Lab 7: Multithreading

1950787 杨鑫

1. 实验目的：

- 熟悉线程的概念，对比进程加深理解
- 实现线程的创建和切换功能
- 体会同步和互斥的必要性，并通过使用锁来解决该类问题

2. 实验步骤：

首先切换分支至 thread branch，以获取本次实验的内容

同时清理文件，以获得纯净的初始文件系统

```
git checkout thread
make clean
```

a. Uthread: switching between threads

实验目的：

在本练习中，您将为用户级线程系统设计上下文切换机制，然后实现它。 为了让你开始，你的 xv6 有两个文件 user/uthread.c 和 user/uthread_switch.S，以及 Makefile 中的一个规则来构建一个 uthread 程序。 uthread.c 包含大部分用户级线程包，以及三个简单测试线程的代码。 threading 包缺少一些用于创建线程和在线程之间切换的代码。

您的工作是制定一个计划来创建线程并保存/恢复寄存器以在线程之间切换，并实施该计划。

实验分析：

本实验要求实现线程的创建和切换机制，创建时要记录函数的 pc 位置以确保切换后能找到起始位置并执行，并且要修改栈指针位于栈顶处；切换时要保存旧线程的上下文，同时要恢复新线程的上下文。

实验核心代码：

uthread.c

```
struct thread {
  char       stack[STACK_SIZE]; /* the thread's stack */
  int        state;             /* FREE, RUNNING, RUNNABLE */
```

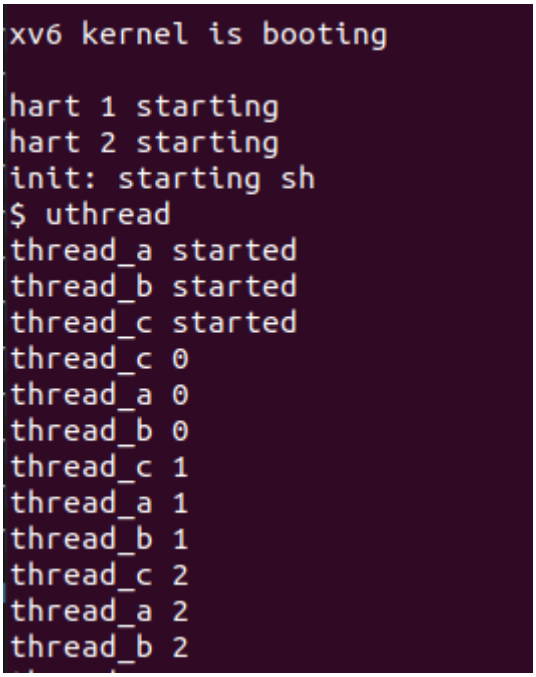
```
  struct context thread_context;/* the context for the thread */
};


void
thread_schedule(void)
{
  struct thread *t, *next_thread;

  /* Find another runnable thread. */
  next_thread = 0;
  t = current_thread + 1;
  for(int i = 0; i < MAX_THREAD; i++){
    if(t >= all_thread + MAX_THREAD)
      t = all_thread;
    if(t->state == RUNNABLE) {
      next_thread = t;
      break;
    }
    t = t + 1;
  }

  if (next_thread == 0) {
    printf("thread_schedule: no runnable threads\n");
    exit(-1);
  }

  if (current_thread != next_thread) {         /* switch threads?  */
    next_thread->state = RUNNING;
    t = current_thread;
    current_thread = next_thread;
    /* YOUR CODE HERE
     * Invoke thread_switch to switch from t to next_thread:
     * thread_switch(??, ??);
     */
    thread_switch(&t->thread_context, &current_thread->thread_context);
  } else
    next_thread = 0;
}


void
thread_create(void (*func)())
{
  struct thread *t;

  for (t = all_thread; t < all_thread + MAX_THREAD; t++) {
    if (t->state == FREE) break;
  }
  t->state = RUNNABLE;
  // YOUR CODE HERE
  t->thread_context.ra = (uint64)func;
  t->thread_context.sp = (uint64)(t->stack) + STACK_SIZE;
}
```

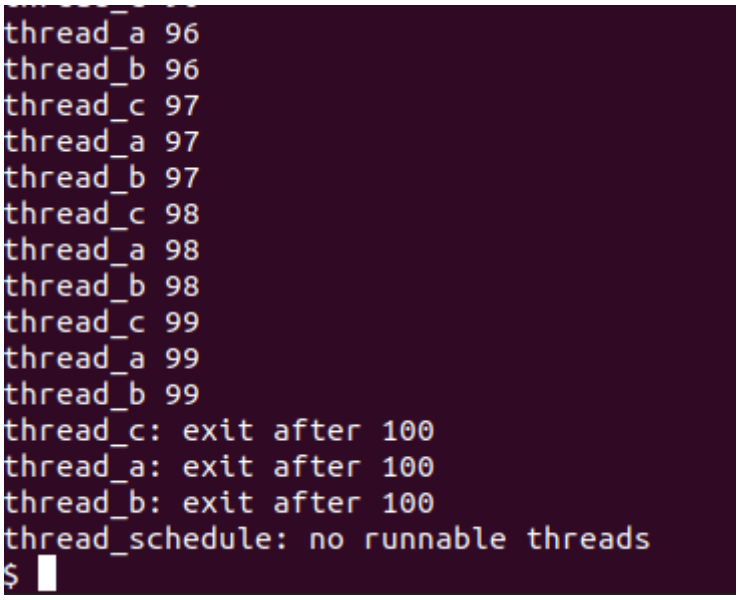
uthread_switch.S

```
```

```
    .text

    /*
         * save the old thread's registers,
         * restore the new thread's registers.
         */

    .globl thread_switch
thread_switch:
    /* YOUR CODE HERE */
    sd ra, 0(a0)
    sd sp, 8(a0)
    sd s0, 16(a0)
    sd s1, 24(a0)
    sd s2, 32(a0)
    sd s3, 40(a0)
    sd s4, 48(a0)
    sd s5, 56(a0)
    sd s6, 64(a0)
    sd s7, 72(a0)
    sd s8, 80(a0)
    sd s9, 88(a0)
    sd s10, 96(a0)
    sd s11, 104(a0)

    ld ra, 0(a1)
    ld sp, 8(a1)
    ld s0, 16(a1)
    ld s1, 24(a1)
    ld s2, 32(a1)
    ld s3, 40(a1)
    ld s4, 48(a1)
    ld s5, 56(a1)
    ld s6, 64(a1)
    ld s7, 72(a1)
    ld s8, 80(a1)
    ld s9, 88(a1)
    ld s10, 96(a1)
    ld s11, 104(a1)
    ret    /* return to ra */
```

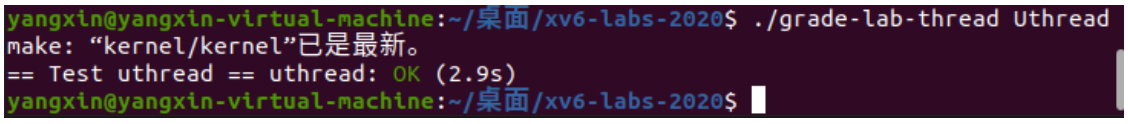
测试：





可以准确的执行 uthread 测试

评分：



可以通过所有测试

b. Using threads

实验目的：

在本作业中，您将使用哈希表探索线程和锁的并行编程。 您应该在具有多个内核的真实 Linux 或 MacOS 计算机（不是 xv6，不是 qemu）上执行此任务。 大多数最新的笔记本电脑都有多核处理器。

这里提供了一个测试程序，使用哈希表来添加元素并取出。要在这个程序上实现多线程以提高运行速度。但是在刚开始时执行这个测试程序时，若选择两个线程会导致大量的 key missing，这是因为在多线程并发处理时没有处理好同步互斥关系，所以需要加上互斥锁来确保程序能够正确的执行而不会出现 key missing 的情况。

但是如果全部加锁的话，会导致执行速度变慢，而达不到多线程加速的效果，所以还需要进一步分析什么时候需要加锁而什么时候不必。

实验分析：

当两个线程向哈希表的同一个bucket分别插入不同的元素的时候，如果当他们都找到了插入位置（即该bucket）的最后面，但是两者都还没插入，此时无论哪个先插入都会被后插入的"替换"掉。

这样会导致 key missing，所以要通过锁建立一个合适的同步互斥机制来避免这种情况的发生。我们先可以考虑在每次添加键的时候都设置一个互斥信号量，必须等待前一个线程的添加完成后，下一个才能继续添加。这样可以解决上述的冲突，可以保证添加键后不会出现键的缺失情况；然后考虑一下：这样做在每次添加键都要开关锁，会造成比较大的开销。实际上，当不同线程添加的键的哈希值不同时，他们是无关的，是可以完全并行的，只有当两个键的哈希值相同才可能出现错误。所以我们可以修改互斥信号，为每个 bucket 添加一个互斥信号，每次向某个 bucket 插入键时只锁住该 bucket 的互斥信号即可，只样不仅可以解决冲突，还可以大大提高并行度，从而提高执行速度。

解决 ph_safe：

实验核心代码：

ph.c

```
#include <stdlib.h>
#include <unistd.h>
#include <stdio.h>
#include <assert.h>
#include <pthread.h>
#include <sys/time.h>

#define NBUCKET 5
#define NKEYS 100000

struct entry {
  int key;
  int value;
  struct entry *next;
};
struct entry *table[NBUCKET];
int keys[NKEYS];
int nthread = 1;
pthread_mutex_t lock;

double
now()
{
 struct timeval tv;
 gettimeofday(&tv, 0);
 return tv.tv_sec + tv.tv_usec / 1000000.0;
}
```

```
static void
insert(int key, int value, struct entry **p, struct entry *n)
{
  struct entry *e = malloc(sizeof(struct entry));
  e->key = key;
  e->value = value;
  e->next = n;
  *p = e;
}

static
void put(int key, int value)
{
  int i = key % NBUCKET;

  // is the key already present?
  struct entry *e = 0;
  for (e = table[i]; e != 0; e = e->next) {
    if (e->key == key)
      break;
  }
  if(e){
    // update the existing key.
    e->value = value;
  } else {
    // the new is new.
    insert(key, value, &table[i], table[i]);
  }
}

static struct entry*
get(int key)
{
  int i = key % NBUCKET;


  struct entry *e = 0;
  for (e = table[i]; e != 0; e = e->next) {
    if (e->key == key) break;
  }

  return e;
}

static void *
put_thread(void *xa)
{
  int n = (int) (long) xa; // thread number
  int b = NKEYS/nthread;

  for (int i = 0; i < b; i++) {
    pthread_mutex_lock(&lock);
    put(keys[b*n + i], n);
    pthread_mutex_unlock(&lock);
  }

  return NULL;
```

```
}

static void *
get_thread(void *xa)
{
  int n = (int) (long) xa; // thread number
  int missing = 0;

  for (int i = 0; i < NKEYS; i++) {
    struct entry *e = get(keys[i]);
    if (e == 0) missing++;
  }
  printf("%d: %d keys missing\n", n, missing);
  return NULL;
}

int
main(int argc, char *argv[])
{
  pthread_t *tha;
  void *value;
  double t1, t0;

  if (argc < 2) {
    fprintf(stderr, "Usage: %s nthreads\n", argv[0]);
    exit(-1);
  }
  nthread = atoi(argv[1]);
  tha = malloc(sizeof(pthread_t) * nthread);
  srandom(0);
  assert(NKEYS % nthread == 0);
  for (int i = 0; i < NKEYS; i++) {
    keys[i] = random();
  }

  //
  // first the puts
  //
  pthread_mutex_init(&lock, NULL);
  t0 = now();
  for(int i = 0; i < nthread; i++) {
    assert(pthread_create(&tha[i], NULL, put_thread, (void *) (long) i) ==
0);
  }
  for(int i = 0; i < nthread; i++) {
    assert(pthread_join(tha[i], &value) == 0);
  }
  t1 = now();

  printf("%d puts, %.3f seconds, %.0f puts/second\n",
         NKEYS, t1 - t0, NKEYS / (t1 - t0));

  //
  // now the gets
  //
  t0 = now();
  for(int i = 0; i < nthread; i++) {
```

```
    assert(pthread_create(&tha[i], NULL, get_thread, (void *) (long) i) ==
0);
  }
  for(int i = 0; i < nthread; i++) {
    assert(pthread_join(tha[i], &value) == 0);
  }
  t1 = now();

  printf("%d gets, %.3f seconds, %.0f gets/second\n",
         NKEYS*nthread, t1 - t0, (NKEYS*nthread) / (t1 - t0));
}
```

测试：

```
yangxin@yangxin-virtual-machine:~/桌面/xv6-labs-2020$ ./ph 2
100000 puts, 9.066 seconds, 11030 puts/second
1: 0 keys missing
0: 0 keys missing
200000 gets, 6.896 seconds, 29001 gets/second
```

可以看到，所有的 key missing 已经被消除，但是执行速度比较慢

评分：

```
== Test ph_safe == make[1]: 进入目录“/home/yangxin/桌面/xv6-labs-2020”
make[1]: “ph”已是最新。
make[1]: 离开目录“/home/yangxin/桌面/xv6-labs-2020”
ph_safe: OK (14.7s)
```

可以通过所有测试

解决 ph_fast：

实验核心代码：

ph.c

```
#include <stdlib.h>
#include <unistd.h>
#include <stdio.h>
#include <assert.h>
#include <pthread.h>
#include <sys/time.h>

#define NBUCKET 5
#define NKEYS 100000

struct entry {
  int key;
  int value;
  struct entry *next;
};
struct entry *table[NBUCKET];
int keys[NKEYS];
```

```
int nthread = 1;
pthread_mutex_t lock[NBUCKET];

double
now()
{
 struct timeval tv;
 gettimeofday(&tv, 0);
 return tv.tv_sec + tv.tv_usec / 1000000.0;
}

static void
insert(int key, int value, struct entry **p, struct entry *n)
{
  struct entry *e = malloc(sizeof(struct entry));
  e->key = key;
  e->value = value;
  e->next = n;
  *p = e;
}

static
void put(int key, int value)
{
  int i = key % NBUCKET;
  pthread_mutex_lock(&lock[i]);

  // is the key already present?
  struct entry *e = 0;
  for (e = table[i]; e != 0; e = e->next) {
    if (e->key == key)
      break;
  }
  if(e){
    // update the existing key.
    e->value = value;
  } else {
    // the new is new.
    insert(key, value, &table[i], table[i]);
  }
  pthread_mutex_unlock(&lock[i]);
}

static struct entry*
get(int key)
{
  int i = key % NBUCKET;


  struct entry *e = 0;
  for (e = table[i]; e != 0; e = e->next) {
    if (e->key == key) break;
  }

  return e;
}

static void *
```

```
put_thread(void *xa)
{
  int n = (int) (long) xa; // thread number
  int b = NKEYS/nthread;

  for (int i = 0; i < b; i++) {
    put(keys[b*n + i], n);
  }

  return NULL;
}

static void *
get_thread(void *xa)
{
  int n = (int) (long) xa; // thread number
  int missing = 0;

  for (int i = 0; i < NKEYS; i++) {
    struct entry *e = get(keys[i]);
    if (e == 0) missing++;
  }
  printf("%d: %d keys missing\n", n, missing);
  return NULL;
}

int
main(int argc, char *argv[])
{
  pthread_t *tha;
  void *value;
  double t1, t0;

  if (argc < 2) {
    fprintf(stderr, "Usage: %s nthreads\n", argv[0]);
    exit(-1);
  }
  nthread = atoi(argv[1]);
  tha = malloc(sizeof(pthread_t) * nthread);
  srandom(0);
  assert(NKEYS % nthread == 0);
  for (int i = 0; i < NKEYS; i++) {
    keys[i] = random();
  }

  //
  // first the puts
  //
  for (int i = 0; i < NBUCKET; i++)
    pthread_mutex_init(&lock[i], NULL);
  t0 = now();
  for(int i = 0; i < nthread; i++) {
    assert(pthread_create(&tha[i], NULL, put_thread, (void *) (long) i) ==
0);
  }
  for(int i = 0; i < nthread; i++) {
    assert(pthread_join(tha[i], &value) == 0);
  }
```

```
  t1 = now();

  printf("%d puts, %.3f seconds, %.0f puts/second\n",
         NKEYS, t1 - t0, NKEYS / (t1 - t0));

  //
  // now the gets
  //
  t0 = now();
  for(int i = 0; i < nthread; i++) {
    assert(pthread_create(&tha[i], NULL, get_thread, (void *) (long) i) ==
0);
  }
  for(int i = 0; i < nthread; i++) {
    assert(pthread_join(tha[i], &value) == 0);
  }
  t1 = now();

  printf("%d gets, %.3f seconds, %.0f gets/second\n",
         NKEYS*nthread, t1 - t0, (NKEYS*nthread) / (t1 - t0));
}
```

测试：

```
yangxin@yangxin-virtual-machine:~/桌面/xv6-labs-2020$ ./ph 2
100000 puts, 4.911 seconds, 20361 puts/second
1: 0 keys missing
0: 0 keys missing
200000 gets, 7.262 seconds, 27540 gets/second
```

可以看到，在没有 key missing 的情况下，速度也提高了很多

评分：

```
== Test ph_fast == make[1]: 进入目录“/home/yangxin/桌面/xv6-labs-2020”
make[1]: “ph”已是最新。
make[1]: 离开目录“/home/yangxin/桌面/xv6-labs-2020”
ph_fast: OK (26.1s)
```

可以通过所有测试

c. Barrier

实验目的：

在这个任务中，您将实现一个屏障：应用程序中的一个点，所有参与的线程都必须等待，直到所有其他参与的线程也到达该点。 您将使用 pthread 条件变量，这是一种类似于 xv6 的睡眠和唤醒的序列协调技术。

n 指定在屏障上同步的线程数（barrier.c 中的 nthread）。 每个线程执行一个循环。 在每次循环迭代中，一个线程调用 barrier()，然后休眠随机数微秒。 断言触发，因为一个线程在另一个线程到达屏障之前离开了屏障。 期望的行为是每个线程都阻塞在屏障（）中，直到它们的所有 nthread 都调用了屏障（）。

您的目标是实现所需的屏障行为。

实验分析：

本次实验实际上是另一种同步互斥机制的实现。在程序中让多个线程反复执行一个 barrier() 函数，但是要求必须等待所有线程执行完一次 barrier() 后，他们才能继续执行后面的代码。也就是说，所有线程必须阻塞在 barrier() 中，除非所有的线程都已经到达该处。

我们只需要在 barrier() 中每次执行时增加一次 nthread，如果 nthread 还没到达线程总数，则让其加入等待队列并阻塞；若达到线程总数，则释放所有等待队列中的线程并重新计数。

实验核心代码：

barrier.c

```
static void
barrier()
{
  pthread_mutex_lock(&bstate.barrier_mutex);
  bstate.nthread++;
  if (bstate.nthread == nthread) {
    bstate.nthread = 0;
    bstate.round++;
    pthread_cond_broadcast(&bstate.barrier_cond);
  } else {
    pthread_cond_wait(&bstate.barrier_cond, &bstate.barrier_mutex);
  }
  pthread_mutex_unlock(&bstate.barrier_mutex);
}
```

测试：

```
yangxin@yangxin-virtual-machine:~/桌面/xv6-labs-2020$ make barrier
gcc -o barrier -g -O2 notxv6/barrier.c -pthread
yangxin@yangxin-virtual-machine:~/桌面/xv6-labs-2020$ ./barrier 2
OK; passed
yangxin@yangxin-virtual-machine:~/桌面/xv6-labs-2020$ ./barrier 3
OK; passed
yangxin@yangxin-virtual-machine:~/桌面/xv6-labs-2020$
```

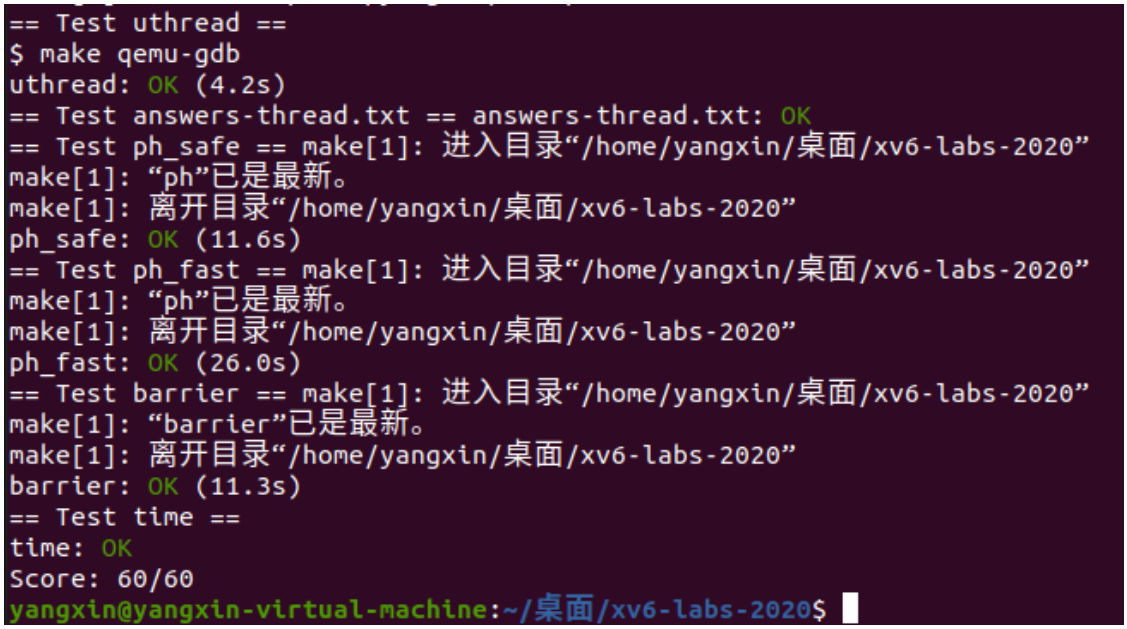
评分：

```
yangxin@yangxin-virtual-machine:~/桌面/xv6-labs-2020$ ./grade-lab-thread barrier
make: “kernel/kernel”已是最新。
== Test barrier == make: “barrier”已是最新。
barrier: OK (11.8s)
yangxin@yangxin-virtual-machine:~/桌面/xv6-labs-2020$
```

可以通过所有测试

3. 实验评分：

按照实验要求对本次实验的所有小实验进行评分，结果如图：



通过了所有测试

4. 问题以及解决办法：

a.多线程为何会造成初始的哈希表键缺失

原始的插入键代码如下：

```
static
void put(int key, int value)
{
  int i = key % NBUCKET;

  // is the key already present?
  struct entry *e = 0;
  for (e = table[i]; e != 0; e = e->next) {
    if (e->key == key)
      break;
  }
  if(e){
    // update the existing key.
    e->value = value;
  } else {
    // the new is new.
    insert(key, value, &table[i], table[i]);
  }
}
```

可以看到，首先计算出插入的 bucket 的序号 i 以后，就要寻找该 bucket 的插入位置（一般是在最后）。如果两个线程一前一后执行，先插入一个键，然后插入另一个键，则不会发生任何错误；但是如果两个线程同时完成了找到插入位置这一过程，并且都还没插入时，此时二者的插入位置是同一个（即当前桶中最后一个元素的后面），然后无论以何种顺序完成插入后，最先插入的那个键一定会被最后插入的键替代掉，这样就会导致键的缺失。这就是为什么需要在插入键时加入互斥锁以防止错误产生的原因。

5. 实验心得：

1. 本次实验体会到了线程的概念，熟悉了线程的创建，切换等操作，对于上下文的回复也有了一定的体会
2. 本次实验还发现并尝试解决了多线程中的同步互斥问题：由于多线程的出现，一些必须保证一定先后执行次序的地方不能得到保证，从而会导致出现一系列错误，为了避免这种错误的产生，可以通过使用锁来保证一定的同步和互斥关系
3. 在使用锁时，要注意尽量在最小的地方使用互斥锁，即某些不需要维持同步互斥的地方尽量让他们不受锁的影响，否则会导致多线程加速程序执行效率的优势得不到体现
4. 了解了一些常见的原子操作和锁