Lab5: locks

PB20050987 梁兆懿

本实验需要更改xv6 内存分配器和块缓存的数据结构和锁定策略，以减少争用，提高多核计算机并行性。首先我们需要切换内存分支到lock：

```
  $ git fetch
  $ git checkout lock
  $ make clean
```

Memory allocator

该实验需要对XV6内核的内存页面分配器进行改进，实现增加各个CPU分配物理内存的效率。要消除xv6系统的锁争用，需要重新设计内存分配器以避免单个锁和列表。基本思想是为每个 CPU 维护一个空闲列表，每个列表都有自己的锁。不同 CPU 上的分配和释放可以并行运行，因为每个 CPU 将在不同的列表上运行。

实验代码

根据提示，我们定义NCPU个kmem结构体的数组代替原有的kmem结构体，在kalloc.c文件中：

```
//struct {
//  struct spinlock lock;
//  struct run *freelist;
//} kmem;

  struct {
    struct spinlock lock;
    struct run *freelist;
    char lock_name[7];
  } kmem[NCPU];
```

在kinit函数中，我们对每个锁都进行初始化：

```
void
kinit()
{
  for (int i = 0; i < NCPU; i++) {
    snprintf(kmem[i].lock_name, sizeof(kmem[i].lock_name), "kmem_%d", i);
    initlock(&kmem[i].lock, kmem[i].lock_name);
  }
  freerange(end, (void*)PHYSTOP);
}
```

我们为每个CPU核心分配一个空闲链表，`kalloc`和`kfree`都在本核心的链表上进行，只有在当前核心的链表为空时才去访问其他核心的链表。对于`kfree`函数，需要将释放的页面插入到当前核心对应链表上，借助提示，我们用 push_off（） 和 pop_off（） 来关闭和打开中断，在中断时使用函数cupid获取当前内核编号：

```
void
```

```
kfree(void *pa)
{

  ...

  r = (struct run*)pa;
  push_off();
  int id = cpuid();
  acquire(&kmem[id].lock);
  r->next = kmem[id].freelist;
  kmem[id].freelist = r;
  release(&kmem[id].lock);
  pop_off();
}
```

而对于`kalloc`函数，我们首先在当前核心是申请页面；前若申请失败时，就尝试从其他核心上获取页面。

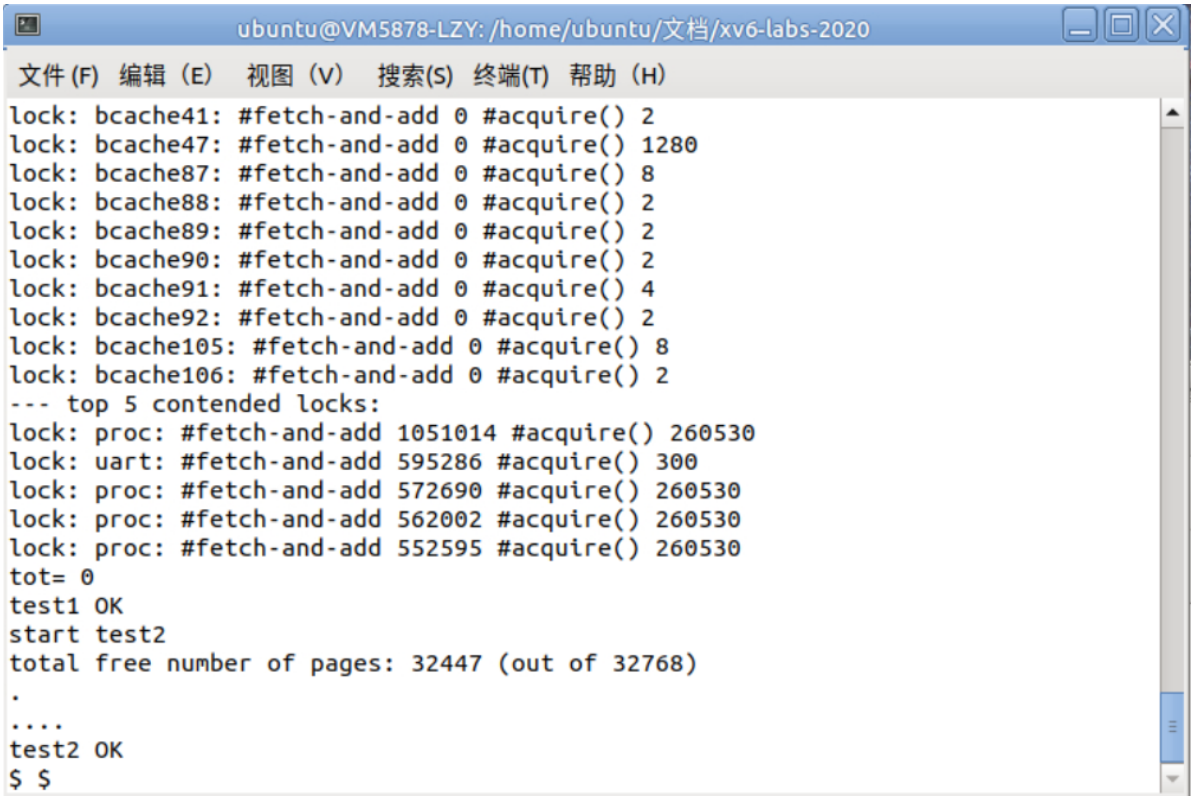
```
void *
kalloc(void)
{
  struct run *r;

  push_off();
  int id = cpuid();
  acquire(&kmem[id].lock);
  r = kmem[id].freelist;
  if(r)kmem[id].freelist = r->next;
  else {
    int temp = 0, i = 0;
    for(i = 0; i < NCPU; i++) {
      if (i == id) continue;
      acquire(&kmem[i].lock);
      struct run *p = kmem[i].freelist;
      if(p) {
        struct run *fp = p;
        struct run *pre = p;
        while (fp && fp->next) {
          fp = fp->next->next;
          pre = p;
          p = p->next;
        }
        kmem[id].freelist = kmem[i].freelist;
        if (p == kmem[i].freelist) {
          kmem[i].freelist = 0;
        }
        else {
          kmem[i].freelist = p;
          pre->next = 0;
        }
        temp = 1;
      }
      release(&kmem[i].lock);
      if (temp) {
        r = kmem[id].freelist;
        kmem[id].freelist = r->next;
        break;
```

```
      }
    }
  }
  release(&kmem[id].lock);
  pop_off();

  if(r)memset((char*)r, 5, PGSIZE);
  return (void*)r;
}
```

实验结果



Buffer cache

该实验需要对XV6的磁盘缓冲区进行优化，以便使得缓冲区中所有锁的获取循环迭代次数接近于零。在初始的XV6磁盘缓冲区中是使用一个LRU链表来维护的，而这就导致了每次获取、释放缓冲区时就要对整个链表加锁。

实验代码

根据提示，我们使用哈希表来代替链表，提高并行性能。使用固定数量的桶，每个哈希桶在具有锁的哈希表在缓存中查找块号。在文件 kalloc.c 中：

```
struct {
  struct spinlock lock;
  char name[10];
  struct buf buf[NSIZE];
} bcache[BUCKETNUM];

int hash(uint dev, uint blockno) {
  return blockno % BUCKETNUM;
}
```

与此同时，我们在文件`param.h`，增加桶长度和链表长度的宏定义：

```
#define BUCKETNUM    108
#define NSIZE   2
```

在文件buf.h中，对结构体增加时间标识timestamp，从而可以标识最近最少使用，并且删去`prev`域：

```
struct buf {
  int valid;
  int disk;
  uint dev;
  uint blockno;
  struct sleeplock lock;
  uint refcnt;
  // struct buf *prev;
  struct buf *next;
  uchar data[BSIZE];
  uint timestamp;
};
```

在`binit`函数中，我们对哈希表进行初始化：

```
void
binit(void)
{
  struct buf *b;

  for (int i = 0; i < BUCKETNUM; i++) {
    // 为每个桶设置锁并初始化
    snprintf(bcache[i].name, 10, "bcache%d", i);
    initlock(&bcache[i].lock, bcache[i].name);
    for (int j = 0; j < NSIZE; j++) {
      b = &bcache[i].buf[j];
      b->refcnt = 0;
      initsleeplock(&b->lock, "buffer");
      b->timestamp = ticks;
    }
  }
}
```

在`brelse`函数中对`timestamp`标识进行更新，并且需要将链表的锁替换掉：

```
void
brelse(struct buf *b)
{
  if(!holdingsleep(&b->lock))
    panic("brelse");

  releasesleep(&b->lock);

  int id = hash(b->dev, b->blockno);
  acquire(&bcache[id].lock);
  b->refcnt--;
  if (b->refcnt == 0) {
    // no one is waiting for it.
```

```
    b->timestamp = ticks;
  }

  release(&bcache[id].lock);
}
```

而后我们需要修改bget函数，对应的桶当中查找当前块是否被缓存，若当前块被缓存就直接返回；否则需要查找一个块并将其替换。我们在全局数组中查找时，要先加上锁，在找到对应的块后，就可以根据块的信息查找到对应的桶并且对该桶加锁，将块从桶的链表中删去，然后释放锁，最后再加到当前桶的链表上去。

```
static struct buf*
bget(uint dev, uint blockno)
{
  struct buf *b;

  int id = hash(dev, blockno);
  acquire(&bcache[id].lock);

  for(int i = 0; i < BUCKETSIZE; i++){
  b = &bcache[id].buf[i];
    if(b->dev == dev && b->blockno == blockno){
      b->refcnt++;
      release(&bcache[id].lock);
      acquiresleep(&b->lock);
      return b;
    }
  }
  uint min = -1;
  struct buf* tmp = 0;
  for (int i = 0; i < BUCKETSIZE; i++) {
    b = &bcache[id].buf[i];
    if (b->refcnt == 0 && b->timestamp < min) {
      min = b->timestamp;
      tmp = b;
    }
  }
   if (min != -1) {
    tmp->dev = dev;
    tmp->blockno = blockno;
    tmp->valid = 0;
    tmp->refcnt = 1;
    release(&bcache[id].lock);
    acquiresleep(&tmp->lock);
    return tmp;
  }

  panic("bget: no buffers");
}
```

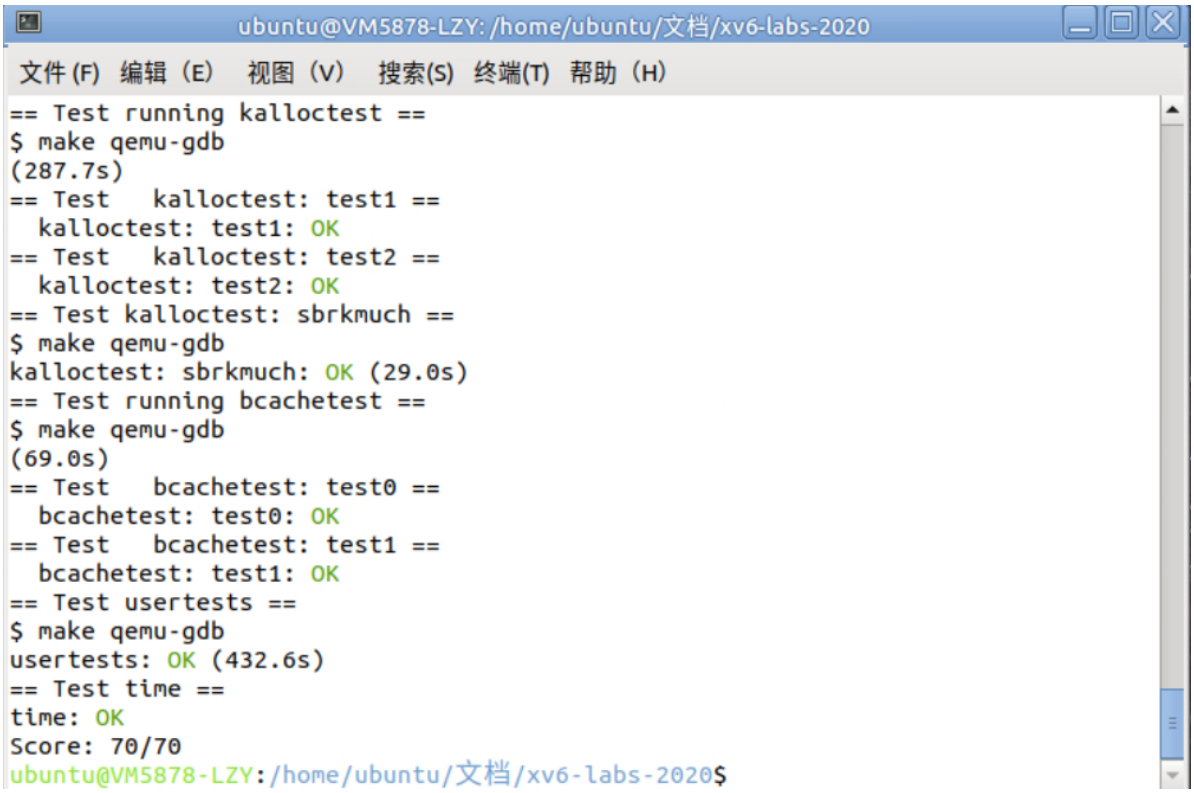
最后，我们还需要将bpin和bunpin函数的单个锁替换为桶数组的锁：

```
void
bpin(struct buf *b) {
  int id = hash(b->dev, b->blockno);
```

```
  acquire(&bcache[id].lock);
  b->refcnt++;
  release(&bcache[id].lock);
}

void
bunpin(struct buf *b) {
  int id = hash(b->dev, b->blockno);
  acquire(&bcache[id].lock);
  b->refcnt--;
  release(&bcache[id].lock);
}
```

实验结果



实验感受与收获

这次实验虽然难度更上一层楼，但是相较于上次实验顺利得多，可能由于课本的相关知识掌握的比较好，以及提示比较清晰的缘故。和上一个实验相比，这次实验更考验并行思维，主要体现在锁的应用。如果没有提示使用哈希表来提高并行性能...那我大抵是写一个星期也不能pass的。桶级锁在提高并行性的几个实验都能用到，效果显著。在使用双向链表需要格外小心，否则很容易报错。最后在测试实验时，可能由于电脑性能原因，实验时间较长，因此增加了测试时间避免报错。