Technology Tarena 达内科技

Unix系统高级编程

Thread 2

DAY15

内容

上午	09:00 ~ 09:30	作业讲解和回顾
	09:30 ~ 10:20	互斥体与信号量
	10:30 ~ 11:20	
	11:30 ~ 12:20	条件变量
下午	14:00 ~ 14:50	
	15:00 ~ 15:50	局域网聊天室
	16:00 ~ 16:50	
	17:00 ~ 17:30	总结和答疑

互斥体与信号量

Technology Tarena 达内科技

并发冲突

并发冲突

- 当多个线程同时访问其共享的进程资源时，如果不能相互协调配合，就难免会出现数据不一致或不完整的问题。这种现象被称为线程间的并发访问冲突，简称并发冲突
  - 假设有整型全局变量g_cn被初始化为0

```
int g_cn = 0;
```

  - 启动两个线程，同时执行如下线程过程函数，分别对该全局变量做一百万次累加

```
void* start_routine (void* arg) {
    int i;
    for (i = 0; i < 1000000; ++i) ++g_cn;
    return NULL; }
```

  - 两个线程结束后，g_cn的值理想情况下应该是两百万，但实际情况却往往少于两百万，且每次运行的结果不尽相同

知识讲解

并发冲突（续1）

Technology Tarena 达内科技

- 理想中的原子“++”

线程1		内存	线程2	
指令	eax	g_cn	eax	指令
`movl g_cn, %eax`	0	0		
`addl $1, %eax`	1	0		
`movl %eax, g_cn`	1	1		
		1	1	`movl g_cn, %eax`
		1	2	`addl $1, %eax`
		②	2	`movl %eax, g_cn`

- 原子操作通常被认为是不可分割的，即在执行完该操作之前不会被任何其它任务或事件中断。理论上只有在单条指令中完成的操作才可被视为原子操作

知识讲解

并发冲突（续2）

Technology Tarena 达内科技

- 现实中的非原子“++”

线程1		内存	线程2	
指令	eax	g_cn	eax	指令
`movl g_cn, %eax`	0	0		
		0	0	`movl g_cn, %eax`
`addl $1, %eax`	1	0		
		0	1	`addl $1, %eax`
`movl %eax, g_cn`	1	1		
		①	1	`movl %eax, g_cn`

- 一组非原子化的操作常常会因为线程切换而导致未定义的结果。这时就必须借助人为的方法，迫使其被原子化

知识讲解

并发冲突

【参见：vie.c】

课堂练习

- 并发冲突

Technology Tarena 达内科技

线程同步

线程同步

- 缺省情况下，一个进程中的线程是以异步方式运行的，即各自运行各自的，彼此间不需要保持步调的协调一致
- 某些情况下，需要在线程之间建立起某种停等机制，即一或多个线程有时必须停下来，等待另外一或多个线程执行完一个特定的步骤以后才能继续执行，这就叫同步

知识讲解

线程同步（续1）

- 并发冲突问题
  - 任何时候只允许一个线程持有共享数据，其它线程必须阻塞于调度队列之外，直到数据持有者不再持有该数据为止
- 资源竞争问题
  - 任何时候只允许部分线程拥有有限的资源，其它线程必须阻塞于调度队列之外，直到资源拥有者主动释放其所拥有的资源为止
- 条件等待问题
  - 当某些条件一时无法满足时，一些线程必须阻塞于调度队列之外，直到令该条件满足的线程用信号唤醒它们为止

知识讲解

Technology Tarena 达内科技

互斥体

互斥体

- 初始化互斥体

```
#include <pthread_h>

int pthread_mutex_init (pthread_mutex_t* mutex,
    const pthread_mutexattr_t* attr);

                                成功返回0，失败返回错误码
```

  - ***mutex***：互斥体
  - ***attr***：互斥体属性，同步一个进程内的多个线程，取NULL
- 例如
  - pthread_mutex_init (&g_mutex, NULL);
  - pthread_mutex_t g_mutex =
    PTHREAD_MUTEX_INITIALIZER;

知识讲解

互斥体（续1）

- 销毁互斥体

```
#include <pthread.h>

int pthread_mutex_destroy (pthread_mutex_t* mutex);
```

成功返回0，失败返回错误码

  - ***mutex***：互斥体
- 释放和互斥体***mutex***有关的一切内核资源
- 例如
  - pthread_mutex_destroy (&g_mutex);

知识讲解

互斥体（续2）

- 锁定互斥体

```
#include <pthread.h>

int pthread_mutex_lock (pthread_mutex_t* mutex);

                                成功返回0，失败返回错误码
```

  - ***mutex***：互斥体
- 例如
  - pthread_mutex_lock (&g_mutex);
- 任何时刻只会有一个线程对特定的互斥体加锁成功，其它试图对其加锁的线程会在此函数的阻塞中等待，直到该互斥体的持有者线程将其解锁

互斥体（续3）

- 解锁互斥体

```
#include <pthread.h>

int pthread_mutex_unlock (pthread_mutex_t* mutex);

                                成功返回0，失败返回错误码
```

  - ***mutex***：互斥体
- 例如
  - pthread_mutex_unlock (&g_mutex);
- 对特定互斥体加锁成功的线程通过此函数将其解锁，那些阻塞于对该互斥体加锁的线程中的一个会被唤醒，得到该互斥体，并从pthread_mutex_lock函数中返回

互斥体（续4）

- 例如
  - for (i = 0; i < 1000000; ++i) {
    pthread_mutex_lock (&g_mutex);
    ++g_cn;
    pthread_mutex_unlock (&g_mutex);
    }
  - 任何时候都只会有一个线程执行++g_cn，其它试图执行++g_cn的线程则阻塞于pthread_mutex_lock函数，直到那个执行++g_cn的线程在完成计算后，通过pthread_mutex_unlock函数解锁该互斥体，这时处于阻塞状态的线程之一将被唤醒，并从pthread_mutex_lock函数中返回，执行++g_cn，其它线程继续在阻塞中等待

基于互斥体的线程同步

【参见：mutex.c】

课堂练习

- 基于互斥体的线程同步

信号量

信号量

- 初始化信号量

```
#include <semaphore.h>

int sem_init (sem_t* sem, int pshared,
    unsigned int value);
```

成功返回0，失败返回-1

  - ***sem***：信号量
  - ***pshared***：0表示该信号量用于线程间的同步；非0表示该信号量用于进程间的同步。对于后者，信号量被存储在共享内存中
  - ***value***：信号量初值

信号量（续1）

- 例如
  - sem_t g_sem;
    sem_init (&g_sem, 0, 5);
- 信号量的本质就是一个由系统内核维护的全局计数器，跟踪当前可用资源的数量，借以限制分享资源的线程数
- 信号量初值即资源总数。当有线程获得资源时，信号量计数器的值会相应减少。当其不够减时，试图获取资源的线程会在阻塞中等待
- 已获得资源的线程在其不需要继续使用资源时，会释放手中的资源，令信号量计数器的值回升。这时处于等待状态的线程之一会被唤醒，获得它想要的资源，同时令信号量计数器的值再度减少，以反映可用资源数的变化

知识讲解

信号量（续2）

- 销毁信号量

```
#include <semaphore.h>

int sem_destroy (sem_t* sem);
```

成功返回0，失败返回-1

  - *sem*：信号量
- 释放和信号量*sem*有关的一切内核资源
- 例如
  - sem_destroy (&g_sem);

信号量（续3）

- 等待信号量

```
#include <semaphore.h>

int sem_wait (sem_t* sem);
int sem_trywait (sem_t* sem);
int sem_timedwait (sem_t* sem,
    const struct timespec* abs_timeout);
```

成功返回0，失败返回-1

- *sem*：信号量
- *abs_timeout*：等候时限(始自UTC19700101T000000)

```
struct timespec {
  time_t tv_sec;  // 秒
  long   tv_nsec; // 纳秒，取值范围0-999999999
};
```

信号量（续4）

- 调用以上函数时，若信号量计数器的值大于1，则将其减1并立即返回0，否则
  - sem_wait函数会阻塞，直到信号量计数器的值够减时，将其减1并返回0
  - sem_trywait函数立即返回-1，并置errno为EAGAIN
  - sem_timedwait函数会阻塞，直到信号量计数器的值够减时，将其减1并返回0，但最多阻塞到abs_timeout时间，一旦超时立即返回-1，并置errno为ETIMEDOUT
- 例如
  - sem_wait (&g_sem);

知识讲解

信号量（续5）

- 释放信号量

```
#include <semaphore.h>

int sem_post (sem_t* sem);
```

成功返回0，失败返回-1

  - *sem*：信号量

- 调用sem_post函数将直接导致*sem*信号量计数器的值加1。那些此刻正阻塞于针对该信号量的sem_wait函数调用的线程中的一个将被唤醒，令*sem*信号量计数器的值减1并从sem_wait函数中返回
- 例如
  - sem_post (&g_sem);

信号量（续6）

- 获取信号量计数器的当前值

```
#include <semaphore.h>

int sem_getvalue (sem_t* sem, int* sval);
```

成功返回0，失败返回-1

  - *sem*：信号量
  - *sval*：输出计数器的当前值
- 例如
  -
```
int sval;
sem_getvalue (&g_sem, &sval);
printf ("%d\n", sval);
```

知识讲解

信号量（续7）

- 信号量函数的声明不在<pthread.h>中，而是在<semaphore.h>中，成功虽然返回0，但失败并不返回错误码，而是返回-1，同时设置errno
- 互斥量任何时候都只允许一个线程访问共享资源，而信号量则允许最多***value***个线程同时访问共享资源。***value***为1的信号量与互斥量等价

知识讲解

基于信号量的线程同步

【参见：sem.c、pool.c】

课堂练习

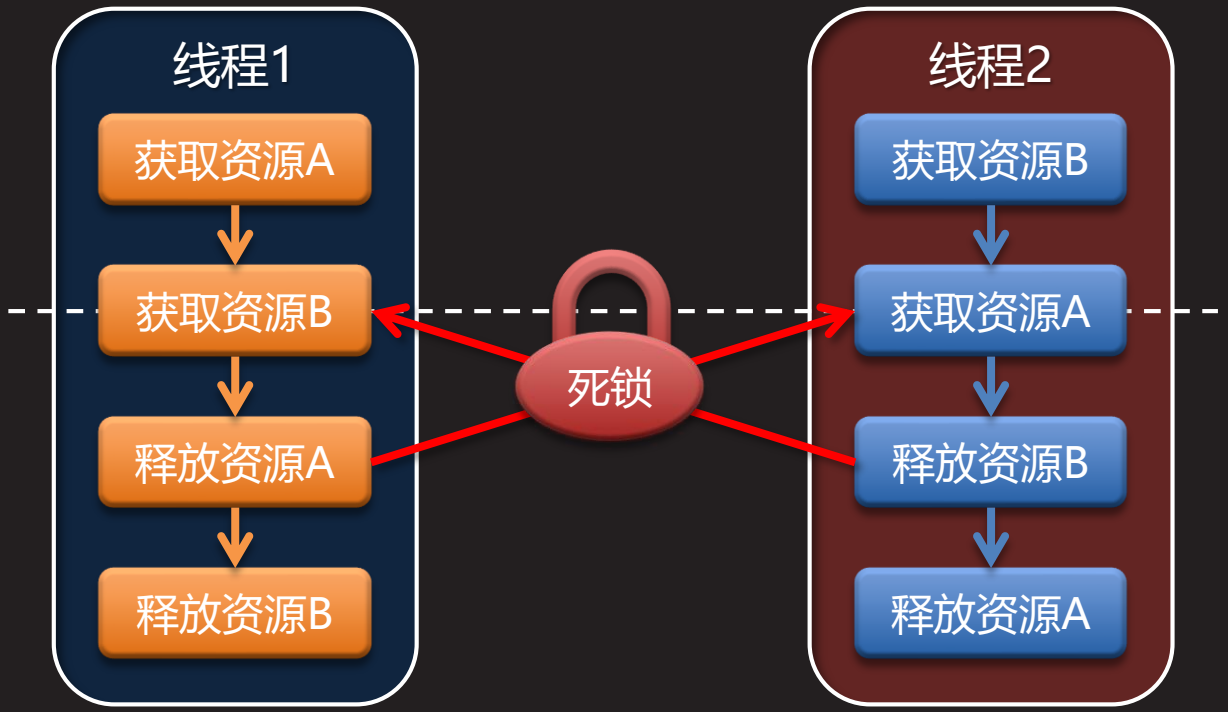
- 基于信号量的线程同步

Technology Tarena 达内科技

死锁问题

死锁问题

- 死锁系两个或两个以上的线程在运行过程中为了争夺资源，而形成的一种互相等待现象。若无外力作用，它们都将无法进行下去。此时称系统处于死锁状态或系统产生了死锁。这些处于互等待状态的线程则称为死锁线程



知识讲解

死锁问题（续1）

- 产生死锁的四个必要条件
  - 独占排它
    - 线程以独占的方式使用其所获得的资源，即在一段时间内不允许其它线程使用该资源。这段时间内，任何试图请求该资源的线程只能在阻塞中等待，直到资源被其拥有者主动释放
  - 请求保持
    - 线程已经拥有了至少一个资源，但又试图获取已被其它线程拥有的资源，因此只能在阻塞中等待，同时对自己已经获得的资源坚守不放
  - 不可剥夺
    - 线程已经获得的资源，在其未被使用完之前，不可被强制剥夺，而只能由其拥有者自己释放
  - 循环等待
    - 线程集合{T0, T1, T2, ..., Tn}中，T0等待T1占有的资源，T1等待T2占有的资源，……，Tn等待T0占有的资源，形成环路

死锁问题（续2）

- 死锁问题的解决方案
  - 事前预防
    - 通过设置某些限制条件，破坏产生死锁的四个必要条件中的一个或几个，以避免死锁的发生。但如果所设置的限制条件过于严苛，则极有可能导致系统资源利用率和吞吐量的下降
  - 事中规避
    - 无需事先通过各种限制措施破坏产生死锁的四个必要条件，而是在资源的动态分配过程中，通过某种方法防止系统进入不安全状态，从而避免死锁的发生
  - 事后补救
    - 允许系统发生死锁，但可以通过预设的检测机制，及时发现死锁的产生，并精确定位与死锁有关的线程和资源。而后取消或挂起一些线程，回收其资源，再将这部分资源分配给那些于阻塞中等待资源的线程，使之进入就绪状态，继续运行

死锁问题

【参见：dead.c】

课堂练习

- 死锁问题

条件变量

Technology Tarena 达内科技

条件变量

条件变量

- 初始化条件变量

```
#include <pthread.h>

int pthread_cond_init (pthread_cond_t* cond,
    const pthread_condattr_t* attr);
```

成功返回0，失败返回错误码

  - ***cond***：条件变量
  - ***attr***：条件变量属性，同步一个进程内的多个线程，取NULL
- 例如
  - pthread_cond_init (&g_cond, NULL);
  - pthread_cond_t g_cond = PTHREAD_COND_INITIALIZER;

条件变量（续1）

- 销毁条件变量

```
#include <pthread.h>

int pthread_cond_destroy (pthread_cond_t* cond);

                                成功返回0，失败返回错误码
```

  - *cond*：条件变量
- 释放和条件变量cond有关的一切内核资源
- 例如
  - pthread_cond_destroy (&g_cond);

知识讲解

条件变量（续2）

- 等待条件变量

```
#include <pthread.h>

int pthread_cond_wait (pthread_cond_t* cond,
    pthread_mutex_t* mutex);
int pthread_cond_timedwait (pthread_cond_t* cond,
    pthread_mutex_t* mutex,
    const struct timespec* abs_timeout);
```

成功返回0，失败返回错误码

- ***cond***：条件变量
- ***mutex***：互斥体
- ***abs_timeout***：等候时限(始自UTC19700101T000000)

条件变量（续3）

- 以上函数会令调用线程进入阻塞状态，直到条件变量***cond***收到信号为止，阻塞期间互斥体***mutex***被解锁
- 条件变量必须与互斥体配合使用，以防止多个线程同时进入条件等待队列时发生竞争
  - 线程在调用pthread_cond_wait函数前必须先通过pthread_mutex_lock函数锁定***mutex***互斥体
  - 在调用线程进入条件等待队列之前，***mutex***互斥体一直处于锁定状态，直到调用线程进入条件等待队列后才被解锁
  - 当调用线程即将从pthread_cond_wait函数返回时，***mutex***互斥体会被重新锁定，回到调用该函数之前的状态

知识讲解

条件变量（续4）

- 和pthread_cond_wait相比pthread_cond_timedwait函数多了一个***abs_timeout***参数，在条件变量***cond***收到信号之前，如果等候时限已到，该函数会提前解除阻塞，并返回ETIMEOUT错误码
- 例如
  - pthread_mutex_lock (&g_mutex);

    ...

    if (条件满足)

        pthread_cond_wait (&g_cond, &g_mutex);

    ...

    pthread_mutex_unlock (&g_mutex);

条件变量（续5）

- 向指定的条件变量发送信号

```
#include <pthread.h>

int pthread_cond_signal (pthread_cond_t* cond);
int pthread_cond_broadcast (pthread_cond_t* cond);
```

成功返回0，失败返回错误码

  - ***cond***：条件变量

- 通过pthread_cond_signal函数向条件变量***cond***发送信号，与该条件变量相对应的条件等待队列中的第一个线程，将离开条件等待队列，并在重新锁定***mutex***互斥体后，从pthread_cond_wait函数中返回

条件变量（续6）

- 通过pthread_cond_broadcast函数向条件变量***cond***发送信号，与该条件变量相对应的条件等待队列中的所有线程，将同时离开条件等待队列，但只有第一个重新锁定***mutex***互斥体的线程，能够从pthread_cond_wait函数中返回，其余线程则继续为等待***mutex***互斥体而阻塞
- 例如
  - pthread_cond_signal (&g_cond);
  - pthread_cond_broadcast (&g_cond);

知识讲解

条件变量（续7）

- 被pthread_cond_broadcast函数唤醒的线程，在从pthread_cond_wait函数返回后，并不能确定自己一定是第一个获得***mutex***互斥体的线程。导致其进入等待状态的条件很可能因先于该线程获得***mutex***互斥体的线程动作而重新得到满足。因此有必要对该条件再做一次判断，以决定是向下执行还是继续等待
  - pthread_mutex_lock (&g_mutex);

```
...
while (条件满足)
    pthread_cond_wait (&g_cond, &g_mutex);
...
pthread_mutex_unlock (&g_mutex);
```

知识讲解

Technology Tarena 达内科技

生产者消费者问题

生产者消费者问题

- 生产者消费者(Producer-Consumer)问题，亦称有界缓冲区(Bounded-Buffer)问题
- 两个线程共享一个公共的固定大小的缓冲区，其中一个线程作为生产者，负责将消息放入缓冲区；而另一个线程则作为消费者，负责从缓冲区中提取消息
- 假设缓冲区已满，若生产者线程还想放入消息，就必须等待消费者线程从缓冲区中提取消息以产生足够的空间
- 假设缓冲区已空，若消费者线程还想提取消息，就必须等待生产者线程向缓冲区中放入消息以产生足够的数据
- 生产者和消费者线程之间必须建立某种形式的同步，以确保为其所共享的缓冲区既不发生上溢，也不发生下溢

Technology Tarena 达内科技

生产者消费者问题

【参见：cond.c、bc.c】

课堂练习

- 生产者消费者问题

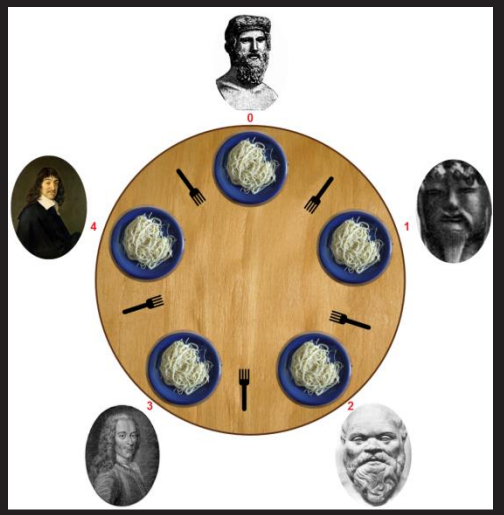
Technology Tarena 达内科技

哲学家就餐问题

哲学家就餐问题

知识讲解

- 1965年，著名计算机科学家艾兹格·迪科斯彻，提出并解决了一个他称之为“哲学家就餐”的同步问题。从那时起，几乎每个发明同步原语的人，都希望通过解决“哲学家就餐”问题来展示其同步原语的精妙之处



- 五个哲学家围坐在一张圆桌周围，每个哲学家面前都有一盘面条。面条很滑，必须用一双，即两根筷子才能夹住。相邻两个盘子之间放有一根筷子。哲学家的一生只做两件事，吃饭和思考，交替进行。当一个哲学家感觉饿了时，他就试图分两次去取其左右两边的筷子，每次拿一根，不分次序。如果成功地得到了两根筷子，就开始吃面条，吃完后放下筷子继续思考

哲学家就餐问题（续1）

- 为每个哲学家编写一段描述其行为的程序，使整个系统既能保持最大限度的并发性，同时又不会发生死锁
- 如果五位哲学家同时拿起各自左边的筷子，那么就没有人能够拿到他们各自右边的筷子，于是发生了死锁
- 如果每位哲学家在拿到左边的筷子后，发现其右边的筷子不可用，就先放下左边的筷子，等待一段时间，再重新尝试，那么就可以保证其它哲学家有同时获得两根筷子的机会。但在某一瞬间，所有的哲学家都同时拿起左筷，看到右筷不可用，又都同时放下左筷，等一会儿，又都同时拿起左筷，如此重复下去。虽然程序在不停运行，但都无法取得进展。这种现象通常被称为活锁

知识讲解

哲学家就餐问题（续2）

- 解决问题的关键在于，必须保证任意一位哲学家只有在其左右两个邻居都没有在进餐时，才允许其进入进餐状态。这样做不仅不会发生死锁，而且对于任意数量的哲学家都能获得最大限度的并行性
- 每个哲学家都持有一个条件变量。当其感觉饥饿时，环顾左右，发现至少有一个邻居正在吃饭，于是睡入条件变量。任一哲学家在其吃饱并开始思考时，向其左右邻居的条件变量发送信号。被唤醒的邻居们继续检查是否满足吃饭的条件，若满足则进入吃饭状态，否则继续睡眠于条件变量

知识讲解

哲学家就餐问题

【参见：dining.c】

课堂练习

- 哲学家就餐问题

局域网聊天室

Technology Tarena 达内科技

需求分析

需求分析

- 局域网聊天室采用客户机/服务器模式，即在局域网内的一台机器上部署聊天室服务器，同时与该局域网中的多个聊天室客户机通信。服务器端采用TCP并发线程模式
- 每个聊天室客户机包括发送机和接收机两部分。发送机负责将用户从控制台输入的文本发送到服务器；而接收机则负责接收服务器广播的任何消息，打印在控制台上

知识讲解

```
系统> 热烈欢迎可爱的小猫咪进入聊天室！
可爱的小猫咪> 大家好！
可爱的小猫咪> 今天学校里有什么好玩的事儿吗？
系统> 热烈欢迎轻风夜语进入聊天室！
轻风夜语> 明天要考试了，大家都复习得怎么样了？
可爱的小猫咪> 还好啦，这是测验哦。
系统> 热烈欢迎班长进入聊天室！
班长> 明天放学去游泳馆吧。
轻风夜语> 好啊！好啊！响应号召！
可爱的小猫咪> 写作业去喽，88~~
系统> 可爱的小猫咪挥一挥衣袖，不带走一片云彩...
班长> 小猫咪这么快撤了？
```

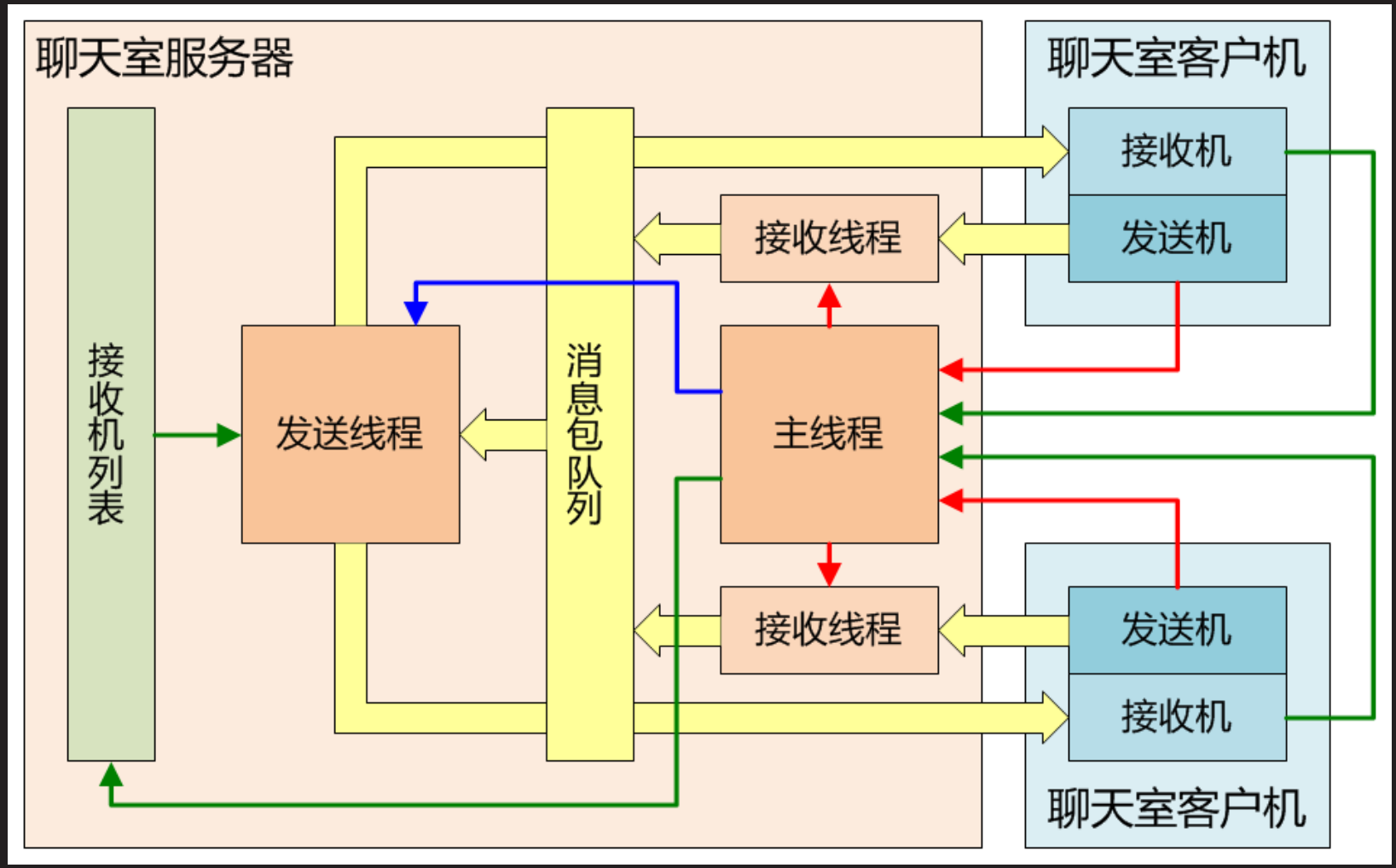
```
可爱的小猫咪> 大家好！
可爱的小猫咪> 今天学校里有什么好玩的事儿吗？
可爱的小猫咪> 还好啦，这是测验哦。
可爱的小猫咪> 写作业去喽，88~~
可爱的小猫咪> ！
```

```
接受来自127.0.0.1:41794接收器的连接请求。
接受来自127.0.0.1:41796发送器的连接请求。
```

Technology Tarena 达内科技

概要设计

概要设计



概要设计（续1）

- 聊天室客户机分为接收机和发送机两个独立进程
  - 接收机和聊天室服务器建立TCP连接后，不断接收服务器下发的各种消息，并将所接收到的消息内容打印在屏幕上
  - 发送机和聊天室服务器建立TCP连接后，阻塞于对标准输入的读取，将用户输入的文本打包发送到聊天室服务器端
- 聊天室服务器以多线程并发模式运行，包括一个主线程、一个发送线程和与在线发送机数量相当的若干接收线程
  - 主线程负责等待并接受来自接收机和发送机的连接请求，对于前者，将其排入接收机列表；对于后者，则创建专门的接收线程，将来自特定发送机的消息包压入消息包队列
  - 发送线程不断从消息包队列中弹出队首消息，并通过遍历接收机列表，将该消息向所有在线接收机广播

知识讲解

Technology Tarena 达内科技

开发计划

开发计划

- 聊天室客户机
  - 接收机：receiver.c
  - 发送机：sender.c
- 聊天室服务器
  - 泛型化的单向线性链表：list.c
  - 服务器应用：chatroom.c
    - 主线程函数： main
    - 发送线程函数： send_proc
    - 接收线程函数： recv_proc
    - 其它功能函数： login、 logout、 wait_client，等等
- 构建脚本：makefile

知识讲解

局域网聊天室

【参见：chatroom/】

课堂练习

- 局域网聊天室

Technology Tarena 达内科技

总结和答疑