1. 线程安全的对象生命期管理
2. Observer（观察者）设计模式

观察者模式定义了一种一对多的依赖关系，让多个观察者对象同时监听某一个主体对象。这个主体对象在发生状态变化时，会通知所有观察者对象，使他们能够自动更新自己。  
一个软件系统常常要求某一个对象的状态发生变化的时候，某些其他的对象作出相应的改变。做到这一点的设计方案有很多，但是为了使系统能够易于复用，应该选择低耦合度的设计方案。减少对象之间的耦合有利于系统的复用，但是同时设计师需要使这些低耦合度的对象之间能够维持行动的协调一致，保证高度的协作（Collaboration）。观察者模式是满足这一要求的各种设计方案中最重要的一种。



从上面的解释可以看出，观察者模式是非常适合客户-服务器模式编程的。

1. 对象线程安全的定义：

多个线程同时访问时，都表现出正确的行为，无论操作系统以何种顺序调度线程，调用段无需额外的同步或其他协调操作。

1. 对象构造线程安全的要求只有一点：不要在创建对象的时候泄露this指针——不要在构造函数中注册任何回调，不要在构造函数的任何地方把this指针传给跨线程的对象。
2. 析构函数遇到多线程会存在的问题：

在一个对象被多个线程使用时，对象的销毁会出现会存在问题：产生多种竞态条件，有的线程可能在使用对象，有些线程可能却在销毁对象。即出现线程不安全问题。重点应关注析构函数的线程安全。

1. 作为对象成员的mutex并不能完全保证线程安全，如下代码：

Foo::~Foo(){ //释放对象状态

MutextLockGuard lock(mutex\_); //对Foo对象的临界资源加锁过程

//free internal state

}

void Foo::updata(){ //使用对象状态

MutextLockGuard lock(mutex\_);

//make use of internal state

}

有下面代码可能产生竞态条件：

//线程1 //线程2

extern Foo \*x; extern Foo \*x;

delete x; if (x){

x = NULL; x->update();

}

当线程1执行到析构函数并获得锁准备继续执行，线程2执行if(x)判断x不为空后阻塞准备或得x，当线程1执行完，线程2的结果是不可预见的。

另外如果同时读写同一个类的两个对象时也可能发生死锁。解决的办法有，保持相同的加锁顺序，即先加锁地址较小的mutex。

1. 面向对象程序设计中，对象的关系主要有三种：组合（composition）、聚合（aggregation）、关联（association）。（其实还有个依赖（dependency）），其中，聚合和关联都会存在线程不安全问题。
2. 上面的问题很大一部分原因是因为使用了原始指针，因为原始指针不能确保它指向的对象是否还存活着。
3. 使用shared\_ptr（强引用）和weak\_ptr（弱引用）来解决上面提到的问题。weak\_ptr虽然是弱引用，并不能增加引用计数，但是他可以知道一个对象是否还是活着的：如果还活着，那么他可以提升(使用weak\_ptr的lock()函数，该函数是线程安全的)成一个shared\_ptr，如果对象已经死了，提升会失败，返回一个空的shared\_ptr。
4. C++可能的内存问题有以下几大类：

a.缓存区溢出 b.空悬指针 c.重复释放 d.内存泄露 e.不配对的new[]/delete f.内存碎片

其中可以使用智能指针解决上面前五个问题。

1. shared\_ptr本身不是100%线程安全的，所以要在多线程中使用同一个shared\_ptr，正确的做法用mutex保护。
2. shared\_ptr存在的一些问题：
3. 有可能延长对象的生命期，如由于shared\_ptr支持拷贝构造和复制，那么如果不小心遗留了一个拷贝，那么对象可能就会永世长存。
4. shared\_ptr的拷贝要比原始指针要高，有可能在调用函数传值时有性能上的问题（这个问题一般可以通过将函数参数指定为const reference（常引用）来解决）。
5. RAII：Resource Acquisition Is Initialization，资源获取就是初始化

每一个明确的资源配置动作都应该在单一语句中执行，并在该语句中立刻将配置获得的资源交给handle对象（如shared\_ptr），程序中一般不出现delete。

1. 如何获得一个指向当前对象的shared\_ptr<T>对象呢？使用enable\_shared\_from\_this，这是一个以其派生类为模板类型实参的基类模板，集成它，this指针就能变身为shared\_ptr。如:

class A : public enable\_shared\_from\_this < A > {

public:

A(int v1, int v2):a(v1),b(v2){}

shared\_ptr<A> f()

{

return shared\_from\_this();

}

void p(){ cout << a << " " << b; }

private:

int a;

int b;

};

int \_tmain(int argc, char \*argv[])

{

shared\_ptr<A> a(new A(1,2));

shared\_ptr<A> pa = a->f(); //pa也为指向上面new出来的A对象的shared\_ptr

pa->p();

cout<<pa.use\_count(); //输出为2可以证明pa和a都指向能一个内存，

当然a的寿命可能会被延长

return 0;

}

1. 对于上面提到的使用enable\_shared\_from\_this可能会延长对象的生命期，可以考虑使用“弱回调”方式解决，弱回调就是先判断对象是不是还活着，如果活着，就调用它的成员函数，否则忽略掉。其实就是在上面的代码中，将a->f()返回的shared\_ptr强制转换为weak\_ptr，这样就不会延长a的寿命了。修改上面的代码如下：

int \_tmain(int argc, char \*argv[])

{

shared\_ptr<A> a(new A(1,2));

weak\_ptr<A> pa = weak\_ptr<A>(a->f());

pa.lock()->p();

pa.lock().use\_count();

cout<<a.use\_count(); //会看到上面的两个输出都是1，weak\_ptr没有增加引

用计数

return 0;

}

这样就可以做到线程安全的对象回调与析构，还有解决了多个类之间的生命周期影响。

总结

**在使用C++编写多线程程序的时候，应该注意出现的竞态问题（分析可能的竞态条件，不仅是多线程编程的基本功，也是分布式系统的基本功）。因为C++没有垃圾回收机制，所以都要开发人员回收内存，一般就在析构函数回收自己开辟的内存空间，但是将原始指针暴露给多线程往往会造成竞态，如当有些线程准备回收该对象内存，但是另外的线程可能还在使用该对象，而且单纯的检查指针是否为空是不能检查该对象是否还活着，这样就会引起未知的错误。统一用shared\_ptr来管理对象的生命期就变得尤为重要，可以将它理解为C++的自动内存回收。然而在使用时应该主要有可能引起的延长对象的生命期（总结11），解决办法就是总结14，使用shared\_ptr的好搭档weak\_ptr，可用于弱回调。当然，shared\_ptr不是100%线程安全的，所以必须加锁，使用互斥量就可以了。使用以上总结的内容，给出示例代码如下：**

class MutexLock{ //互斥量锁类

public:

MutexLock(){pthread\_mutex\_init(&mutex\_, NULL);}

~MutexLock(){pthread\_mutex\_destroy(&mutex\_);}

void lock(){pthread\_mutex\_lock(&mutex\_);}

void unlock(){pthread\_mutex\_unlock(&mutex\_);}

private:

pthread\_mutex\_t mutex\_;

};

class MutexLockGuard{ //互斥量加锁类

public:

explicit MutexLockGuard(MutexLock& mutex):mutex\_(mutex){mutex\_.lock();}

~MutexLockGuard(){mutex\_.unlock();}

private:

MutexLock& mutex\_;

};

class stock{ //举例股票类

public:

stock():ID(""),price(0.0){}

stock(const string &id, const float p):ID(id),price(p){}

stock(const string &id):ID(id),price(0.0){}

string key(){return ID;}

private:

string ID;

float price;

};

class stockfactory:public enable\_shared\_from\_this<stockfactory>{ //举例，股票对象集合

public:

shared\_ptr<stock> get(const string &key){

shared\_ptr<stock> pstock;

MutexLockGuard lock(mutex\_); //对资源进行加锁

weak\_ptr<stock>& wstock = stocks\_[key];

pstock = wstock.lock();

if (!pstock){

//使用weak\_ptr和shared\_ptr结合，达到弱回调，不会延长生命期

pstock.reset(new stock(key), bind(stockfactory::weakDeleteCallBack,

weak\_ptr<stockfactory>(shared\_from\_this()), \_1));

wstock = pstock;

}

return pstock;

}

private:

mutable MutexLock mutex\_;

map<string, weak\_ptr<stock>> stocks\_;

static void weakDeleteCallBack(const weak\_ptr<stockfactory> &wkfactory,

stock \*s){

//使用weak\_ptr就可以检查目前对象是否还活着

shared\_ptr<stockfactory> factory(wkfactory.lock());

if (factory){

factory->removeStock(s);

}

delete s;

}

void removeStock(stock \*s){

if(s){

MutexLockGuard lock(mutex\_);

stocks\_.erase(s->key());

}

}

};

1. 线程同步精要
2. 线程同步的四个原则：
3. 首要原则是尽量最低限度地共享对象，减少需要的同步场合。一个对象最好不要暴露给其他线程，如果必须，优先使用immutable变量，其次是可修改变量。
4. 使用高级并发编程构件，如TaskQueue、Producer-Consumer Queue、CountDownLatch等等。
5. 最后不得己必须使用底层同步原语时，只用非递归(不可重入/不可中断)的互斥器和条件变量，慎用读写锁，不要用信号量。
6. 除了使用atomic整数之外，不自己编写lock-free代码（无锁编程），也不要用内核级同步原语。
7. 互斥器的使用原则：
8. 建议使用非递归的（不可重入）的互斥器
9. 用RAII手打封装mutex的创建、销毁、加锁、解锁这四个部分（第一章的最后代码已经给出示例代码，MutexLock和MutexLockGuard）。
10. 不手工调用lock()和unlock()，一切交给Guard对象的构造和析构函数，Guard对象的生命期就是整个临界区，这样正好保证在一个函数或者一个作用范围内加锁和解锁。另外，分析对象什么时候析构是C++程序员的基本功。这样的方法叫做Scoped Locking。
11. 在每次构造Guard对象时，思考一路上已经持有的锁，防止因加锁顺序不同而导致死锁。
12. 不使用跨进程的mutex，进程间使用TCP sockets。
13. RAII的基本含义是：C++中的资源，如内存、文件句柄等，应该由对象来管理，资源在对象的构造过程中初始化，并在对象的析构函数中被释放。（STL的shared\_ptr就是RAII的一个具体应用）
14. 使用可RAII后会带来如下的好处：加解锁在一个线程、不会忘记解锁、不会重复解锁。
15. 编写高性能多线程程序只是还要知道cache line（高速缓存行）和false sharing（错误共享）。

cache line:在多处理器（SMP）中每个CPU都会有一个本地高速缓存，一般CPU从内存读取数据到cache中的时候，每次会有一个读取单元，这个读取单元就是一个cache line。

false sharing：我们都知道cache是要保持和内存的数据一致的。一般可能会有多个处理器读取同一个cache line单位的内存数据到自己的cache中。在多线程的情况下会有以下问题出现：位于两个处理器上的两个线程（完全无关），如thread1和thread2，此时thread1和thread2的部分数据位于同一块cache line的上，并被两个处理器读到了各自的cache中，恰恰这时thread1的修改了cache line上的变量，然后thread2上的CPU则会被告知自己的一个cache line（和thread1是相同内存）是数据不一致的。这样thread2上的CPU就要到内存中重新读取该块内存到cache中，但是此时thread2并不关心被修改的那个变量的值（thread1和thread2无关），我们把这个现象叫做false sharing。对于false sharing的避免，主要方法是通过代码检查（intel 官方文档介绍）。

1. 条件变量的使用原则：

条件变量是线程可用的另一种同步机制。条件变量给多个线程提供了一个汇合的场所。条件变量和互斥量一起使用，允许线程以无竞争的方式等待特定的条件发生（UNIX环境高级编程）。

条件变量的正确使用方式：

1. wait端：
2. 必须与mutex一起使用，条件的读写须受此mutex的保护
3. 在mutex上锁的时候才能调用wait()
4. 把条件的判断和wait()放到循环中，不然会造成虚假唤醒（spurious wakeup）
5. signal/broadcast端：
6. 不一定要在mutex已上锁的时候调用signal
7. 在signal之前一般要修改条件
8. 修改条件要在锁的保护下进行
9. 注意区分signal和broadcast
10. 具体的封装演示代码如下：

class condition{ //条件变量的封装

public:

condition(MutexLock &mutex):mutex\_(mutex){pthread\_cond\_init(&cond\_, NULL);}

void wait(){pthread\_cond\_wait(&cond\_, mutex\_.getMutex());}

void notify(){ pthread\_cond\_signal(&cond\_);}

void notifyAll(){pthread\_cond\_broadcast(&cond\_);}

~condition(){pthread\_cond\_destroy(&cond\_);}

private:

MutexLock &mutex\_;

pthread\_cond\_t cond\_;

};

class countDownLatch{

public:

explicit countDownLatch(int c):cond\_(mutex\_),count(c){}

void wait(){

MutexLockGuard lock(mutex\_); //wait端要求1

while(count > 0) //wait端要求2、3

cond\_.wait();

}

void countDown(){

MutexLockGuard lock(mutex\_);// signal/broadcast端要求3

--count; // signal/broadcast端要求2

if (count == 0){cond\_.notifyAll();}

}

private:

mutable MutexLock mutex\_;

condition cond\_;

int count;

};

1. 注意，在验证上面代码正确性的时候，封装了一个创建线程的类，代码如下面，注意在定义线程函数的时候，将其定义成了static函数，这是因为在C语言中线程函数也是全局函数的，如果在C++中不这样定义，编译器会认为类型不匹配，编译不过。

int i=1;

countDownLatch count(5);

class ThreadCreate{

public:

ThreadCreate(){

pthread\_create(&tid, NULL, fun, NULL);

}

private:

pthread\_t tid;

static void\* fun(void\*); //线程函数要定义为static

};

void \*ThreadCreate::fun(void\*){

printf("%lu------>%s\n",(unsigned long)pthread\_self(), "wait condtition count == 0");

count.wait();

sleep(i++);

printf("%lu------>%s\n",(unsigned long)pthread\_self(), "count == 0 exit!");

};

总结

**多线程是一项重要的个人技能，不能因为它难就本能地排斥，掌握同步原语和他们的使用场合是多线程编程的基本功。上面的内容可归纳如下：**

1. **线程同步的四项原则，尽量用高层同步设施（线程池、队列、倒计时）**
2. **使用普通互斥量和条件变量完成剩余的同步任务（**书中还介绍了使用shared\_ptr和mutex代替读写锁(且是read-copy-update模式)的例子，值得学习，此处没有总结出**），采用RAII惯用手法包装互斥量和条件变量，达到Scoped Locking效果。**
3. 多线程服务器的使用场合与常用编程模型
4. 设计分布式系统时需要思考的问题：容错、扩容、负载均衡和任务切换（退休）。
5. 多线程中线程的分类：
6. IO线程，这类线程的主循环是IO multiplexing，阻塞地等在select/poll/epoll\_wait系统的调用上。这类线程也处理定时事件。
7. 计算线程，这类线程的主循环是blocking queue，阻塞地等在condition variable上，这类变量一般位于thread pool中。
8. 第三方库所用的线程，比如logging等。
9. 单线程服务器的编程模型：

non-blocking IO + IO multiplexing(非阻塞IO+IO多路转接)，在这种模型中的结构是一个事件循环（event loop），以事件驱动和事件回调的方式实现业务逻辑。

示例代码：

while(!done)

{

int timeout\_ms = max(1000, getNextTimedCallback());

int retval = ::poll(fds, nfds, timeout\_ms); //这里的poll伸缩性不足，Linux下

可改为epoll

if (retval < 0){

//处理错误，回调用户的error handler

}

else{

//处理到期的timers，回调用户的time handler

if(retval > 0){

//处理IO事件，回调用户的IO event handler

}

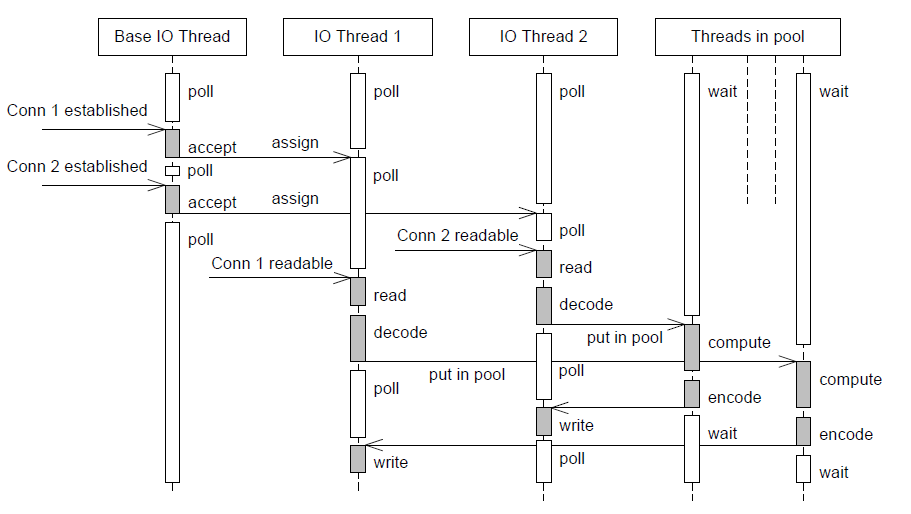
}

}

1. 多线程服务器的常用编程模型
2. 每个请求创建一个线程，使用阻塞式IO操作
3. 使用线程池，同样适用阻塞式IO操作。比a提高性能
4. 使用non-blocking IO + IO multiplexing
5. Leader/follower等高级模式
6. 作者推荐的C++多线程服务端编程模型：one event loop per thread + thread pool。

* one event loop per thread：这种模型下，程序里的每个IO线程有一个event loop（事件循环，循环处理某一事件，如处理来自网络中连接到本地TCP 22端口的请求连接事件），代码结构如上面代码。Eventloop代表了线程的主循环，需要让哪个线程干活，就把timer或IO channel注册到哪个线程的loop里即可（即向epoll的某个事件处理线程注册一次）。
* thread pool：用来计算，具体可以是任务队列或生产者消费者队列，线程池的另外一个作用是执行阻塞操作，另外还可以用线程池来调用一些阻塞的IO函数。

使用多个Reactor 来处理IO，又使用线程池来处理计算。这种方案适合既有突发IO （利用多线程处理多个连接上的IO），又有突发计算的应用（利用线程池把一个连接上的计算任务分配给多个线程去做），程序结构如下图(这段话和图都总结自后文)：



具体的代码实现待以后学习后再补充，目前只提供了理论。

1. 如果要在一台多核机器上提供一种服务或执行一个任务，流行的可用模式有：

* 运行多个单线程的进程
* 主进程+worker进程（master+slaves）

1. 多线程服务器适用的场合：
2. 单线程使用的场合

程序可能会fork；

限制程序的CPU占用率（可能系统上正在运行更重要的进程）。

1. 多线程适用的场合

多线程可以提高响应速度，让IO和计算相互重叠，降低延时。比如分布式集群管理软件。

总结

**本书中作者提倡的多线程编程模型为：one event loop per thread + thread pool。这也是muduo库的模型，这样的编程模型兼顾了系统IO的相应延时和计算的高效率。具体的介绍可查看上面的介绍。学习多线程编程还有一个巨大的好处，即训练异步思维，提高分析并发事件的能力。这对设计分布式系统帮助巨大，因为运行在多台机器上的服务进程本质上是异步的。熟悉多线程编程的话，很容易就能发现分布式系统在消息和事件处理方面的race condition。**

1. C++多线程Linux系统编程精要
2. 多线程系统编程的难点不在于学习线程原语，而在于理解多线程与现有的C/C++库函数和系统调用的交互关系，以进一步学习如何设计并实现线程安全且高效的程序。
3. Linux上的线程标识

虽然Linux的threads库提供了pthread\_self()函数用于返回当前线程的标识符，其类型为pthread\_t，但是这是一个未知类型，不能进行一些比较、打印、定义非法值等操作，且只在本进程内有效，在/proc下无法查找对应的task，所以pthread\_t不适合用于程序中对线程的标识符。

在Linux上建议使用gettid()（实际系统中应这样调用：syscall(SYS\_gettid)）系统调用的返回值作为线程id，且它是pid\_t类型的，通常是一个小整数。它可以在/proc中找到对应项、用top等命令查看任务、且是全局唯一的、0是非法的。通常将其存储在一个\_\_thread类型变量中，防止每次使用的时候都要调用系统调用，提高效率。

1. 线程的创建与销毁守则

线程的创建原则：程序库不应该在未提前告知的情况下创建自己的“背景线程”（线程是稀缺资源，不应该随心所欲的创建线程，如果有可能最好让使用者在初始化库的时候传入线程池或eventloop）、尽量使用相同的方式创建线程(如Thread类)、在进入main()函数之前不应该启动线程（即全局对象不能创建线程）、程序中的线程最好在初始化阶段全部完成。

线程的结束：不建议使用phread\_cancel结束线程；exit(3)在C++中不是多线程安全的。

1. 善用\_\_thread关键字

关键字\_\_thread是GCC内置的线程局部存储设施，即用它声明的变量就成为线程局部的了，即使声明的是全局变量，每个子线程从主线程继承来变量以后就各自独立拥有一份实体，每个线程的变量值互不影响：

int g\_var; //全局变量

\_\_thread int t\_var; //\_\_thread变量

\_\_thread的使用规则：只能用于修饰POD(Plain Old Data，平凡类型)类型，不能修饰class类型和函数的局部变量，因为无法自动调用构造函数和析构函数。

1. 多线程与IO(文件描述符)

一个线程可以操作多个文件描述符，但是一般一个线程不能操作其他线程的文件描述符。但是有例外，如磁盘文件可以使用pread和pwrite读写同一个文件，UDP由于其消息的原子性，在适当的条件下，可以多个线程同时读写同一个UDP的文件描述符。

1. 用RAII包装文件描述符(网络socket描述符)

在C++里解决网络连接串话(由于Linux的文件描述符管理和多线程的原因，有时候会出现连接A刚断开的文件描述符4，被另外的连接B使用，可能会出现B收到连接A的数据，造成数据混乱)的办法：RAII。用Socket对象包装文件描述符，所有对此文件描述符的读写操作都通过此对象进行，在对象析构函数里关闭文件描述符。这样一来，只要Socket对象还活着，就不会有其他Socket对象跟它有一样的文件描述符(因为会在对象的析构函数里关闭该操作符，只要对象还活着，该对象就会一直占有该操作符，系统不会把它分配给其他的连接)，且用shared\_ptr来管理该Socket(文件描述符)对象的生命期，就可以完全防止发生网络串话或访问失效的对象。

1. RAII与fork()可能会出现的问题

调用fork()后，子进程会继承父进程的几乎全部状态，例如文件描述符和地址空间；但是也有例外，如父进程的内存锁、文件锁、某些定时器等。当我们使用RAII来管理这些在继承时会被释放的资源，子进程可能就不会正常工作。

所以我们在使用fork()前就应该慎重考虑。

1. 多线程与fork()的问题

fork()一般不能在多线程程序中调用，应为子进程不可能全部克隆父进程的所有线程，只会继承控制线程，即调用fork()的那个线程。

唯一安全的做法是在fork()之后立即调用exec()执行另外的一个程序，彻底隔断子进程与父进程的联系。

1. 多线程与signal

在多线程中，信号分为两类：发送给某一线程的信号(SIGSEGV)和发送给进程中任一线程的信号(SIGTERM)。发送给进程中的某一线程还要考虑掩码对信号的屏蔽。由于Linux的信号和多线程天生的水火不容，所以在多线程中使用signal的第一原则是不要使用信号，其次还有：

不要使用信号作为IPC的手段；

不要使用基于信号实现的定时函数，包括sleep/ usleep/ alarm/ualarm/settimer等；

不要主动处理各种异常信号，只用默认语义：结束进程；

在没有别的替代方法的情况下，把异步信号转为同步的文件描述符事件(使用signalfd(2)函数把信号直接转换为文件描述符事件，从而从根本上避免signal handler)。

总结

**本章介绍了在Linux上的C++多线程编程面对的一些技术细节，如Linux上的线程唯一标识问题、线程的创建与销毁应该遵守的原则、使用RAII封装文件描述符时可能遇到的问题及解决办法、RAII和fork()之间的冲突、在多线程中使用fork()/信号/文件描述符遇到的问题等。作者总结了编写多线程C++程序的原则：**

**线程是宝贵的，一个程序可以使用几个或十几个线程；**

**线程的创建与销毁是有代价的，一个程序最好一开始创建所需的线程，并一直反复使用；**

**每个线程应该有明确的职责，例如IO线程、计算线程等；**

**线程之间的交互尽量简单，理想情况下，线程之间只用消息传递方式交互；**

**要预先考虑清楚一个mutable shared对象将会暴露给哪些线程，每个线程是读还是写，读写有无可能并发进行。**

第五章 高效的多线程日志（略）

第六章 muduo网络库简介

1. 为什么需要网络库

网络库的价值在于能方便地处理并发连接。

1. muduo是基于Reactor模式的网络库，其核心是事件循环Eventloop，用于响应计时器和IO事件。

Reactor模式：

1. 前向声明(forward declaration)

前向声明是与超前引用有关的，所谓超前引用就是A类中使用了B类，而在B类中使用了A类，而在C++中一个类在使用前必须被定义，而在编译时编译器要么先编译A类，要么先编译B类，那么先编译的那个类中就无法识别后编译的类型，编译器可能会报未定义错误，这就是超前引用。

解决的办法就是在先编译的类之前声明另外的类为一个类型，但是并没有定义(这就是一个不完全类型)。这样的方法有一个限制，**完全类型只能用于定义指向该类型的指针及引用，或者用于声明(而不是定义)使用该类型作为形参类型或返回类型的函数。示例代码：**

class A;

class B

{

public:

A\* m\_a; //（不能A m\_a）

}

#include "A.h"

class B

{

public:

A\* m\_a; //(或者A m\_a)

}

类的前向声明只适用于指针和引用的定义，如果是普通类类型就得使用include了。

前向声明好处是: 不必要的#include，会增加编译时间。混乱随意的#include可能导致循环#include，可能出现编译错误。

1. TCP网络编程最本质的是处理三个半事件：
2. 连接的建立。包括客户端的connect和服务端的accept；
3. 连接的断开，包括主动断开（close、shutdown）和被动断开（read(2)返回0）；
4. 消息到达、文件描述符可读，这是最为重要的事件，对它的处理决定了网络编程的风格（阻塞/非阻塞，如何处理分包，应用层的缓存如何设计）；
5. 消息发送完毕，算半个。
6. muduo库解决了网络编程中遇到的如下问题：

* 如果要主动关闭链接，如何保证对方已经收到全部数据？如果应用层有缓冲，那么如何保证先发送完缓冲区中的数据然后再断开连接？
* 如果主动发起连接，但是对方主动拒绝，如何定期重试？
* 在非阻塞网络编程中，为什么要使用应用层发送缓冲区？

回答：如果等待OS缓冲区可用会阻塞当前线程，因为不知道对方什么时候收到收到并读取数据。

* 如果应用程序要发送40kB数据，但是操作系统的TCP发送缓冲区只有25kB剩余空间，那么剩余的15kB的数据怎么办？

回答：承上回答，因此网络库应该把这15kB数据缓存起来，这样放到这个TCP链接的应用发送缓冲区中，

* 在非阻塞网络编程中，为什么要使用应用层的接受缓冲区？
* 如果一次读到的数据不够一个完整的数据包，那么这些已经读到的数据是不是应该先暂存在某个地方，等剩余的数据收到之后再一并处理？
* 在非阻塞网络编程中，如何设计并使用缓冲区？在多开辟空间可一次多读数据从而减少系统调用和少占用内存中如何取舍？

回答：muduo使用readv(2)并结合栈上空间解决了第二个问题。

* 如果使用发送方缓冲区，万一接收方处理缓慢，数据会不会一支堆积在发送方，造成内存暴涨？如何做应用层的流量控制？

1. Reactor模式的意义：

Doug Schmit指出，其实网络编程中有很多是事物性(routine)的工作，可以提取为公用的框架或库，而用户只需要填上关键的业务逻辑代码，并将回调注册到框架中，就可以实现完整的网络服务，这正是Reactor模式的主要思想。Reactor的意义在于将消息(IO事件)分发到用户提供的(回调)处理函数，并保持网络部分的通用代码不变，独立于用户的业务逻辑。

1. 在使用非阻塞IO ＋事件驱动方式编程注意：

一定要避免在事件回调中执行耗时的操作，包括阻塞IO等，否则会影响程序的响应。

1. muduo内置的多线程方案—Reactors in threads：

这种方案的特点电视one loop per thread，有一个main Reactor负责accept连接，然后把连接挂在某个sub Reactor中(muduo采用轮询的方式来选择sub Reactor)，这样该连接的所有操作都在那个sub Reactor所处的线程中完成。多个连接可被分派到多个线程中，以充分利用CPU。这种方案把IO分派给多个线程，防止出现一个Reactor的处理能力饱和。线程模型如下：

