1. 프로젝트 개요:

이번 과제에서는 Pintos의 timer_sleep 기능을 개선하여 효율성을 높였습니다. **기존 Pintos에서 설정되어있는 timer_sleep() 함수는 'busy waiting' 방식을 사용**하는데, 이는 C**PU를 계속 점유하면서 특정 조건이 충족되기 전에는 무한루프를 도는 비효율적인 방식**이었습니다. 이러한 방식은 CPU 자원을 비효율적으로 사용하며, 멀티 프로세싱 환경에서는 CPU 사용 시간을 적절히 분배할 수 없다는 단점을 가집니다. **따라서 이를 Blocking방식으로 변경하여 효율성을 높이고자 합니다.**

2. 프로젝트 세부 사항 - 알람 클럭 개선:

이러한 문제를 해결하기 위해, timer_sleep() 함수의 구현 방식을 바꾸는 것을 목표로 설정하였습니다. busy waiting 방식 대신, thread가 blocking되어 CPU를 점유하지 않는 'Blocking' 방식을 구현하였습니다. 이를 위해 **thread.h의 구조체를 수정**하였고, **thread.c 및 timer.c에서 관련 기능을 개선**하였습니다.

3. 수정된 데이터 구조:

thread.h에서 스레드 구조체에 **wakeup_time 변수**를 추가하여 스레드가 깨어날 시간을 저장하도록 했습니다. 이 변수는 timer_sleep() 함수에서 설정되며, timer_interrupt() 함수에서 확인할 수 있습니다.

4. 수정된 코드 설명

4-1) **새로운 변수를 thread.h에 선언**하였습니다.

```
struct thread
  {
    /* Owned by thread.c. */
    tid_t tid;                          /* Thread identifier. */
    enum thread_status status;          /* Thread state. */
    char name[16];                      /* Name (for debugging purposes). */
    uint8_t *stack;                     /* Saved stack pointer. */
    int priority;                       /* Priority. */
    struct list_elem allelem;           /* List element for all threads list. */

    /* Shared between thread.c and synch.c. */
    struct list_elem elem;              /* List element. */

    /* code change part */
    int64_t wakeup_time;
```

4-2) **'timer.c'에 있는 timer_sleep 함수를 수정**하였습니다. 스레드를 블록하고 지정된 시간이 지난 후 thread가 깨어나도록 시간을 설정해 주었습니다.

```
void
timer_sleep (int64_t ticks)
{
  int64_t start = timer_ticks ();
  struct thread *cur = thread_current();//sj

  enum intr_level old_level;
  old_level = intr_disable();

  cur -> wakeup_time = start + ticks;
  list_insert_ordered(&timer_wait_list, &cur -> elem, less_wakeup_time, NULL);
  thread_block();

  intr_set_level(old_level);
}
```

설명:

위 코드에서는 두 가지 주요 변경 사항이 있습니다.

4-2-1) **wakeup_times**변수를 사용하여 스레드가 깨어날 시간을 카운트합니다.(이 변수는 스레드 구조체에 추가되어 있음)

4-2-2) **thread_block()**함수를 호출하여 현재 스레드를 block합니다. CPU를 불필요하게 소비하는 busy-waiting방식을 개선하여 다른 스레드를 실행하게 합니다.

4-3) **'timer.c'에 있는 timer_interrupt 함수를 수정**하였습니다. 각인터럽트 때마다 timer_wait_list에 있는 스레드들의 wakeup_time을 확인하고, 깨어날 시간이되면 해당 thread를 깨우는, unblock하는 코드입니다.

```
/* Timer interrupt handler. */
static void
timer_interrupt (struct intr_frame *args UNUSED)
{
  ticks++;
  thread_tick ();

  enum intr_level old_level;
  old_level = intr_disable();

  while(!list_empty (&timer_wait_list)) {
        struct list_elem *e = list_front(&timer_wait_list);//sj
        struct thread *t = list_entry(e, struct thread, elem);

        if(t -> wakeup_time > ticks)
          break

        list_remove(e);//sj
        thread_unblock(t);//sj
        }

        intr_set_level(old_level);
 }
```

설명: 차단된 스레드 목록(blocked_list)을 반복하면서 각 스레드가 깨어나야하는 시간(wakeup_ticks)이 현재 시간(ticks)과 동일하거나 그 이상인 경우, 해당 스레드를 차단 해제하고 목록에서 제거합니다.

매 타이머 인터럽트마다 ticks 값을 증가시키고, 각 쓰레드가 sleep 중이면서 wakeup_ticks 값을 초과하거나 동일한 경우에 대해 차단 해제하고 차단 목록에서 제거합니다.

4-4) **'timer.c'에 static bool less_wakeup_time함수를 추가했습니다.(**스레드의 깨어나야 할 시간(wakeup_time)이 a 스레드보다 b 스레드가 더 작은지 확인하는 함수) 만약 a 스레드의 깨어나야 할 시간이 b 스레드보다 작다면 true를 반환하고, 그렇지 않다면 false를 반환합니다.

```
static bool
less_wakeup_time(const struct list_elem *a_, const struct list_elem *b_, void *aux UNUSED)
{
  const struct thread *a = list_entry(a_, struct thread, elem);
  const struct thread *b = list_entry(b_, struct thread, elem);

  return a->wakeup_time < b->wakeup_time;
}//sj
```

설명: wakeup_time이 더 적은 스레드를 찾는데 사용. a스레드와 b스레드의 wakeup_time 을 비교하여 a스레드의 wakeup_time 이 더 적다면 true 를 반환하고, 그렇지 않으면 false 를 반환합니다. 스레드 목록을 wakeup_time기준으로 정렬할 때 필요한 함수입니다.

위와 같은 수정을 통해 CPU 점유를 최소화하면서 대기시간을 줄여 최적화하였습니다.

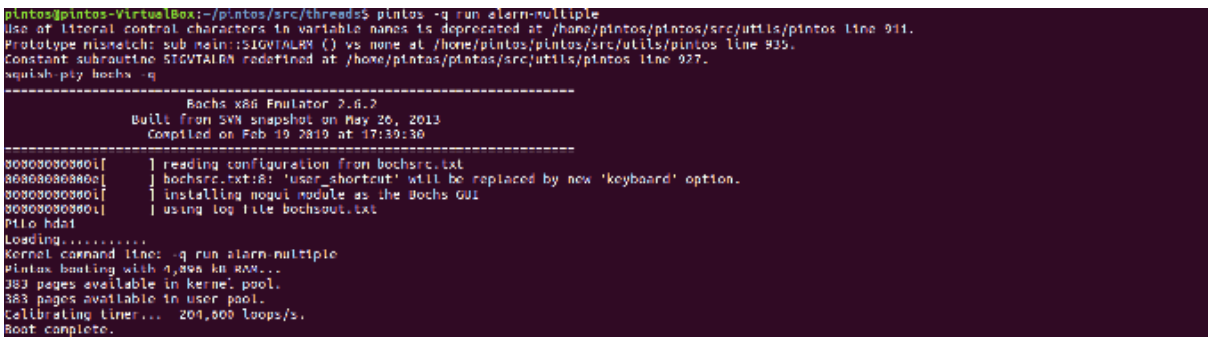
5. 결과

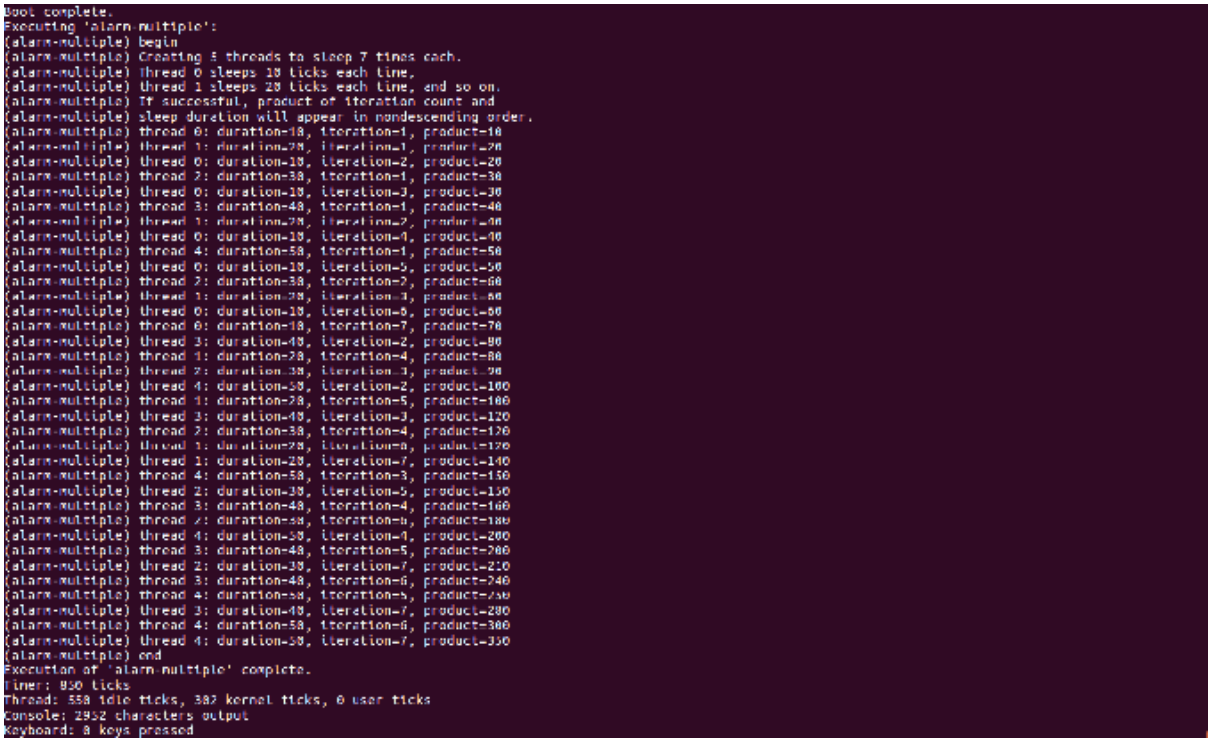
5-1) make check을 활용한 모든 test실행.

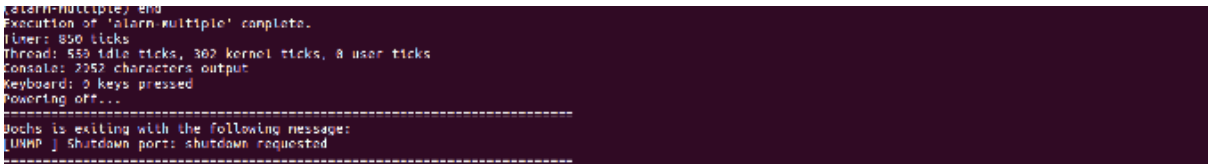
```
pintos@pintos-VirtualBox:~/pintos/src/threads$ make check
cd build && make check
make[1]: Entering directory '/home/pintos/pintos/src/threads/build'
pass tests/threads/alarm-single
pass tests/threads/alarm-multiple
pass tests/threads/alarm-simultaneous
FAIL tests/threads/alarm-priority
pass tests/threads/alarm-zero
pass tests/threads/alarm-negative
FAIL tests/threads/priority-change
FAIL tests/threads/priority-donate-one
FAIL tests/threads/priority-donate-multiple
FAIL tests/threads/priority-donate-multiple2
FAIL tests/threads/priority-donate-nest
FAIL tests/threads/priority-donate-sema
FAIL tests/threads/priority-donate-lower
FAIL tests/threads/priority-fifo
FAIL tests/threads/priority-preempt
FAIL tests/threads/priority-sema
FAIL tests/threads/priority-condvar
FAIL tests/threads/priority-donate-chain
FAIL tests/threads/mlfqs-load-1
FAIL tests/threads/mlfqs-load-60
FAIL tests/threads/mlfqs-load-avg
FAIL tests/threads/mlfqs-recent-1
pass tests/threads/mlfqs-fair-2
pass tests/threads/mlfqs-fair-20
FAIL tests/threads/mlfqs-nice-2
FAIL tests/threads/mlfqs-nice-10
FAIL tests/threads/mlfqs-block
20 of 27 tests failed.
../../tests/Make.tests:26: recipe for target 'check' failed
```

과제 목표인 알람 priority 제외 5개에서 pass했음을 알 수 있다.

5-2) squish-pty후 Test 실행







성공적으로 동작했음을 알 수 있습니다.