欢迎来到PA-1学习之旅！ 🚀

> **ⓘ 欢迎！**
>
> 👋 欢迎来到**高级程序设计**2025春季课程的PA-1项目！
> 😊 本文档作为实验手册，将帮助你顺利完成这个PA项目。
> 😎 通过这个PA课程，你将学习并掌握以下内容：
>
> - 🎯 加深对**面向对象**编程概念的理解。
> - 💡 掌握C++类的设计与实现。
> - 🔧 学习构建一个完整的软件系统。

> **⚠ Warning**
>
> `PA-1` 项目严禁抄袭，包括**直接复制、抄袭他人代码或未注明引用**。抄袭可能导致零分、学术处分或更严重后果。为避免抄袭，请独立完成项目，引用他人成果时注明来源，并遵守开源许可。

> **✓ Let's Start Now!**
>
> 🎉 让我们正式开启**虚拟文件系统**的实验项目编写之旅！

PA-1: 虚拟文件系统

> **ⓘ 带命令行界面的虚拟文件系统 (VFS)** 🌐
>
> 在这个项目中，你将构建一个**虚拟文件系统 (VFS)**，模拟现实世界中的文件管理。该系统将包括：
>
> - **FileSystem类**：管理文件和目录。
> - **ClientInterface类**：模拟用户命令行交互。
> - **VFS**：集成并管理整个系统。

0. 背景

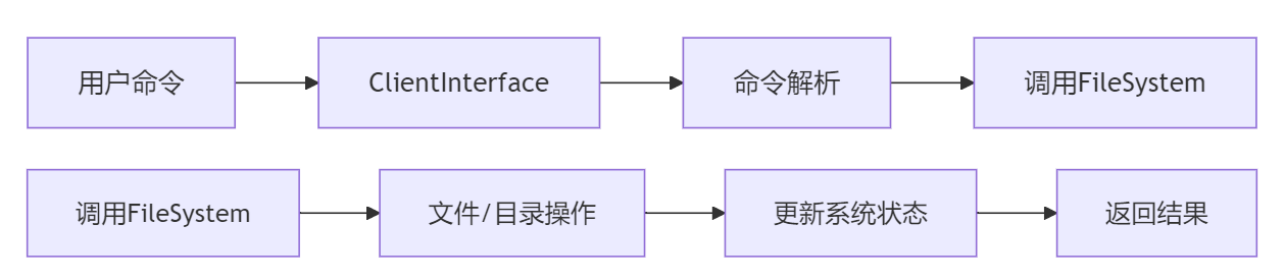
什么是虚拟文件系统 (VFS)?

虚拟文件系统 (VFS) 是一个模拟真实文件系统的软件实现。通过面向对象的设计，VFS提供了基本的文件和目录管理功能，帮助你理解文件系统的核心概念和面向对象编程原则。

VFS的工作原理

1. **文件抽象**：文件和目录被抽象为类（`File`、`Directory`），并使用基类`FileObj`来实现继承和多态。
2. **目录组织**：`FileSystem`类组织文件和目录，支持灵活的路径导航。
3. **用户交互**：`ClientInterface`提供了一个命令行界面，支持类Unix风格的文件操作。
4. **系统集成**：`VFS`集成了`FileSystem`和`ClientInterface`，进行统一管理。

系统流程图



1. 核心组件

关键组件

组件	描述
`ClientInterface`	处理命令解析和用户交互
`FileSystem`	实现文件和目录管理
`FileObj及其派生类`	提供文件和目录的具体实现

组件	描述
`VFS`	集成所有组件进行统一管理

项目任务

使用**面向对象编程**来实现这三个核心组件，并构建一个完整的**VFS**系统。

---

2. 学习目标

你将学习的内容

目标类型	详情
📚 **类设计**	掌握C++类的设计与实现
🧩 **继承与多态**	理解并应用继承与多态
🧠 **系统构建**	使用组合和嵌套类来构建复杂系统
🔒 **封装**	实现访问控制与封装

---

3. 预备知识

你应该掌握的内容

在开始PA-1之前，请熟悉以下内容：

- **数据结构**：
  - 数组：`vector<T>` 及其方法（`push(T)`、`pop()`）。
  - 字典：`unordered_map<key, value>` 及其增删改查操作。
  - 集合：`set<T>` 及其方法（`find(T)`、`insert(T)`）。
- **数据类型**：`enum`、`size_t`。
- **字符串**：`string`。
- **输入/输出流**：`istringstream`。
- **OOP原则**：继承、多态、封装和抽象。

💡 **小贴士**：在设计时，始终提前思考一个抽象层次！

---

4. 项目结构

FileSimulator 项目树

```
FileSimulator/
├── CMakeLists.txt
├── include/
│   ├── FileObj.h
│   ├── Directory.h
│   ├── FileSystem.h
│   ├── VFS.h
│   └── ClientInterface.h
├── src/
│   ├── main.cpp
│   ├── FileObj.cpp
│   ├── Directory.cpp
│   ├── FileSystem.cpp
│   ├── VFS.cpp
│   └── ClientInterface.cpp
└── README.md
```

🎯 5. 实验指南

5-0. InodeFactory 类

InodeFactory 类 (`include/InodeFactory.h`)

```cpp
class InodeFactory {
public:
    static uint64_t generateInode() {
        static uint64_t nextInode = 1;
        return nextInode++;
    }
};
```

- 在VFS中，所有系统对象（`File` 和 `Directory`）都有一个唯一的 `inode` 标识符，类型为 `uint64_t`（无符号长整型）。
- 我们提供了 `generateInode()` API供你使用。默认情况下，根目录 `/` 的 `inode = 1`。
- 任何新创建的文件或目录的 `inode` 值将满足 `inode >= 2`。（注意：VFS不会回收 `inode` 值，因此它们只会递增且不会重复。）

5-1. FileObj（基类）

FileObj 类（`include/FileObj.h`）

```
class FileObj {
    string name;      // 文件/目录名称
    string path;      // 绝对路径
    string type;      // "file" 或 "directory"
    string owner;     // 所有者
    uint64_t inode;   // 唯一标识符
    FileObj* parent; // 父目录
};
```

- **属性**:
  - `inode` 由 `InodeFactory` 生成。
  - `parent` 指向父目录（对于根目录 `/`，`parent` 为 `nullptr`）。
- 我们已经实现了 `FileObj` 的构造函数。你可以将其作为其他类构造函数实现的参考。

5-2. File 类

File 类（`include/File.h`）

```
class File : public FileObj {
protected:
    string content; // 文件内容
};
```

- `File` 类在 `FileObj` 的基础上增加了 `content` 属性。

- **需要实现的方法**：

```
File(const string& name, const string& type, const string& owner,
     const uint64_t& inode, FileObj* parent);

virtual string read() const;             // 读取内容
virtual bool write(const string &data); // 写入内容（追加到 `content`）
virtual string getContent() const;       // 获取内容
```

- 我们已经为你实现了 `File` 类的构造函数，请参考框架代码中的详细TODO。

5-3. Directory 类

Directory 类 (`src/Directory.cpp`)

```
class Directory : public FileObj {
    std::unordered_map<uint64_t, FileObj*> children; // 存储子对象
};
```

- **属性**：
  - `children`：一个 `unordered_map`，用于将 `inode` 映射到 `FileObj*` 指针（存储目录中的所有子项）。
- **需要实现的方法**：

```
Directory(const string& name, const string& owner,
          const uint64_t& inode, FileObj* parent);

bool add(FileObj* child);                // 添加子节点
bool remove(uint64_t inode);             // 移除文件节点
bool removeDir(uint64_t inode);          // 递归移除目录节点
FileObj* getChild(uint64_t inode);    // 获取特定子节点
std::vector<FileObj*> getAll() const; // 获取所有子节点
size_t getCount() const;                 // 获取子节点数量
bool isEmpty() const;                    // 检查目录是否为空
```

- **提示**：使用 `inode` 作为移除节点的唯一标识符。请参考框架代码中的详细TODO。

5-4. FileSystem（核心功能）

FileSystem 类（`include/FileSystem.h`）

```
class FileSystem {
    Directory* root;      // 根目录
    Directory* cur;       // 当前目录
    string username;      // 当前用户
    std::set<string> users;  // 所有用户
    std::unordered_map<string, uint64_t> config_table;  // 路径到inode的映射
};
```

- **属性**：
  - `root`：文件系统的根目录。
  - `cur`：当前目录。
  - `username`：当前用户。
  - `users`：所有注册用户的集合。
  - `config_table`：将对象的**绝对路径 + 类型**映射到其 `inode`。
- **需要实现的方法**：

```
// 目录导航
changeDir(const uint64_t& inode);      // 切换当前目录
getCurrentPath() const;                // 获取当前路径
resolvePath(const string& path);       // 解析路径

// 文件操作
createFile(const string& name);        // 创建文件
deleteFile(const string& name, const string& user);  // 删除文件

// 目录操作
createDir(const string& name);         // 创建目录
deleteDir(const string& name, const string& user, bool recursive);  // 删除目录

// 搜索和用户管理
search(const string& name, const string& type);        // 搜索文件或目录
setUser(const string& username);                       // 设置当前用户
hasUser(const string& username);                       // 检查用户是否存在
registerUser(const string& username);                  // 注册新用户
```

- **提示**：

1. 创建文件/目录时不需要权限控制，但删除时需要权限（只有 `owner` 或 `root` 用户可以删除）。
2. 在 `changeDir()` 中使用 `resolvePath()`。可以使用 `strtok()` 或 `istringstream` 解析路径。
3. 添加或删除项目时，同时维护 `children` 和 `config_table`。
4. 不同用户共享同一个文件系统。使用 `insert()` 或 `remove()` 管理 `users` 集合。

5-5. ClientInterface（用户界面）

ClientInterface 类（`include/ClientInterface.h`）

```
class ClientInterface {
    FileSystem* filesystem;  // FileSystem 实例
    string username;         // 当前用户
};
```

- **设计**：`ClientInterface` 类遵循**访问者模式**。用户通过此接口与文件系统交互，而无需直接嵌入文件系统。
- **需要实现的方法**：

```
// 命令处理
parseCommand(const string& cmdLine);   // 解析命令行
execueCommand(const vector<string>& cmd);  // 执行命令
processCommand(const string& cmdLine);     // 处理命令

// 文件操作
createFile(const string& name);           // 创建文件
deleteFile(const string& name);           // 删除文件
readFile(const string& name);             // 读取文件
writeFile(const string& name, const string& data);  // 写入文件

// 目录操作
createDir(const string& name);            // 创建目录
deleteDir(const string& name, bool recursive);  // 删除目录
changeDir(const string& path);            // 切换目录
listCurrentDir();                         // 列出目录内容
getCurrentPath() const;                   // 获取当前路径

// 其他命令
```

```
showHelp() const;                                   // 显示帮助信息
search(const string& name, const string& type);     // 搜索文件或目录
```

- **命令处理**:
  - `parseCommand`：将命令行拆分为多个`token`。
  - `execueCommand`：根据第一个`token`，（`cmd[0]`）执行命令。
  - `processCommand`：结合`parseCommand`和`execueCommand`。

5-6. 需要实现的命令

ⓘ 支持的命令

```
# 文件操作
create <文件名...>      # 创建一个或多个文件
delete <文件名...>      # 删除一个或多个文件
read <文件名...>        # 读取一个或多个文件
write <文件名> <文本>   # 写入文件（支持多行文本和转义字符）

# 目录操作
mkdir <目录名>          # 创建目录
rmdir [-r] <目录名>     # 删除目录（-r 表示递归删除）
cd <路径>               # 切换目录（支持相对路径和绝对路径）
ls                      # 列出目录内容
pwd                     # 打印当前工作目录
clear                   # 清空终端

# 系统命令
help                    # 显示帮助信息
exit                    # 注销
quit                    # 退出系统
```

5-7. 注意事项

⚠ 错误处理

- 需要处理的错误包括：
  - 文件已存在
  - 路径不存在
  - 权限不足
  - 无效参数

用户管理

- 用户创建
- 权限验证
- 会话管理

文件操作

- 处理空文件
- 递归删除
- 路径解析
- 权限验证

内存管理

- 正确释放对象
- 避免内存泄漏
- 防止悬空指针

---

6. 构建与运行

6-1. Windows 环境

Windows 构建与运行

1. **生成项目**：

```
# 在项目根目录下运行
mkdir build
cd build
cmake ..
cmake --build .
```

2. **运行程序**:

```
# 在 build/bin 或 build/bin/Release 目录下
FileSimulator.exe
```

6-2. Linux 环境

ⓘ Linux 构建与运行

1. **安装依赖**:

```
# Ubuntu/Debian
sudo apt-get install build-essential cmake

# CentOS/RHEL
sudo yum groupinstall "Development Tools"
sudo yum install cmake
```

2. **生成并编译**:

```
mkdir build
cd build
cmake ..
make
```

3. **运行程序**:

```
# 在 build/bin 目录下
./FileSimulator
```

6-3. 常见问题与故障排除

⚠ **常见问题**

1. **CMake 错误**:
   - 确保 CMake 版本 >= 3.10。
   - 验证编译器是否正确安装。
   - 确保环境变量设置正确。
2. **编译错误**:
   - 检查是否缺少依赖项。
   - 确保使用了正确的生成器。
   - 查看详细的编译日志。
3. **运行时错误**:
   - 确保从正确的目录运行程序。
   - 检查是否缺少动态库。
   - 查看程序的错误输出。

7. 示例代码

☰ **示例用法**

```
# Start the system
$ ./FileSimulator
File System Simulator Started
Please login with your username
Login: root

# Show help
root@FileSimulator:/$ help
Available commands:
  create <filename...>      - Create one or more new files
  delete <filename...>      - Delete one or more files
  read <filename...>        - Read content from one or more files
  write <filename> <text>   - Write text to file (supports '\\n' for
newline)
  mkdir <dirname>           - Create a new directory
```

```
  rmdir [-r] <dirname>      - Remove directory (-r for recursive deletion)
  cd <path>                 - Change directory (supports relative/absolute
paths)
  ls                        - List current directory contents
  pwd                       - Show current working directory
  whoami                    - Show current user name
  clear                     - Clear current command line
  help                      - Show this help message
  exit                      - Logout current user
  quit                      - Exit program

# Some Basic operations
root@FileSimulator:/$ mkdir docs
root@FileSimulator:/$ cd docs
root@FileSimulator:/docs$ create readme1 readme2
root@FileSimulator:/docs$ write readme1 "This is a test file."
root@FileSimulator:/docs$ write readme2 "Hello PA-1"
root@FileSimulator:/docs$ read readme1 readme2
=== readm1 ===
This is a test file.
=== readm2 ===
Hello PA-1
root@FileSimulator:/docs$ pwd
/docs
root@FileSimulator:/docs$ ls
readme1
readme2
root@FileSimulator:/docs$ exit

# exit the program
User Login (Please input who you are):
exit
Bye!
```

温馨提示

- **如您在实验过程中遇到任何问题，请及时联系助教，我们非常乐意解答您的问题。**
- **感谢您的阅读，祝您的 PA-1 实验顺利！**