Yazi：一个百万并发的C++服务框架

介绍

框架特性

1. 操作系统：Linux
2. 编程语言：C++
3. 高并发：单机百万连接
4. 高性能：微秒级响应
5. IO多路复用：epoll
6. 连接池
7. 对象池
8. 线程池
9. 任务队列
10. 业务引擎：插件

适合人群

1. 有一定C++基础的人，想进一步学习系统编程，网络编程，多线程编程
2. 有一定C++项目实践的人，想写出更好的代码，更稳定的服务

C++ 从入门到放弃

1. 世界上最复杂的语言，没有之一
2. C++强大的令人感到不可思、然而也复杂的令人发指
3. C++让你花费大量时间在学习这门语言的语法上，而不是解决问题本身上
4. 造轮子是C++的命，也是C++的病
5. 内存管理：永远怀着一颗不安的心

安装框架

编译插件

```
make plugin
```

编译框架

```
make
```

启动服务

```
./main &
```

压力测试

压测工具

```
python3 client/python/bench.py
```

配置文件

文件：config/main.ini

```
[server]
```

```
ip = 127.0.0.1
port = 8080
threads = 64
max_conn = 10000
wait_time = 10

[client]
threads = 100
```

场景一

服务器

OS：centos 7.8

CPU：2核（Intel(R) Xeon(R) Gold 6149 CPU @ 3.10GHz）

内存：4G

客户端

和服务端在同一台服务器上运行，客户端用多线程模拟并发

测试结果

	A	B	C	D
1	客户并发数	连接时间（ms）	请求时间（ms）	一共耗时（ms）
2	100	0.281	0.299	0.637
3	1000	0.275	0.331	0.66
4	1万	0.265	0.344	0.672
5	10万	0.267	0.352	0.684
6	50万	11.074	1.879	13.027
7	100万	59.216	3.434	62.744

场景二

服务器

OS：centos 6.10

CPU：2核（Intel(R) Xeon(R) Platinum 8269CY CPU @ 2.50GHz）

内存：8G

客户端

和服务端在同一台服务器上运行，客户端用多线程模拟并发

测试结果

	A	B	C	D
1	客户并发数	连接时间（ms）	请求时间（ms）	一共耗时（ms）
2	100	0.401	0.425	0.87
3	1000	0.385	0.414	0.859
4	1万	0.411	0.441	0.913
5	10万	0.441	0.466	0.971
6	50万	0.408	0.421	0.89
7	100万	1.36	0.531	1.957

场景三

服务器

OS：centos 6.7

CPU：8核（Intel(R) Xeon(R) CPU E5-2603 v2 @ 1.80GHz）

内存：48G

客户端

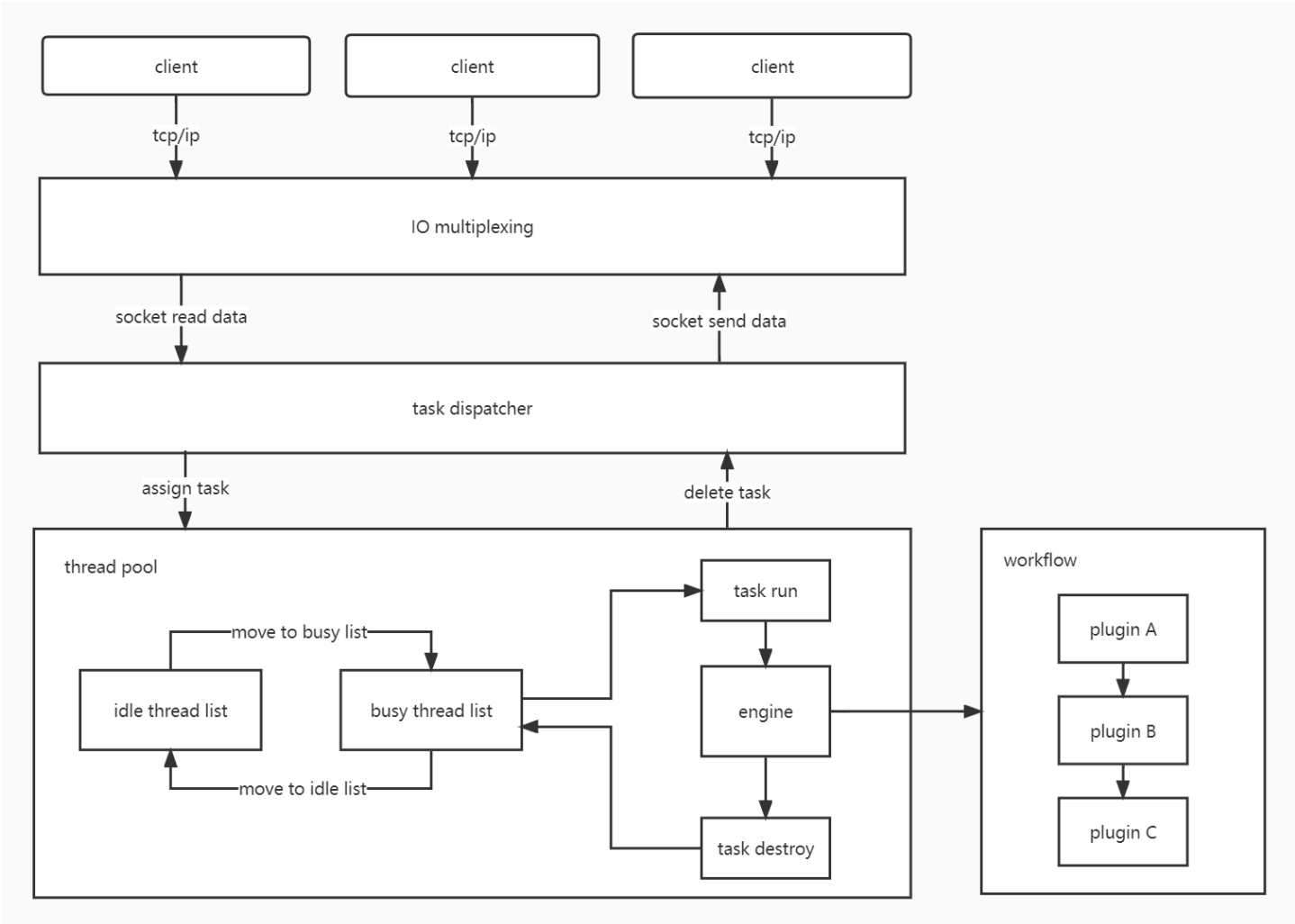
和服务端在同一台服务器上运行，客户端用多线程模拟并发

测试结果

	A	B	C	D
1	客户并发数	连接时间（ms）	请求时间（ms）	一共耗时（ms）
2	100	0.722	0.77	1.824
3	1000	0.646	0.68	1.607
4	1万	0.889	2.121	3.424
5	10万	1.349	1.488	3.391
6	50万	0.859	1.033	2.286
7	100万	1.214	1.488	3.172

架构设计

Reactor + 多线程模型



主线程

1. 监听和建立客户端的连接；
2. 接收客户端的请求，创建一个任务，并把该任务放入任务队列；
3. 告诉分发线程，有请求任务过来了，叫他赶紧去处理；
4. 重复以上三个步骤；

注意：主线程不处理具体请求。

分发线程

1. 查看任务队列，看是否有请求任务？没有任务则继续睡觉，否则把任务取出来，然后分发给线程池；
2. 线程池有空闲的线程，则把该任务交给空闲的线程处理，否则该任务乖乖呆在队列里等待，直到有空闲的线程为止；
3. 重复以上两个步骤；

注意：分发线程也不处理具体请求。

工作线程:

1. 执行任务；
2. 销毁任务；
3. 重复以上两个步骤；

注意：工作线程处理具体请求。

开发环境

开发工具：vscode

工具下载：https://code.visualstudio.com/

测试环境：docker

工具下载：https://www.docker.com/

准备材料：

1、Dockerfile：构建 centos 系统，设置 root 账号的密码为：password

```
FROM centos:7.8.2003

MAINTAINER oldjun <oldjun@sina.com>

RUN yum install -y initscripts && \
        yum install -y gcc && \
        yum install -y gcc-c++ && \
        yum install -y kernel-devel && \
        yum install -y make && \
        yum install -y wget && \
        yum install -y vim-enhanced \
        yum install -y net-tools && \
        yum install -y openssh && \
        yum install -y openssh-server && \
        yum install -y openssl-devel && \
        yum install -y ncurses-devel && \
        yum install -y sqlite-devel && \
        yum install -y readline-devel && \
        yum install -y libffi-devel && \
        yum install -y git && \
        echo "root:password"|chpasswd && \
        ssh-keygen -A

ADD Python-3.9.6.tar.xz /root/

RUN cd /root/Python-3.9.6 && \
        ./configure prefix=/usr/local/python3 && \
        make && \
        make install && \
        ln -s /usr/local/python3/bin/python3.9 /usr/bin/python3 && \
        ln -s /usr/local/python3/bin/pip3 /usr/bin/pip3

EXPOSE 22
```

2、Python-3.9.6.tar.xz

下载地址：https://www.python.org/downloads/release/python-396/

构建镜像

在windows终端，运行命令：

```
docker build -t centos .
```

启动容器

1、在windows（管理员）终端，运行命令：

```
docker run -it -p 22:22 -v D:\yazi\yazi:/root/yazi --name centos centos
```

本地的项目代码自动挂载到docker容器里：D:\yazi\yazi --> /root/yazi

2、docker容器里，启动SSH服务

```
/usr/sbin/sshd
```

连接容器

vscode通过SSH连接docker容器

```
ssh root@127.0.0.1 -A
```

注：root密码：password

编译框架

```
make plugin
```

```
2 make
```

启动服务

```
1 ./main &
```

关闭服务

```
1 . kill.sh
```

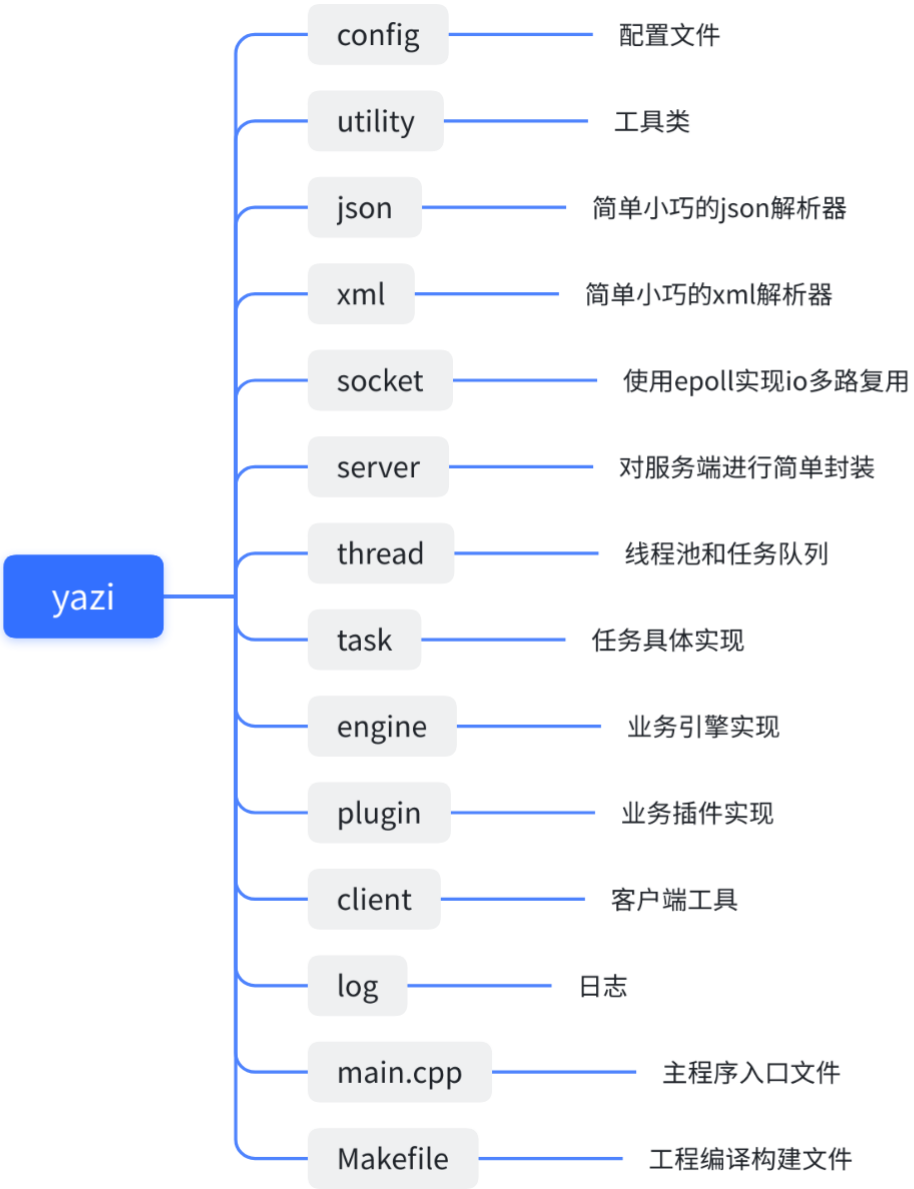
测试工具

```
1 python3 client/python/client.py
```

注意：重启docker容器，需要删除文件：C:\Users\HUAWEI\.ssh\known_hosts

代码结构

目录结构



不依赖第三方库

全部模块和工具类都自己实现

模块独立

模块之间相互独立

各个模块可以单独出来，最好是在别的项目里可以复用

Linux 跨平台

代码尽量做到平台无关

目前：在Centos上编译运行没问题

未来：需要在其他Linux平台上正常编译运行

代码维护性

代码尽量做到简洁，易读

网络编程理论

传输层协议

1. TCP：一种面向连接的、可靠的、基于字节流的传输层通信协议（web HTTP 1.1/2.0）
2. UDP：一种无需建立连接就可以发送封装的 IP 数据包（IP电话、语音、视频聊天）
3. SCTP：一种在网络连接两端之间同时传输多个数据流的协议（SIP，电信业务，Centrex）

最简单的服务端

伪代码：

```
int main() {
    // 第一步：创建 tcp socket
    int sockfd = socket(TCP);

    // 第二步：绑定 ip 和 port
    bind(sockfd, ip, port);

    // 第三步：监听端口
    listen(sockfd);

    while (true) {
        // 第四步：接收客户端连接
        int connfd = accept(sockfd);

        // 第五步：读取客户端的数据
        data = recv(connfd);

        // 第六步：处理客户端的数据
        ...
```

```
20
21          // 第七步：向客户端发送数据
22          send(connfd, data);
23
24          // 最后一步：关闭连接
25          close(connfd);
26      }
27      return 0;
28  }
```

1. 创建套接字，指定通信的协议（socket）；
2. 给socket绑定ip地址和端口号（bind）；
3. 开始监听这个socket（listen）；
4. 如果有socket连接到到来，就用accept函数获取（accept）；
5. 获取到连接之后，在一个while循环里读socket客户端发来的数据（recv）；
6. 给客户端发送数据（send）；
7. 关闭连接（close）。

最简单的客户端

伪代码：

```
1  int main() {
2
3      // 第一步：创建 tcp socket
4      int sockfd = socket(TCP);
5
6      // 第二部：连接服务端
7      connect(sockfd, ip, port);
8
9      // 第三步：向服务端发送数据
10     send(sockfd, data);
11
12     // 第四步：接收服务端的数据
13     data = recv(sockfd);
14
15     // 最后一步：关闭连接
16     close(sockfd);
17
18     return 0;
19 }
```

1. 创建套接字，指定通信的协议号（socket）；
2. 根据ip地址和端口号连接到服务端（connect）；
3. 发送消息（send）；
4. 接收消息（recv）；
5. 关闭连接（close）。

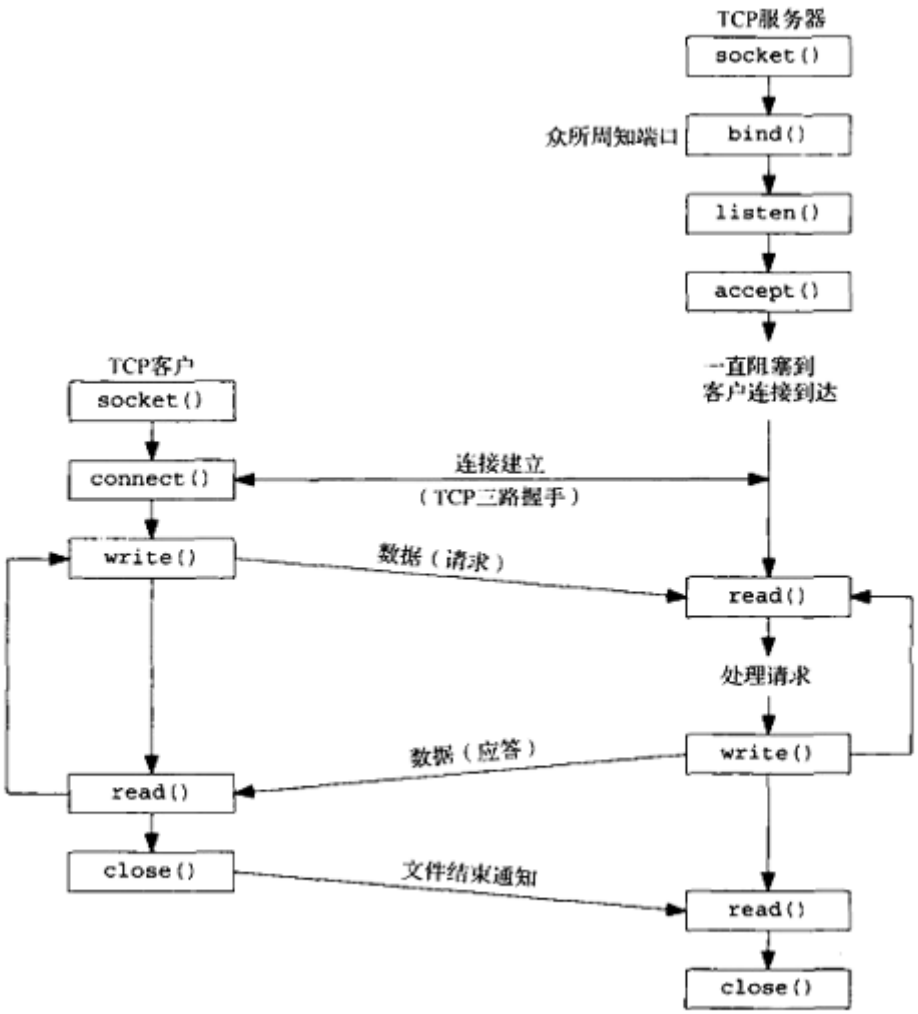


图4-1　基本TCP客户/服务器程序的套接字函数

阻塞 IO

当用户线程发出IO请求之后，内核会去查看数据是否就绪，如果没有就绪就会等待数据就绪，而用户线程就会处于阻塞状态，用户线程交出CPU。当数据就绪之后，内核会将数据拷贝到用户线程，并返回结果给用户线程，用户线程才解除阻塞状态。

非阻塞 IO

当用户线程发起read操作后，并不需要等待，而是马上得到结果。如果结果是一个error时，它就知道数据还没有准备好，于是它可以再次发起read操作。如果内核中的数据准备好了，它就将数据拷贝到用户线程。

在非阻塞IO模型中，用户线程需要不断地轮询内核数据是否就绪，也就是说非阻塞IO不会交出CPU，而会一直占用CPU。

```
while (true)
{
    // 第五步：读取客户端的数据
    data = recv(connfd);
    if (data != error)
    {
        // 第六步：处理客户端的数据
        ...
        break;
    }
}
```

IO 多路复用

在多路复用IO模型中，会有一个专门的线程不断去轮询多个socket的状态，只有当socket真正有读写事件时，才真正调用实际的IO读写操作。IO多路复用的优势在于，可以处理大量并发的IO，而不用消耗太多CPU/内存。

三种常用的轮询方法：select、poll、epoll

select

优点：

1. select 可移植性更好，在某些Unix系统上不支持 poll;
2. select 对于超时提供了更好的精度：微秒，而 poll 和 epoll 是毫秒。

缺点：

1. 单个进程可监听的fd数量有限制（最多允许1024个连接）；
2. 需要维护一个用来存放大量fd的数据结构，这样会使得用户空间和内核空间在传递该结构时，复制开销大；

3. 对fd进行扫描时是线性扫描。fd剧增后，IO效率较低，因为每次调用都对fd进行线性扫描遍历，所以随着fd的增加会造成遍历速度慢的性能问题。

poll

优点：

1. 没有描述符个数的限制；
2. poll 在应付大数目的文件描述符的时候相比于select速度更快;

缺点：

1. 大量的 fd 在用户空间和内核空间之间复制，复制开销大；
2. 与select一样，poll返回后，需要轮询 fd 来获取就绪的描述符；

epoll

优点：

1. 没有描述符个数的限制；
2. IO效率不随 fd 数目增加而线性下降；
3. 使用mmap内存映射加速内核与用户空间的数据传递，不存在复制开销；
4. 无须遍历整个被侦听的描述符集，只要遍历那些被内核IO事件唤醒而加入就绪队列的描述符集合就行了。
5. epoll除了提供select/poll 那种IO事件的电平触发（Level Triggered）外，还提供了边沿触发（Edge Triggered），这就使得用户空间程序有可能缓存IO状态，减少epoll_wait的调用，提高应用程序效率。

缺点：

1. epoll 跨平台性不够、只能工作在 linux 下；

epoll 只有三个函数：epoll_create、epoll_ctl、epoll_wait，使用非常简单：

```
int main() {

    // 第一步：创建epoll描述符
    int epfd = epoll_create(max_conn_size + 1);

    // 第二步：注册一个 fd 到 epoll
    epoll_ctl(epfd, op, fd, event);
```

```
8
9       while (true) {
10          // 第三步：监听全部 fd
11          int num = epoll_wait(epfd, timeout);
12
13          for (int i = 0; i < num; i++) {
14              // 第四步：读取客户端的数据
15              data = recv(fd);
16
17              // 第五步：处理客户端的数据
18              ...
19
20              // 第六步：向客户端发送数据
21              send(fd, data);
22          }
23      }
24  }
```

好处：

IO多路复用的优势在于，可以处理大量并发的IO，而不用消耗太多CPU/内存。

问题：

多路复用IO模型是通过轮询的方式来检测是否有事件到达，并且对到达的事件逐一进行响应。因此对于多路复用IO模型来说，一旦事件响应体很大，那么就会导致后续的事件迟迟得不到处理，并且会影响新的事件轮询。

解决方案：

多线程可以解决事件响应体很大时，后续的事件迟迟得不到处理的问题。

主线程

系统初始化

```
1  int main()
2  {
3      System * sys = Singleton<System>::instance();
4      sys->init();
```

```
5 }
```

1. 日志初始化
2. 配置初始化

服务启动

```
1 int main() {
2     Server * server = Singleton<Server>::instance();
3     server->listen(ip, port);
4     server->start();
5 }
```

1. 创建分发线程
2. 启动网络服务

socket封装类

```
1  class Socket
2  {
3  public:
4      bool bind(const string &ip, int port);
5      bool listen(int backlog);
6      bool connect(const string &ip, int port);
7      bool close();
8
9      int accept();
10     int recv(char * buf, int len);
11     int send(const char * buf, int len);
12
13     bool set_non_blocking();
14     bool set_send_buffer(int size);
15     bool set_recv_buffer(int size);
16     bool set_linger(bool active, int seconds);
17     bool set_keep_alive();
18     bool set_reuse_addr();
19     bool set_reuse_port();
20
```

```
protected:
    string  m_ip;
    int     m_port;
    int     m_sockfd;
};
```

服务端socket

```
class ServerSocket : public Socket
{
public:
    ServerSocket();
    ServerSocket(const string &ip, int port);
    virtual ~ServerSocket();
};
```

客服端socket

```
class ClientSocket : public Socket
{
public:
    ClientSocket();
    ClientSocket(const string &ip, int port);
    virtual ~ClientSocket();
};
```

epoll封装类

```
class EventPoller
{
public:
    void create(int max_connections);
    void add(int fd, void * ptr, __uint32_t events);
    void mod(int fd, void * ptr, __uint32_t events);
```

```
    void del(int fd, void * ptr, __uint32_t events);
    int wait(int millsecond);

protected:
    void ctrl(int fd, void * ptr, __uint32_t events, int op);
};
```

Socket Handler类

```
class SocketHandler
{
public:
    SocketHandler();
    ~SocketHandler();

    void listen(const string & ip, int port);
    void attach(Socket * socket);
    void detach(Socket * socket);
    void remove(Socket * socket);
    void handle(int max_connections, int wait_time);

private:
    EventPoller * m_epoll;
    Socket * m_server;
    ObjectPool<Socket> m_sockpool;
    Mutex m_mutex;
};
```

1. handle：实现IO多路复用功能
2. attach：将客户端的socket加入epoll监听池，进行监听
3. detach：将客户端的socket移出epoll监听池，不再监听

分发线程

Task 类

```
class Task
```

```
{
public:
    Task();
    Task(void* data);
    virtual ~Task();

    void* get_data();
    void set_data(void* data);

    virtual void run() = 0;
    virtual void destroy() = 0;

protected:
    void*       m_data;
    Mutex       m_mutex;
};
```

Task类定义了两个方法：

1. run：执行任务
2. destory：销毁任务

Task Dispatcher 类

```
class TaskDispatcher : public Thread
{
public:
    TaskDispatcher();
    ~TaskDispatcher();

    void init(int threads);
    void assign(Task* task);
    void handle(Task* task);
    virtual void run();

protected:
    std::list<Task *> m_tasks;
};
```

任务分发器：

1. assign：将请求任务加入任务队列

2. handle：将任务分发给线程池处理

线程池

Thread线程类

```
class Thread
{
public:
    Thread();
    virtual ~Thread();

    virtual void run() = 0;

    void start();
    void stop();

    void set_task(Task* task);
    Task* get_task();

protected:
    static void* thread_func(void* ptr);

protected:
    pthread_t           m_tid;
    Task*               m_task;
    Mutex               m_mutex;
    Condition           m_cond;
};
```

1. start：启动线程
2. stop：线程退出
3. run：线程执行过程

WorkThread工作线程

```
class WorkerThread : public Thread
{
```

```
public:
    WorkerThread();
    virtual ~WorkerThread();

    virtual void run();

    static void cleanup(void* ptr);
};
```

1. run：执行任务、销毁任务、从忙碌队列挪到空闲队列

ThreadPool线程池

```
class ThreadPool
{
public:
    ThreadPool();
    ~ThreadPool();

    void create(int threads);

    Thread* get_idle_thread();

    void move_to_idle_list(Thread* thread);
    void move_to_busy_list(Thread* thread);

    int get_idle_thread_numbers();
    int get_busy_thread_numbers();

    void assign(Task* task);

private:
    int m_threads;

    std::set<Thread *> m_list_idle;
    std::set<Thread *> m_list_busy;

    Mutex m_mutex_idle;
    Mutex m_mutex_busy;

    Condition m_cond_idle;
    Condition m_cond_busy;
};
```

业务插件

编写插件

头文件：plugin/TestPlugin.h

```
class TestPlugin : public Plugin
{
public:
    TestPlugin();
    virtual ~TestPlugin();

    virtual bool run(Context & ctx);

};
DEFINE_PLUGIN(TestPlugin)
```

源文件：plugin/TestPlugin.cpp

```
TestPlugin::TestPlugin() : Plugin() {}

TestPlugin::~TestPlugin() {}

bool TestPlugin::run(Context & ctx)
{
    string & input = ctx.ref<string>("input");
    ctx.ref<string>("output") = input + " test plugin run!";
    return true;
}
```

Context：插件上下文

1. 获取客户端的输入数据
2. 向客户端输出数据

3. 不同插件之间共享数据

编译插件

```
rm -rf plugin/*.so
make plugin
```

配置插件

文件：config/workflow.xml

```
<?xml version="1.0"?>
<workflow>
    <work name="1" switch="on">
        <plugin name="testplugin.so" switch="on" />
    </work>
</workflow>

```

业务编号：name="1"

插件名称：name="testplugin.so"

插件开关：switch="on"

加载插件

```
. kill.sh
./main &
```

目前需要重启服务来加载插件，以后可以优化，做成动态加载插件，无需重启服务。

业务引擎

完结