTY, to the extent permitted by
applicable law.

Welcome to the BusTub shell! Type \help to learn more.

bustub>
```

登陆成功

8. 测试数据库是否正常工作

（1）内置命令

\help

```
bustub> \help
Welcome to the BusTub shell!

\dt: show all tables
\di: show all indices
\dbgmvcc <table>: show version chain of a table
\help: show this message again
\txn: show current txn information
\txn <txn_id>: switch to txn
\txn gc: run garbage collection
\txn -1: exit txn mode

BusTub shell currently only supports a small set of Postgres queries. We'll set
up a doc describing the current status later. It will silently ignore some parts
of the query, so it's normal that you'll get a wrong result when executing
unsupported SQL queries. This shell will be able to run `create table` only
after you have completed the buffer pool manager. It will be able to execute SQL
queries after you have implemented necessary query executors. Use `explain` to
see the execution plan of your query.

bustub>
```

\dt

```
bustub> \dt
+-----+---------------------------+-----------------------------------------------------------------------------------------+
| oid | name                      | cols                                                                                    |
+-----+---------------------------+-----------------------------------------------------------------------------------------+
| 23  | test_2                    | (colA:INTEGER, colB:INTEGER, colC:INTEGER)                                              |
| 21  | test_simple_seq_2         | (col1:INTEGER, col2:INTEGER)                                                            |
| 19  | empty_table               | (colA:INTEGER)                                                                          |
| 17  | __mock_t8                 | (v4:INTEGER)                                                                            |
| 16  | __mock_t7                 | (v:INTEGER, v1:INTEGER, v2:INTEGER)                                                     |
| 15  | __mock_t6_1m              | (x:INTEGER, y:INTEGER)                                                                  |
| 13  | __mock_t4_1m              | (x:INTEGER, y:INTEGER)                                                                  |
| 8   | __mock_table_schedule_2022 | (day_of_week:VARCHAR, has_lecture:INTEGER)                                              |
| 22  | test_1                    | (colA:INTEGER, colB:INTEGER, colC:INTEGER, colD:INTEGER)                                |
| 18  | __mock_t9                 | (x:INTEGER, y:INTEGER)                                                                  |
| 11  | __mock_graph              | (src:INTEGER, dst:INTEGER, src_label:VARCHAR, dst_label:VARCHAR, distance:INTEGER)      |
| 1   | __mock_table_2            | (colC:VARCHAR, colD:VARCHAR)                                                            |
| 20  | test_simple_seq_1         | (col1:INTEGER)                                                                          |
| 6   | __mock_agg_input_small    | (v1:INTEGER, v2:INTEGER, v3:INTEGER, v4:INTEGER, v5:INTEGER, v6:VARCHAR)                |
| 2   | __mock_table_3            | (colE:INTEGER, colF:VARCHAR)                                                            |
| 14  | __mock_t5_1m              | (x:INTEGER, y:INTEGER)                                                                  |
| 3   | __mock_table_tas_2022     | (github_id:VARCHAR, office_hour:VARCHAR)                                                |
| 4   | __mock_table_tas_2023     | (github_id:VARCHAR, office_hour:VARCHAR)                                                |
| 0   | __mock_table_1            | (colA:INTEGER, colB:INTEGER)                                                            |
| 5   | __mock_table_tas_2023_fall | (github_id:VARCHAR, office_hour:VARCHAR)                                                |
| 7   | __mock_agg_input_big      | (v1:INTEGER, v2:INTEGER, v3:INTEGER, v4:INTEGER, v5:INTEGER, v6:VARCHAR)                |
| 9   | __mock_table_schedule_2023 | (day_of_week:VARCHAR, has_lecture:INTEGER)                                              |
| 10  | __mock_table_123          | (number:INTEGER)                                                                        |
| 12  | __mock_t1                 | (x:INTEGER, y:INTEGER, z:INTEGER)                                                       |
+-----+---------------------------+-----------------------------------------------------------------------------------------+
bustub>
```

（2）创建和插入表

①创建表

```
bustub> CREATE TABLE t1 (
...     v1 INT,
...     v2 INT,
...     v3 VARCHAR(128)
... );
Table created with id = 24
```

②插入数据

```
bustub> INSERT INTO t1 VALUES (1, 2, '😊'), (3, 4, '🌟'), (5, 6, '🍕');
+--------------------------------+
| __bustub_internal.insert_rows |
+--------------------------------+
| 3                              |
+--------------------------------+
```

（3）查询操作

①查询表

```
bustub> SELECT * FROM t1;
+-------+-------+-------+
| t1.v1 | t1.v2 | t1.v3 |
+-------+-------+-------+
| 1     | 2     | 😊    |
| 3     | 4     | 🌟    |
| 5     | 6     | 🍕    |
+-------+-------+-------+
```

②查询特定列和条件

```
bustub> SELECT v1, v2 FROM t1 WHERE v3 = '😊;
+-------+-------+
| t1.v1 | t1.v2 |
+-------+-------+
| 1     | 2     |
+-------+-------+
```

③聚合查询：按 v3 分组并计算 v1 的个数

```
bustub> SELECT v3, COUNT(v1) FROM t1 GROUP BY v3;
+-------+-----------+
| t1.v3 | <unnamed> |
+-------+-----------+
| 🍕    | 1         |
| 🌟    | 1         |
| 😊    | 1         |
+-------+-----------+
```

④使用 HAVING 筛选聚合结果：求 v1 的和大于 4

```
bustub> SELECT v3, SUM(v1) FROM t1 GROUP BY v3 HAVING SUM(v1) > 4;
+-------+-----------+
| t1.v3 | <unnamed> |
+-------+-----------+
| 🍕    | 5         |
+-------+-----------+
```

（4）更新和删除操作

①更新操作：将 v1 为 3 的记录的 v3 更新

```
bustub> UPDATE t1 SET v3 = '🎁 WHERE v1 = 3;
+-------------------------------+
| __bustub_internal.update_rows |
+-------------------------------+
| 1                             |
+-------------------------------+
```

②删除操作：删除 v2 大于 3 的记录

（5）创建索引和查询优化

①创建索引

```
bustub> DELETE FROM t1 WHERE v2 > 3;
+-----------------------------+
| __bustub_internal.delete_rows |
+-----------------------------+
| 2                           |
+-----------------------------+
```

②使用索引查询

```
bustub> CREATE INDEX idx_v1 ON t1(v1);
Index created with id = 0
```

（6）JOIN 操作

```
bustub> SELECT * FROM t1 WHERE v1 = 3;
+-------+-------+-------+
| t1.v1 | t1.v2 | t1.v3 |
+-------+-------+-------+
```

①创建第二个表 t2

```
bustub> CREATE TABLE t2 (
...     v1 INT,
...     v4 VARCHAR(128)
... );
Table created with id = 25
```

②插入数据到 t2

```
bustub> INSERT INTO t2 VALUES (1, '🍎'), (3, '🍌'), (5, '🍓');
+-----------------------------+
| __bustub_internal.insert_rows |
+-----------------------------+
| 3                           |
+-----------------------------+
```

③INNER JOIN 操作

```
bustub> SELECT t1.v1, t1.v3, t2.v4
... FROM t1 INNER JOIN t2 ON t1.v1 = t2.v1;
+-------+-------+-------+
| t1.v1 | t1.v3 | t2.v4 |
+-------+-------+-------+
| 1     | 😊    | 🍎    |
| 3     | 🌟    | 🍌    |
| 5     | 🍕    | 🍓    |
+-------+-------+-------+
```

④LEFT OUTER JOIN 操作

```
bustub> SELECT t1.v1, t1.v3, t2.v4
... FROM t1 LEFT OUTER JOIN t2 ON t1.v1 = t2.v1;
+-------+-------+-------+
| t1.v1 | t1.v3 | t2.v4 |
+-------+-------+-------+
| 1     | 😊    | 🍎    |
| 3     | 🌟    | 🍌    |
| 5     | 🍕    | 🍓    |
+-------+-------+-------+
```

（7）排序和限制结果

①排序操作：按 v1 降序排列

```
bustub> SELECT * FROM t1 ORDER BY v1 DESC;
+-------+-------+-------+
| t1.v1 | t1.v2 | t1.v3 |
+-------+-------+-------+
| 5     | 6     | 🍕    |
| 3     | 4     | 🌟    |
| 1     | 2     | 😊    |
+-------+-------+-------+
```

②限制查询结果：只返回前 2 条记录

```
bustub> SELECT * FROM t1 LIMIT 2;
+-------+-------+-------+
| t1.v1 | t1.v2 | t1.v3 |
+-------+-------+-------+
| 1     | 2     | 😊    |
| 3     | 4     | 🌟    |
+-------+-------+-------+
```

（8）聚合函数与窗口函数

①聚合函数：求最大值、最小值

```
bustub> SELECT MAX(v1), MIN(v2) FROM t1;
+-----------+-----------+
| <unnamed> | <unnamed> |
+-----------+-----------+
| 5         | 2         |
+-----------+-----------+
```

②窗口函数：计算每行的累计和

```
bustub> SELECT v1, SUM(v1) OVER (ORDER BY v1) AS cumulative_sum FROM t1;
+-------+----------------+
| t1.v1 | cumulative_sum |
+-------+----------------+
| 1     | 1              |
| 3     | 4              |
| 5     | 9              |
+-------+----------------+
```

③分区窗口函数：按 v3 分组计算 v1 的最小值

```
bustub> SELECT v1, MIN(v1) OVER (PARTITION BY v3) AS avg_v1 FROM t1;
+-------+--------+
| t1.v1 | avg_v1 |
+-------+--------+
| 1     | 1      |
| 3     | 3      |
| 5     | 5      |
+-------+--------+
```