

OS LAB 1 Rust与双链表

提交截止时间：2023年3月20日24时

- 1 简介
- 2 评分标准
- 3 环境的搭建和项目说明
 - 3.1 Windows 下Rust的安装
 - 3.2 Linux和Mac OS下的安装
 - 3.3 IDE环境
 - 3.4 运行项目的测试
 - 3.5 项目文件说明
 - 3.6 需要实现的部分
- 4 Part 1 链表的基本功能
- 5 Part 2 6个简单的链表操作
- 6 Part 3 归并排序(选做)
- 7 提交
 - 7.1 commit
 - 7.1.1 命令行
 - 7.1.2 vscode
 - 7.2 patch
 - 7.3 在平台上提交

1 简介

在这个实验中，你需要自学Rust语言，并根据提示实现一个简单的双链表（可以使用Unsafe）。

这是一个单人项目，你需要独立完成项目。我们提供了若干测试用例，你的代码需要能够通过测试用例。作为我们评分的标准，你需要提交代码以及一份简短的实验报告。实验报告的内容可以包括下面的三个部分：

- Rust学习心得 or 笔记 or 学习记录
- 简要描述你的整体设计
- 对Rust实现链表其他方法的探究 or 实验中遇到的困难 or 对本实验的内容和难度的反馈

共2页左右即可。

我们推荐你使用以下两本书进行学习：

- [Rust圣经](#)
- [Learn Rust With Entirely Too Many Linked Lists](#)（中文版：[手把手带你实现链表](#)）

前者你可以学习到Rust的基本语法，而后者可以帮助你完成这个lab。你可能并不需要完整地看完它们的全部内容。但是下面这些知识点你可能会用到：

- [生命周期](#)
- [迭代器](#)
- [智能指针](#)
- [循环引用与自引用](#)
- [闭包 Closure](#)
- [使用 use 及受限可见性](#)
- [泛型和特征](#)
- [标准库的双链表实现](#)

如果你希望更深入的学习Rust，或者你觉得某方面的知识点没有理解，你还可以参考以下视频和文档：

- [Rust 程序设计语言](#)
- [通过例子学 Rust](#)
- [清华计算机系大一学生2022暑期课程：Rust程序设计训练（有课程视频）](#)
- [rust-lang/rustlings: Small exercises to get you used to reading and writing Rust code!](#)

2 评分标准

部分	子项	分值
Part 1	- test_rev_for_loop`test_iter	5分，其余5个每个测试点4分，共30分
Part 2	- test_get,test_remove,test_insert	每个7分，其他（3个）每个8分，共45分
Part 3		选做
报告	-	25分
总分		100分

3 环境的搭建和项目说明

本小节将介绍如何搭建一个Rust环境，并运行项目中的测试。你可以直接参考[安装 Rust 环境 - Rust语言圣经\(Rust Course\)](#)搭建环境。

3.1 Windows 下Rust的安装

点击链接[Rust安装包](#) 下载，或者在[Rust网站](#)上面找到对应的链接。

```
Rust Visual C++ prerequisites

Rust requires a linker and Windows API libraries but they don't seem to be
available.

These components can be acquired through a Visual Studio installer.

1) Quick install via the Visual Studio Community installer
   (free for individuals, academic uses, and open source).

2) Manually install the prerequisites
   (for enterprise and advanced users).

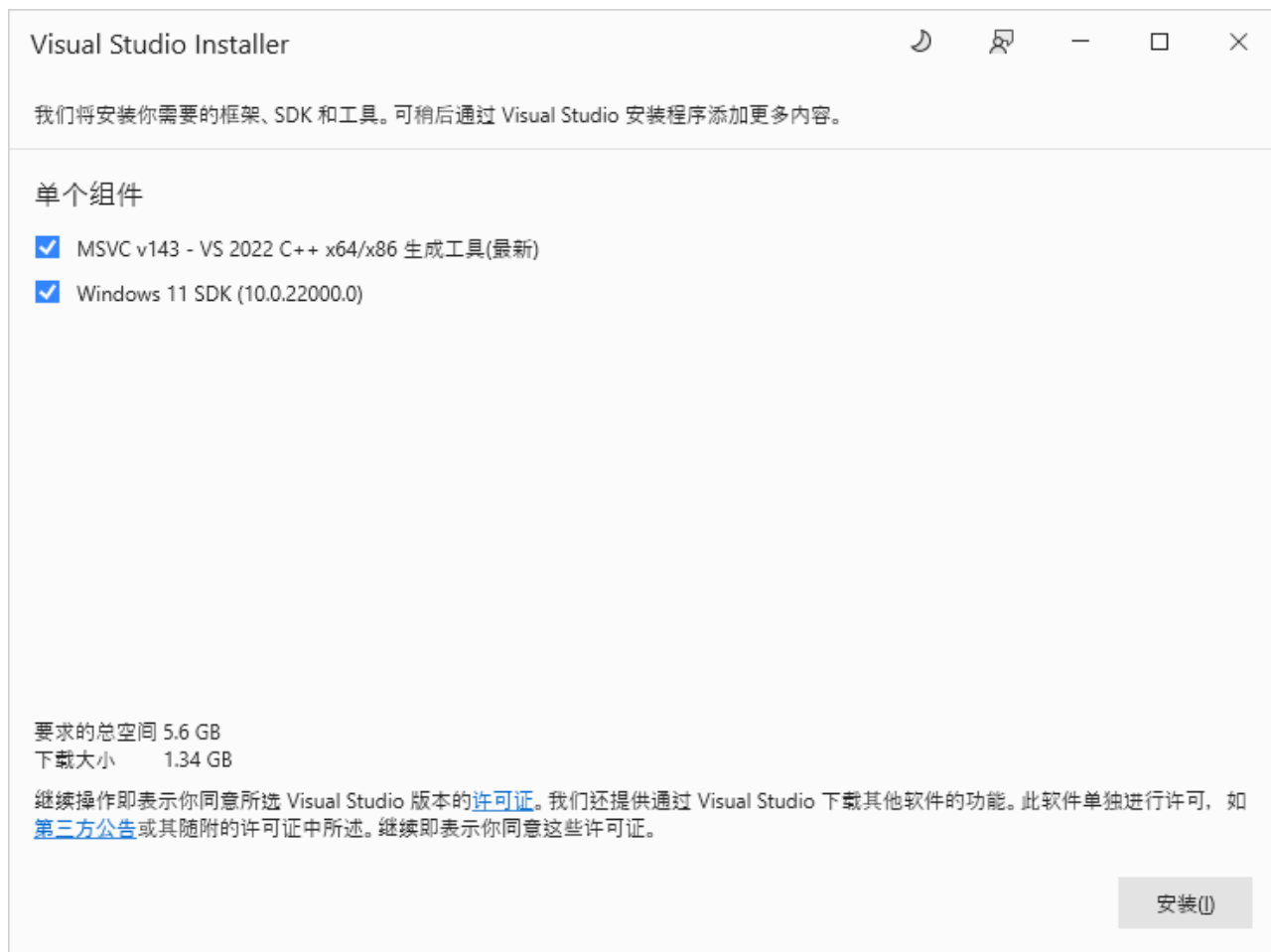
3) Don't install the prerequisites
   (if you're targetting the GNU ABI).

>1

info: downloading Visual Studio installer
info: running the Visual Studio install
info: rustup will continue once Visual Studio installation is complete
```

你可以选择1使用msvc版本，需要下载Microsoft C++ Build Tools（如果没装过VS Studio, 会自动安装，需要5GB空间）；或者安装在msys上面（见[安装 Rust 环境 - Rust语言圣经\(Rust Course\)](#)）。

安装的流程一路按确定就可以：





自动安装完成后，旁边的控制台会打印类似这样的输出：

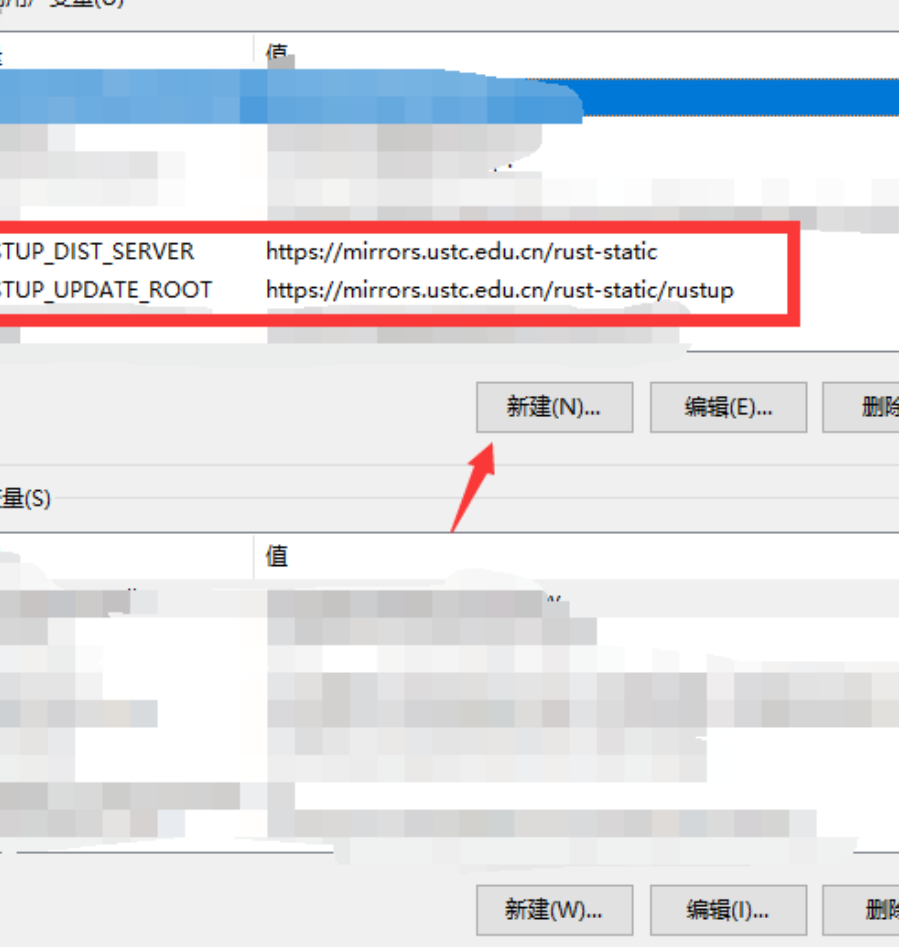
```
The Cargo home directory is located at:
  C:\Users\...\cargo
This can be modified with the CARGO_HOME environment variable.
The cargo, rustc, rustup and other commands will be added to
Cargo's bin directory, located at:
  C:\Users\...\cargo\bin
This path will then be added to your PATH environment variable by
modifying the HKEY_CURRENT_USER/Environment/PATH registry key.
You can uninstall at any time with rustup self uninstall and
these changes will be reverted.
Current installation options:

  default host triple: x86_64-pc-windows-msvc
  default toolchain: stable (default)
  profile: default
  modify PATH variable: yes
1) Proceed with installation (default)
2) Customize installation
3) Cancel installation
>
```

输入1，默认安装即可。

你可能会因为网络原因无法下载成功，这时可以切换源进行下载。编辑系统环境变量，添加下面两个环境变量：

RUSTUP_UPDATE_ROOT=<https://mirrors.ustc.edu.cn/rust-static/rustup>



环境变量

用户变量(U)

变量	值
RUSTUP_DIST_SERVER	https://mirrors.ustc.edu.cn/rust-static
RUSTUP_UPDATE_ROOT	https://mirrors.ustc.edu.cn/rust-static/rustup

新建(N)... 编辑(E)... 删除(D)

系统变量(S)

变量	值
...	...

新建(W)... 编辑(I)... 删除(L)

确定 取消

安装成功时，会看到这样的界面：

```
rustup-init.exe
info: downloading component 'clippy'
info: downloading component 'rust-docs'
19.0 MiB / 19.0 MiB (100 %) 11.2 MiB/s in 1s ETA: 0s
info: downloading component 'rust-std'
27.1 MiB / 27.1 MiB (100 %) 11.2 MiB/s in 2s ETA: 0s
info: downloading component 'rustc'
65.4 MiB / 65.4 MiB (100 %) 10.7 MiB/s in 6s ETA: 0s
info: downloading component 'rustfmt'
info: installing component 'cargo'
info: installing component 'clippy'
info: installing component 'rust-docs'
19.0 MiB / 19.0 MiB (100 %) 4.5 MiB/s in 4s ETA: 0s
info: installing component 'rust-std'
27.1 MiB / 27.1 MiB (100 %) 16.0 MiB/s in 1s ETA: 0s
info: installing component 'rustc'
65.4 MiB / 65.4 MiB (100 %) 17.8 MiB/s in 3s ETA: 0s
info: installing component 'rustfmt'
info: default toolchain set to 'stable-x86_64-pc-windows-msvc'

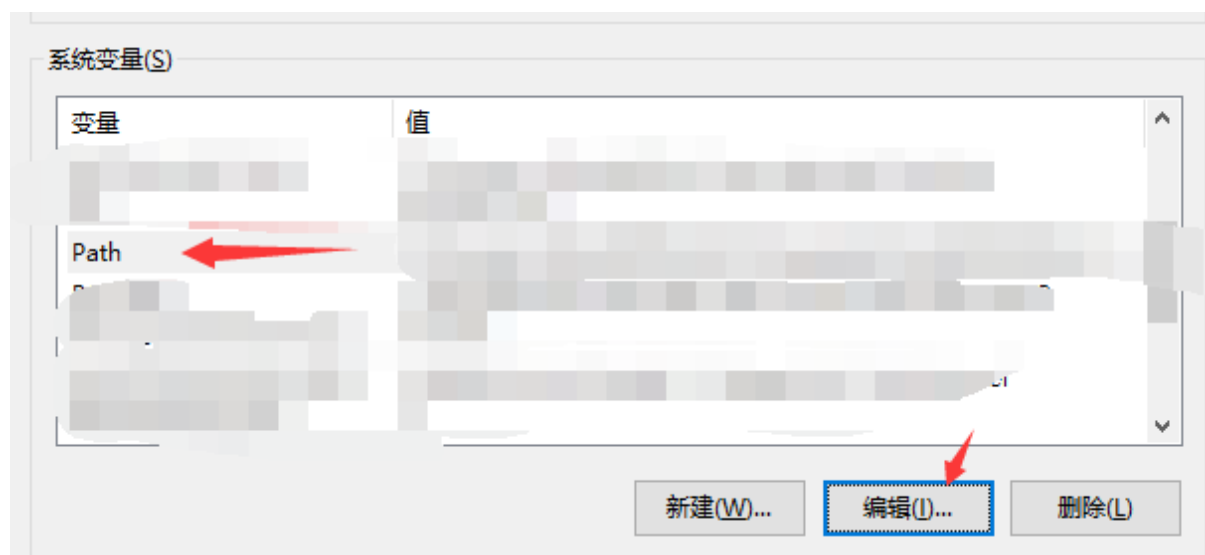
stable-x86_64-pc-windows-msvc installed - rustc 1.66.0 (69f9c33d7 2022-12-12)

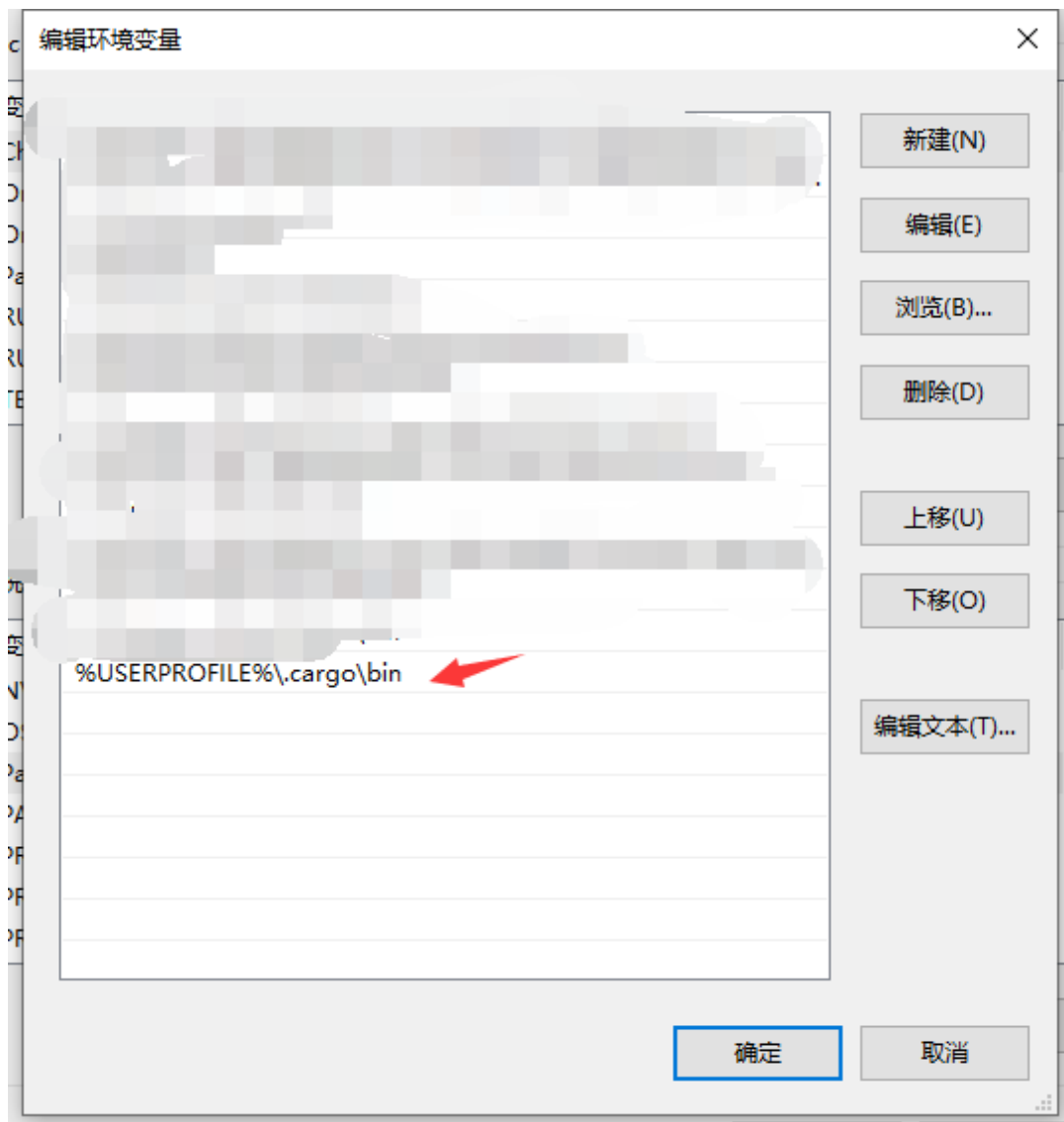
Rust is installed now. Great!

To get started you may need to restart your current shell.
This would reload its PATH environment variable to include
Cargo's bin directory (%USERPROFILE%\cargo\bin).

Press the Enter key to continue.
```

这里提示说我们要配置以下环境变量。在PATH里面添加 `%USERPROFILE%\cargo\bin`





最后，可以在命令行下面验证是否安装完成

```
Windows PowerShell
PS C:\Users\[username]> rustc -V
rustc 1.66.0 (69f9c33d7 2022-12-12)
PS C:\Users\[username]>
```

3.2 Linux和Mac OS下的安装

命令行中输入下面这行即可：

```
curl --proto '=https' --tlsv1.2 https://sh.rustup.rs -sSf | sh
```

你可能会因为网络原因无法下载成功，你可以直接在浏览器内输入链接访问下载，也可以切换镜像地址，下面是中科大的镜像服务器：

```
export RUSTUP_DIST_SERVER=https://mirrors.ustc.edu.cn/rust-static
export RUSTUP_UPDATE_ROOT=https://mirrors.ustc.edu.cn/rust-static/rustup
curl https://sh.rustup.rs -sSf | sh
```

如果要让代理永久生效的话，可以把环境变量加入到 `bashrc` 里面：

```
echo 'export RUSTUP_DIST_SERVER=https://mirrors.ustc.edu.cn/rust-static' >>
 ~/.bashrc
echo 'export RUSTUP_UPDATE_ROOT=https://mirrors.ustc.edu.cn/rust-
static/rustup' >> ~/.bashrc
```

当运行成功时，你会遇到选择数字的界面，选择1即可：

```
This can be modified with the CARGO_HOME environment variable.

The cargo, rustc, rustup and other commands will be added to
Cargo's bin directory, located at:

/home/████████/.cargo/bin

This path will then be added to your PATH environment variable by
modifying the profile files located at:

/home/████████/ profile
/home/████████/.bashrc

You can uninstall at any time with rustup self uninstall and
these changes will be reverted.

Current installation options:

    default host triple: x86_64-unknown-linux-gnu
      default toolchain: stable (default)
           profile: default
  modify PATH variable: yes

1) Proceed with installation (default)
2) Customize installation
3) Cancel installation
>1
```

最后，运行下面的命令配置shell：

```
source "$HOME/.cargo/env"
```

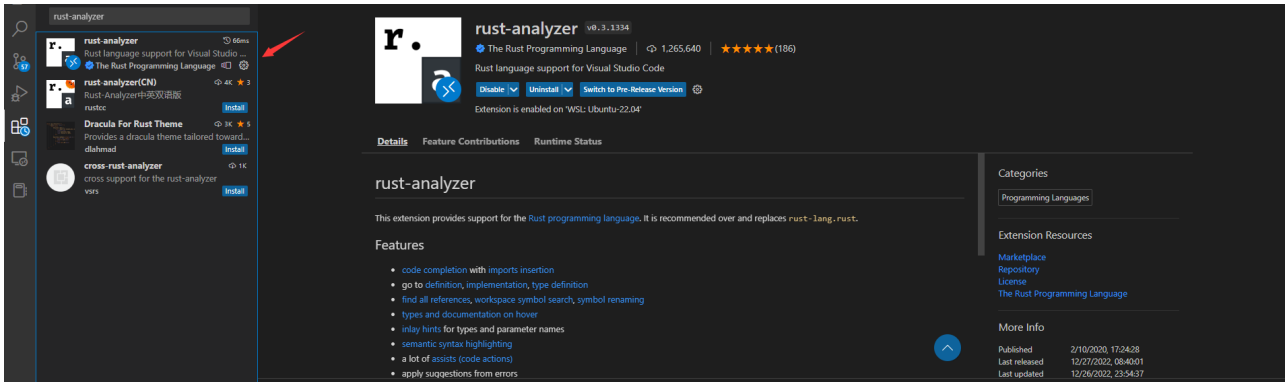
你可以输入 `rustc -V` 查看rust版本，以验证是否安装成功。

3.3 IDE环境

推荐使用vscode作为IDE，也可以使用CLion。

Vscode链接：[Windows](#), [Mac OS](#)

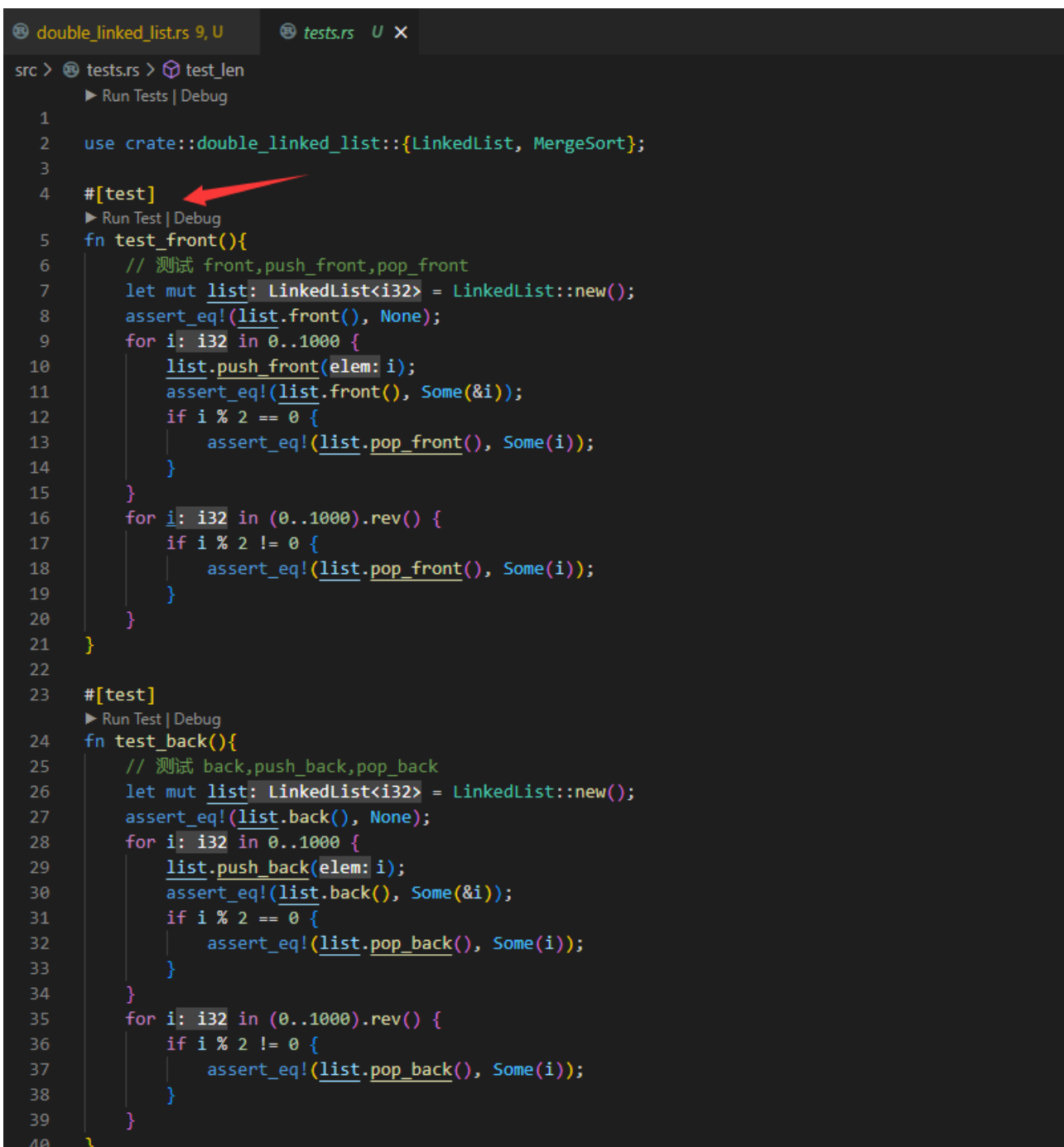
在Vsode Extensions中，找到rust-analyzer，Install即可



如果下载插件用时过久，可以尝试使用代理。参考这篇说明：[Visual Studio Code代理设置](#)

3.4 运行项目的测试

使用vscode打开项目的目录。打开src/tests.rs文件。如果插件运行正常，你会看到类似这样的按钮：



点击Run Tests，就可以运行测试；如果你安装了gdb等调试器，在需要断点的行号位置点击一下，点击Debug就可以进行断点和调试了。

当测试失败时，你会看到红色的提示，以及对调用栈。你可以找到错误的行号；

```
warning: `linked_list` (lib test) generated 9 warnings
Finished test [unoptimized + debuginfo] target(s) in 0.41s
Running unittests src/lib.rs (target/debug/deps/linked_list-cd5dab3902bc9941)

running 1 test
thread 'tests::test_front' panicked at 'not implemented', src/double_linked_list.rs:40:9
stack backtrace:
 0: rust_begin_unwind
   at /rustc/69f9c33d71c871fc16ac445211281c6e7a340943/library/std/src/panicking.rs:575:5
 1: core::panicking::panic_fmt
   at /rustc/69f9c33d71c871fc16ac445211281c6e7a340943/library/core/src/panicking.rs:65:14
 2: core::panicking::panic
   at /rustc/69f9c33d71c871fc16ac445211281c6e7a340943/library/core/src/panicking.rs:115:5
 3: linked_list::double_linked_list::LinkedList<T>::new
   at ./src/double_linked_list.rs:40:9
 4: linked_list::tests::test_front
   at ./src/tests.rs:7:20
 5: linked_list::tests::test_front::{{closure}}
   at ./src/tests.rs:5:1
 6: core::ops::function::FnOnce::call_once
   at /rustc/69f9c33d71c871fc16ac445211281c6e7a340943/library/core/src/ops/function.rs:251:5
 7: core::ops::function::FnOnce::call_once
   at /rustc/69f9c33d71c871fc16ac445211281c6e7a340943/library/core/src/ops/function.rs:251:5
note: Some details are omitted, run with `RUST_BACKTRACE=full` for a verbose backtrace.
test tests::test_front ... FAILED

failures:
  tests::test_front

test result: FAILED. 0 passed; 1 failed; 0 ignored; 0 measured; 14 filtered out; finished in 0.01s

error: test failed, to rerun pass `--lib`

* The terminal process "cargo 'test', '--package', 'linked_list', '--lib', '--', 'tests::test_front', '--exact', '--nocapture'" terminated with exit code: 101.
* Terminal will be reused by tasks, press any key to close it.
```

而当测试通过时，你会看到绿色的提示。

```
• Compiling linked_list v0.1.0 (/home/.../linked_list)
Finished test [unoptimized + debuginfo] target(s) in 0.43s
Running unittests src/lib.rs (target/debug/deps/linked_list-cd5dab3902bc9941)

running 1 test
test tests::test_front ... ok

test result: ok. 1 passed; 0 failed; 0 ignored; 0 measured; 14 filtered out; finished in 0.00s

* Terminal will be reused by tasks, press any key to close it.
```

对于答案错误的情形，你还会看到期望的结果和输出的结果：

```
running 1 test
thread 'tests::test_front' panicked at 'assertion failed: `(left == right)`
  left: `Some(999)`,
 right: `Some(1000)`', src/tests.rs:18:13
stack backtrace:
 0: rust_begin_unwind
   at /rustc/69f9c33d71c871fc16ac445211281c6e7a340943/library/std/src/panicking.rs:575:5
 1: core::panicking::panic_fmt
   at /rustc/69f9c33d71c871fc16ac445211281c6e7a340943/library/core/src/panicking.rs:65:14
 2: core::panicking::assert_failed_inner
 3: core::panicking::assert_failed
   at /rustc/69f9c33d71c871fc16ac445211281c6e7a340943/library/core/src/panicking.rs:203:5
 4: linked_list::tests::test_front
   at ./src/tests.rs:18:13
 5: linked_list::tests::test_front::{{closure}}
   at ./src/tests.rs:5:1
 6: core::ops::function::FnOnce::call_once
   at /rustc/69f9c33d71c871fc16ac445211281c6e7a340943/library/core/src/ops/function.rs:251:5
 7: core::ops::function::FnOnce::call_once
   at /rustc/69f9c33d71c871fc16ac445211281c6e7a340943/library/core/src/ops/function.rs:251:5
note: Some details are omitted, run with `RUST_BACKTRACE=full` for a verbose backtrace.
test tests::test_front ... FAILED
```

在 `src/libs.rs` 中，我们提供了运行多个测试的函数，你可以点击 `run tests` 进行测试。或者使用 `cargo` 命令运行单元测试。

3.5 项目文件说明

└─ Cargo.lock	cargo生成的文件，用于管理依赖
└─ Cargo.toml	用户配置包管理的文件
└─ README.md	实验指导手册 markdown 版本
└─ README.pdf	实验指导手册 pdf 版本
└─ assets	实验指导手册的图片等资源
└─ src	项目源代码
└─ double_linked_list.rs	* 双链表的实现（主要需要实现的部分）
└─ lib.rs	管理对外接口；这里还提供了一些测试函数。
└─ tests.rs	测试用例

3.6 需要实现的部分

你需要补全 `src/double_linked_list.rs` 中的代码，并让它通过对应的测试。我们已经在你需要补充的部分加上了 `TODO: YOUR CODE HERE` 的标记，你可以在拓展中心安装 `TODO Hightlight` 插件以得到一个醒目的标记。

```
6  /// 双链表
   19 implementations
7  pub struct LinkedList<T> {
8      // TODO: YOUR CODE HERE
9      marker: PhantomData<T>, // 可以去掉
10 }
11
12 /// 链表节点
   0 implementations
13 struct Node<T> {
14     // TODO: YOUR CODE HERE
15     marker: PhantomData<T>, // 可以去掉
16 }
17
18 /// 链表迭代器
   4 implementations
19 pub struct Iter<'a, T> {
20     // TODO: YOUR CODE HERE
21     marker: PhantomData<&'a T>,
22 }
23
```

当然，如果需要的话，你可以在其他地方添加代码。

在编写时，你需要先删掉 `unimplemented`；对于 `PhantomData`，你可以删掉也可以保留。

在一些函数中，参数的变量使用 `_` 作为前缀，表明这个函数没有被用到；当你用到这个参数时，建议把 `_` 前缀删掉。

`PhantomData` 的作用是什么？

在这里，我们主要用PhantomData来表示未使用的生命周期和类型参数。例如，迭代器中需要取链表元素的引用，这时候需要一个生命周期。而如果你用的是类似裸指针直接指向链表元素的方式，那结构体里就没有带引用的成员，不能加上'a的生命周期符号

```
impl<'a, T> Iterator for Iter<T> {  
    type Item = &'a T;  
  
    // .....  
}
```

这时候编译器会提示说the lifetime parameter 'a is not constrained by the impl trait, self type, or predicate。

因此我们需要在Iter上面添加生命周期符号。PhantomData就是这样一种解决方式。它是一种零成本抽象，本身不占空间，只是让编译器以为当前结构体会拥有一个生命周期为'a的成员，从而通过编译。你可以阅读[官方的文档和例子](#)深入了解。

让编译器以为结构体拥有类型的所有权还可以让编译器进行drop check，感兴趣可以阅读这个关于Box实现的博客：[讲讲让我熬了几天夜的Drop Check](#)

4 Part 1 链表的基本功能

在Rust实现一个安全，高效的双链表是比较复杂的。Rust 非常注重安全性和内存管理。在 Rust 中，你需要清楚地指定哪些对象可以使用哪些资源，以及在何时何地释放这些资源。这就是所谓的所有权（ownership）和借用（borrowing）机制。

为实现指针的效果，常见的工具有所有权，引用，智能指针。所有权不适用于链表，在所有权的情况下，前驱和后继不能互为owner。引用可能会出现生命周期有问题的情况。比如有时候需要后面的节点生命周期比前面长，有时候则要反过来。解决引用生命周期问题可以使用智能指针Rc（引用计数）。引用还有一个问题，就是不能对一个对象同时可变引用多次。这个问题使用RefCell（内部可变性）解决。RefCell告诉编译器这个结构体是不可变的（实际上内部是可变的）。因此，实现单链表的一个经典组合是Rc<RefCell<Node<T>>>。但是放到双链表上面，这个组合会有一些问题。因为每个节点都有两个指针，因此会产生一个循环计数。如果用运行时检查可以解决部分问题，但是实现迭代器可能无法返回引用：[不太优秀的双端队列-迭代器](#)。

目前的双链表的实现方案有很多：

- 使用Weak智能指针。把两个Rc<RefCell<Node<T>>>的一个指针换成弱指针。例如，这里把所有的prev指针换成了Weak的指针：[50行在stable,safe Rust实现双链表](#)
- 使用unsafe，像C/C++那样手动管理指针。这也是collections::LinkedList中的实现方案。具体来说，就是管理节点的时候就用box::from_raw/into_raw来添加节点，直接使用裸指针解引用来访问数据。
- 使用arena（Region-based memory management）。Arenas本质上是一种将预期生命周期相同的内存进行分组的模式。比如说有时需要在某个生命周期内分配一堆对象，之后这些对象将被全部销毁。这可以简单理解为一个堆空间。我们可以用类似C/C++中的方式new一个对象，然后显式地释放（不释放也可以，后面一起销毁）。这样就规避了Rust中声明周期的问题。关于arena的库，可以参考：[「译」 Arenas in Rust](#)。同时，这里也有一个实现链表的例子：[基于slotmap实现链表](#)
- crossbeam-epoch：这是一种基于epoch的无锁GC。相当于自动帮我们管理声明周期了，这也就没有之前的那么多问题了。
- GhostCell+StaticRc：GhostCell提供了一种零开销的内部可变机制，StaticRc则提供了零开销的共享所有权机制，可以结合二者实现安全零开销链表。

在这一部分，你可以阅读[Learning Rust With Entirely Too Many Linked Lists](#)其中的An Ok Unsafe Queue和A Production Unsafe Deque章节来设计和实现你的链表。

首先，你需要完善 `struct LinkedList<T>` 和 `struct Node<T>` 的结构体，并完成下面的方法：

- `new`
- `len`
- `front`
- `front_mut`
- `back`
- `back_mut`

它们都仅需要几行代码就能完成。

接下来开始处理插入操作。

- `push_front`
- `pop_front`
- `push_back`
- `pop_back`

它们的语义和函数名相同，你也可以参考函数名上的注释。

如果你的实现正确，你应该可以通过：

- `test_front`
- `test_back`
- `test_len`

3个测试。

你可以在项目根目录打开一个命令行，运行 `cargo test test_front`, `cargo test test_back` 逐一运行测试，也可以通过vscode点击测试函数上的run test运行测试。

在lib.rs中，我们提供了一次运行多个测试的函数 `test_part1`，你可以一次运行多个测试点。

接下来是迭代器部分。迭代器是一个维护链表迭代的数据结构。你可以先尝试实现一个单向的迭代器，这可能需要一个指向当前迭代数据的指针，数据的长度。完善 `Iter` 和 `IterMut` 之后，为链表提供一个返回迭代器的接口 `iter` 和 `iter_mut`

然后我们为迭代器实现 `Iterator trait`。这个trait（可以认为是接口）要求我们实现 `next` 和 `size_hint` 两个函数。`next` 返回一个元素，并把迭代器指针往后移动。`size_hint` 需要返回元素下界和上界。`size_hint()` 主要用于优化，比如为迭代器的元素保留空间。你可以直接返回(链表长度,Some(链表长度))。

最后为链表实现反向的迭代。修改 `Iter` 使其包含一个反向的指针，然后为迭代器实现 `DoubleEndedIterator` 的trait。

如果你的实现正确，你应该可以通过：

- `test_iter`
- `test_iter_mut`
- `test_for_loop`
- `test_rev_for_loop`

4个测试。

5 Part 2 6个简单的链表操作

下面你需要自己实现6个简单的链表操作：

- `get/get_mut` : 获取下标为at的元素的引用
- `remove` : 删除下标为at的元素
- `insert` : 插入一个元素到指定位置
- `contains` : 判断链表内是否存在元素
- `split_off` : 将链表分割成两个链表，原链表为[0,at-1]，新链表为[at,len-1]
- `find_mut` : 找到链表中满足匹配条件的元素，返回它的引用

如果上面的表述不清楚，你可以参考这些函数上面的注释中的 `examples`。

如果你的实现正确，你应该可以通过：

- `test_get`
- `test_remove`
- `test_insert`
- `test_contains`
- `test_split`
- `test_find_mut`

6个测试。

6 Part 3 归并排序(选做)

在这一部分，你需要给链表写一个就地的归并排序。如果你忘了归并排序怎么写，你可以参考[leetcode 链表排序](#)的实现。

下面是递归实现的伪代码：

```
function merge_sort(list m) is
    // Base case. A list of zero or one elements is sorted, by definition.
    if length of m ≤ 1 then
        return m

    // Recursive case. First, divide the list into equal-sized sublists
    // consisting of the first half and second half of the list.
    // This assumes lists start at index 0.
    var left := empty list
    var right := empty list
    for each x with index i in m do
        if i < (length of m)/2 then
            add x to left
        else
            add x to right

    // Recursively sort both sublists.
    left := merge_sort(left)
    right := merge_sort(right)
```

```

// Then merge the now-sorted sublists.
return merge(left, right)

function merge(left, right) is
  var result := empty list

  while left is not empty and right is not empty do
    if first(left) ≤ first(right) then
      append first(left) to result
      left := rest(left)
    else
      append first(right) to result
      right := rest(right)

  // Either left or right may have elements left; consume them.
  // (Only one of the following loops will actually be entered.)
  while left is not empty do
    append first(left) to result
    left := rest(left)
  while right is not empty do
    append first(right) to result
    right := rest(right)
  return result

```

如果你需要为你的实现添加辅助函数，可以在 `impl<T:PartialOrd+Default> LinkedList<T>` 块中进行编写。

如果你的实现正确，你应该可以通过：

- `test_merge_sort1`
- `test_merge_sort2`
- `test_merge_sort3`

3个测试

7 提交

你需要提交一个 `git patch` 到我们的平台上。报告可能会交到 ucloud 上面，也可能在同一平台。

在提交之前，你应该在本地运行测试，服务器上的测试数据和本地是相同的，只是为了检查你的完成情况。因此不必频繁提交。

首先需要安装一个 git。

你可以在 git 官网找到对应的下载链接，双击安装包安装即可（中间的选项可以直接一路 Next），如果使用 debian, ubuntu，可以直接使用 `sudo apt install -y git` 来安装。

安装好 git 后，可以使用 `git --version` 查看 git 版本

接下来，切换到我们的项目下面，配置一下用户名和邮箱。

```
git config user.name "<用户名>"
git config user.email "<邮箱>"
```

我们暂时不使用git中的邮箱作为判定账户的依据，因此这里随便填一个也可以。

7.1 commit

首先，你需要为你的代码生成一个commit。一般来说，你只要提交 `src/double_linked_list.rs` 的修改。

你可以使用命令行或者vscode来实现这个操作。

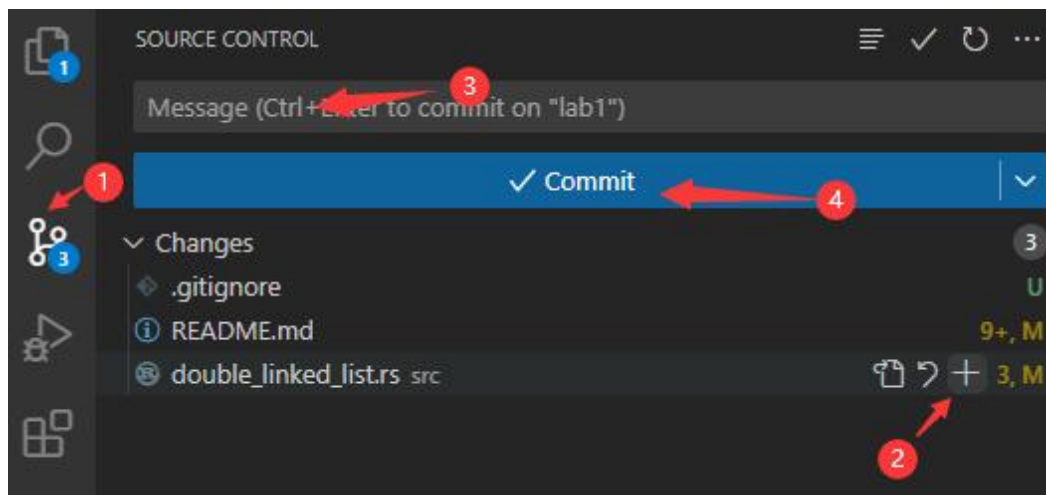
7.1.1 命令行

在你完成全部或者部分练习后，可以 `git add <文件名>` 来添加对一个文件的修改。例如， `git add src/double_linked_list.rs`。

然后， `git commit -m "<message>"` 来创建一个commit。

如果你commit完后悔了，要恢复上一个版本，可以使用 `git reset --soft HEAD^`

7.1.2 vscode



点击切换到vscode的git面板，然后在Changes里面的文件中找到你要添加的修改文件。点击上面的加号确认修改，在Message框中输入commit的信息，最后点击Commit创建一个commitment。

7.2 patch

在完成练习后，你需要生成一个git patch。

使用 `git log` 查看之前的commit id，复制后，按 `q` 退出。

找到你提交的commit范围

```
git format-patch --stdout <from>..<to> > example.patch
# 或者
git format-patch --stdout -<向前n个commit> HEAD > example.patch
# 只有一个commit就可以用
git format-patch -1 HEAD --stdout > example.patch
```

就会在当前目录下面创建一个 `example.patch` 文件，你只需要提交这个文件就可以了。

例如下图中,commit id的范围是5d87bc88d72d 到 a181054e61cda75,

```
commit a181054e61cda75aa0e29dbfde024887d5179374 (HEAD -> lab1)
Author: <[redacted]>
Date:   Fri Feb 17 14:20:03 2023 +0800

    finish

commit 756dc0ec15a6e1b039cb6089a1053c66e33775de
Author: <[redacted]>
Date:   Fri Feb 17 14:19:38 2023 +0800

    b

commit 5d87bc88d72d3d6ef9b130596a04f5f5bb675db9
Author: <[redacted]>
Date:   Fri Feb 17 14:19:23 2023 +0800

    a

commit 8c82fb1de50061bcf02d89ae181b9722c5330f7f
Author: <[redacted]>
Date:   Fri Feb 17 13:44:27 2023 +0800

    base
```

要提交的修改

因此可以用:

```
git format-patch 5d87bc88d72d..a181054e61cda75 --stdout > example.patch
```

7.3 在平台上提交

我们搭建了一个网站来接收和运行git patch, 目前的url为: <http://10.109.246.160:8765/login>

登录后, 将文件在提交界面上传即可。

OS Lab Scorer

概览

提交

结果列表

类型

☒ patch文件
☐ 文档

Lab

Lab 1

文件

选择文件 未选择文件

提交

你可以看到运行的结果和日志输出。