시스템 프로그래밍 과제 #1 보고서

2019147542 하동현

1. 사전 조사 보고서

a. 스케줄링 관련 커널 자료구조 분석

1. struct task_struct 구조체

task_struct 구조체에는 프로세스나 스레드가 가지고 있는 수많은 정보들이 담겨 있고, 그만큼 다양한 자료 구조를 사용하고 있다. 사전 조사에서는 과제에서 사용될 멤버 변수 위주로 어떤 변수가 있으며 그 변수가 무슨 자료구조를 사용하고 누가 참조하게 되는지 위주로 사전 조사를 진행해 보았다.

(1) char comm[TASK_COMM_LEN]

```
char                            comm[TASK_COMM_LEN];
```

comm 이라는 변수는 task의 command, 즉 task의 이름 정보를 가지고 있다. 이를 참조하여 task의 이름 정보를 받아올 수 있을 것이다.

(2) Pidt pid

```
pid_t                           pid;
pid_t                           tgid;
```

pid_t라는 구조체로 선언된 pid 변수에 Process ID 정보가 들어가 있다. pid_t는 typedef를 통해 int로 정의되어 있으므로 정수형으로 정보를 저장하면 될 것이다.

(3) int prio

```
int                             prio;
```

task의 우선순위, 즉 가중치를 저장하는 변수이다. 일반 프로세스는 100~140 사이의 값을 가질 수 있다.

(4) u64 start_boottime

```
/* Monotonic time in nsecs: */
u64                             start_time;

/* Boot based time in nsecs: */
u64                             start_boottime;
```

부팅 이후로부터 task가 시작된 시간을 기록하는 변수이다.

```
p->start_time = ktime_get_ns();
p->start_boottime = ktime_get_boottime_ns();
```

kernel/fork.c의 copy_process() 함수에서 이 변수에 값이 할당된다. 즉, 프로세스를 fork하여 시작하는 순간 ktime_get_boottime_ns() 함수를 통해 프로세스 시작 시간을 기록하는 것이다. start_time과 start_boottime의 차이는, start time은 프로세스의 총 실행 시간을 기록한 것이라면, start_boottime은 부팅 시간으로부터 언제 시각에 시작되었는지를 기록한 것이다. 즉 과제 명세서에 적힌 대로 start_boottime 변수를 참조해야 할 것이다. 또한 이는 ns 단위로 기록되므로 1000000으로 값을 나눠 주어야 ms로 나타낼 수 있을 것 같다.

(5) const struct sched_class *sched_class

sched_class 변수는 task가 어떤 스케줄 방식을 따를 건지에 대한 정보가 들어있다. sched_class는 sched_entity와 함께 스케줄러 동작에 중요한 역할을 하는 것으로 보인다. 그러므로 아래에서 더 자세히 조사하려고 한다.

2. struct sched_entity 구조체

```
struct sched_entity {
        /* For load-balancing: */
        struct load_weight              load;
        struct rb_node                  run_node;
        struct list_head                group_node;
        unsigned int                    on_rq;

        u64                             exec_start;
        u64                             sum_exec_runtime;
        u64                             vruntime;
        u64                             prev_sum_exec_runtime;

        u64                             nr_migrations;

#ifdef CONFIG_FAIR_GROUP_SCHED
        int                             depth;
        struct sched_entity             *parent;
        /* rq on which this entity is (to be) queued: */
        struct cfs_rq                   *cfs_rq;
        /* rq "owned" by this entity/group: */
        struct cfs_rq                   *my_q;
        /* cached value of my_q->h_nr_running */
        unsigned long                   runnable_weight;
#endif

#ifdef CONFIG_SMP
        /*
         * Per entity load average tracking.
         *
         * Put into separate cache line so it does not
         * collide with read-mostly values above.
         */
        struct sched_avg                avg;
#endif
};
```

sched_entity는 task_struct 구조체 안에서 se라는 변수 이름으로 선언된 구조체이다. 이 구조체는 CFS 스케줄러가 동작할 때 Process 자신이 자신에 대한 weight, runtime, 우선순위, RB-tree에서 자신의 위치 정보 등을 알아야 하기 때문에 선언된 구조체이다. 즉, CFS 스케줄러를 동작시키기 위해 task_struct 안에 새로운 자료구조를 만든 것이다. 주요한 멤버 변수를 자세히 살펴보려고 한다.

(1) u64 vruntime

vruntime은 CFS 스케줄러에서 task를 리스케줄링 하거나 배정할 때 매우 중요한 요소이다. vruntime은 지금까지 task가 cpu에서 실행된 시간을 기록하는데, 이는 절대적인 시간이 아닌 그 프로세스의 우선순위까지 고려한 시간이다. vruntime의 계산 방식은 다음과 같다.

$$\text{vruntime} \mathrel{+}= \text{실행시각} * \frac{1024}{load\ weight}$$

즉, 우선순위가 높은 프로세스는 더 큰 weight를 가지고, 이는 우선순위가 낮은 프로세스(=weight가 작은 프로세스)보다 분모가 커져 시간이 더 느리게 늘어나는 것처럼 계산된다. 즉, 우선순위가 높은 프로세스는 vruntime이 느리게 늘어나므로 cpu에서 작업할 수 있는 시간이 더 늘어나는 것이다. CFS 스케줄러는 리스케줄링 하는 순간에 run queue에 있는 task 중 가장 작은 vruntime을 가진 task를 다음에 실행할 task로 선택하게 된다.

```
const int sched_prio_to_weight[40] = {
 /* -20 */     88761,     71755,     56483,     46273,     36291,
 /* -15 */     29154,     23254,     18705,     14949,     11916,
 /* -10 */      9548,      7620,      6100,      4904,      3906,
 /*  -5 */      3121,      2501,      1991,      1586,      1277,
 /*   0 */      1024,       820,       655,       526,       423,
 /*   5 */       335,       272,       215,       172,       137,
 /*  10 */       110,        87,        70,        56,        45,
 /*  15 */        36,        29,        23,        18,        15,
};
```

공식에 있는 load weight는 kernel/sched.c와 sched/core.c 에 정의되어 있으며, 우선순위에 따른 weight를 계산한다. 이는 prio가 1 감소할 때마다 약 1.25배씩 증가한다. 이 weight는 time slice를 계산 할 때도 사용된다.

(2) struct cfs_rq

kernel/sched/sched.h

```
struct cfs_rq {
    struct load_weight load;
    unsigned long nr_running;

    u64 exec_clock;
    u64 min_vruntime;

    struct rb_root tasks_timeline;
    struct rb_node *rb_leftmost;

    struct sched_entity *curr, *next, *last, *skip;
    ...
    int on_list;
    struct list_head leaf_cfs_rq_list;
    struct task_group *tg;
    ...
    u64 load_avg;
    u64 load_period;
    u64 load_stamp, load_last, load_unacc_exec_time;
    ...
}
```

cfs_rq 구조체는 cfs 방식으로 스케줄 되어야하는 task들을 모아놓은 run queue이다. cfs 스케줄 방식을 사용하기 위해, 내부에는 이 run queue에 저장된 task들의 가중치를 node로 가지는 RB Tree 구조를 저장하고 있다. 또한 이 run queue의 task들의 load를 합한 값을 struct load_weight load에 저장한다. nr_running에는 run queue에 존재하는 task의 수를 기록한다.

3. const struct sched_class 구조체

sched_class 구조체는 스케줄러 동작 방식을 정의하고, sched_class 자료구조를 가지는 각각의 변수(스케줄러 방식을 알리는)를 여러 파일에 선언한다. 그 위치와 세부 사항은 L02 강의노트를 참고하였다.

Class	Description	Policy
dl_sched_class	for real-time task with deadline	SCHED_DEADLINE
rt_sched_class	for real-time task	SCHED_FIFO SCHED_RR
fair_sched_class	for time-sharing task	SCHED_NORMAL SCHED_BATCH
idle_sched_class	for tasks that avoid to disturb other tasks	SCHED_IDLE

각 sched_class들은 고유의 스케줄 방식을 따르며 policy라는 변수에 따라서도 작동이 달라지게 된다.

(1) rt_sched_class in linux/sched/rt.c

```
const struct sched_class rt_sched_class = {
    .next           = &fair_sched_class,
    .enqueue_task       = enqueue_task_rt,
    .dequeue_task       = dequeue_task_rt,
    .yield_task     = yield_task_rt,
    .check_preempt_curr = check_preempt_curr_rt,
    ...
}
```

real-time 스케줄링 방식을 가지는 sched_class이다.

(2) fair_sched_class in linux/sched/fair.c

```
const struct sched_class fair_sched_class = {
    .next           = &idle_sched_class,
    .enqueue_task       = enqueue_task_fair,
    .dequeue_task       = dequeue_task_fair,
    .yield_task     = yield_task_fair,
    .yield_to_task      = yield_to_task_fair,
    .check_preempt_curr = check_preempt_wakeup,
    ...
}
```

현재 리눅스에서 가장 많이 쓰이는 CFS 방식을 따르는 sched_class이다.

(3) idle_sched_class in linux/sched/idle_task.c

```
const struct sched_class idle_sched_class = {
    .dequeue_task       = dequeue_task_idle,
    .check_preempt_curr = check_preempt_curr_idle,
    ...
}
```

다른 task에 영향을 주는 것을 피하는 방식을 위한 스케줄링 클래스이다.

아래는 강의노트에 존재하는 sched_class 구조체가 가지는 함수들의 목록인데, 중요해 보이는 몇몇의 코드만 찾아보았다.

Function	Operations
enqueue_task	• Put the task into the run queue • Increment the nr_running variable
dequeue_task	• Remove the task from the run queue • Decrement the nr_running variable
yield_task	• Dequeue the task and then enqueue it
check_preempt_curr	• Check whether the currently running task can be preempted by a new task
pick_next_task	• Choose the most appropriated task eligible to run next
set_curr_task	• Change task's scheduling class or group
load_balance	• Trigger load balancing code

(4) put_prev_task(), set_next_task

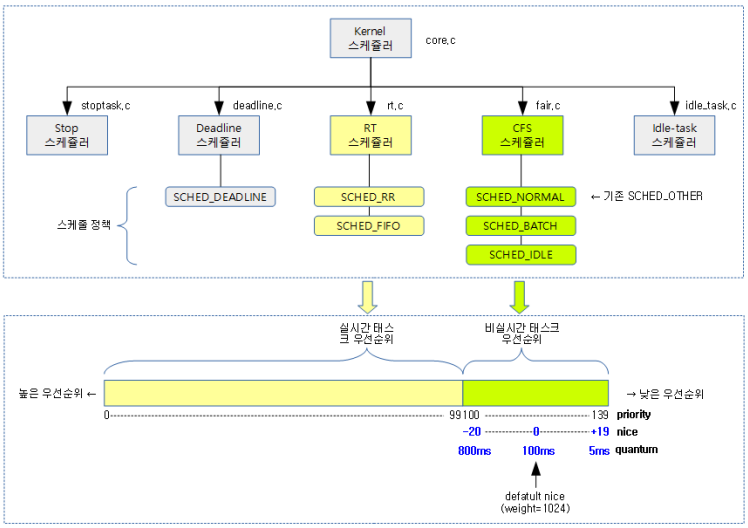
```
static inline void put_prev_task(struct rq *rq, struct task_struct *prev)
{
        WARN_ON_ONCE(rq->curr != prev);
        prev->sched_class->put_prev_task(rq, prev);
}

static inline void set_next_task(struct rq *rq, struct task_struct *next)
{
        next->sched_class->set_next_task(rq, next, false);
}
```

(5) enqueue_task(), dequeue_task()

```
void (*enqueue_task) (struct rq *rq, struct task_struct *p, int flags);
void (*dequeue_task) (struct rq *rq, struct task_struct *p, int flags);
```

두 함수를 통해 현(prev) 프로세스를 run queue에 넣고, rb tree의 가장 왼쪽에 있는 node, 즉 vruntime이 가장 작은 node를 dequeue하여 스케줄링 하는 함수들이다.

b. schedule() 함수의 동작 과정



리눅스 스케줄러의 개략적인 동작 과정[1]

[1] https://information.koreainfoguide.com/entry/%EC%8A%A4%EC%BC%80%EC%A5%B4%EB%9F%AC-%EA%B8%B0%EC%B4%88 스케줄러 기초, 2019.9.14

1. RT 의 schedule

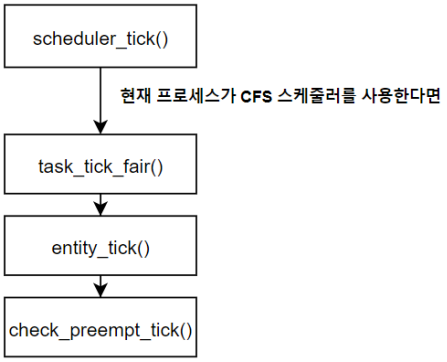
RT 스케줄러는 0~99의 priority를 가지는 rt task를 스케줄링 할 때 사용된다. 이 스케줄러는 어떠한 작업이든 똑같은 시간 내에 끝날 수 있도록 하기 위해 고안된 스케줄러 이다. 이 task들은 SCHED_FIFO 정책이나 SCHED_RR 정책으로 rt 스케줄러에서 동작할 수 있게 한다. SCHED_FIFO 방식은 first in first out 말 그대로 처음 들어온 작업을 먼저 시행 후, 다음 작업을 수행하는 정책이다. preemption이 없는 한, 한번 cpu를 점유한 task는 계속해서 작업한다. 즉, time slice가 존재하지 않는 것이다. 이에 반해 SCHED FIFO 방식은, FIFO 방식과 큰 차이는 없으나 priority에 따라 time slice가 배정이 되고, 배정받은 time slice가 끝나게 되면 교체되게 된다.

2. CFS 의 schedule

CFS 스케줄러는 용어 그대로 모든 task를 공정한 방식으로 할당하겠다는 취지를 가진 스케줄러이다. CFS는 SCHED_NORMAL, SCHED_BATCH, SCHED_IDLE의 세 가지 정책을 가지고 있다. vruntime이라는 변수를 update_curr()이라는 함수를 통해 계속해서 실시간으로 계산하여, 이를 RB tree에 저장한다. RB Tree는 로그 기반의 시간 복잡도를 가진 자료구조로, 빠른 속도를 가져 tree 자료구조에서 많이 사용되는 방식이다. CFS 스케줄러는 run queue에서 vruntime이 가장 작은 task를 다음 작업으로 할당하게 된다. 가장 작은 vruntime을 가진 노드가 RB tree의 가장 왼쪽 node에 저장되므로, 스케줄러는 새로운 task를 배정하게 될 때 그 node만을 확인하면 된다. 그러면 이제 간단한 순서도를 참조하여 CFS 스케줄러 함수의 동작 과정을 알아보자.

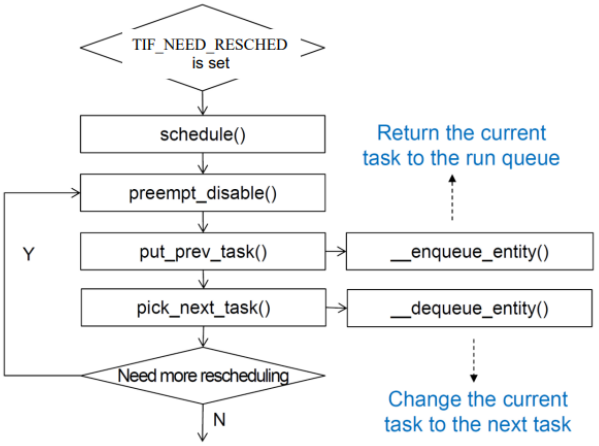
CFS 스케줄러는 크게 두 챕터의 과정으로 나누어져 있다. 먼저, 현재 작업중인 task가 time slice를 전부 소진하였는지를 체크하여 그 task가 preempt 되어야 하는지 확인하는 Checking Preemptability 과정이 있고, 두번째는 preempt 되어야 한다는 게 결정되었을 때, schedule() 함수를 호출하여 task를 교체하는 과정이다.

(1) Checking Preemptability



먼저 scheduler_tick() 함수를 통해 rq->curr에 접근하여 현재 실행중인 task의 정보를 가져온다. 만약 현재 task가 CFS 스케줄러를 사용한다면, task_tick_fair() 함수를 통해 entity_tick()을 호출한다. 동시해 update_curr()을 통해 vruntime을 업데이트한다. entity_tick()은 cfs_rq의 nr_running, 즉 위에서 먼저 살펴본 듯이 run queue의 task가 1개 초과라면 check_preempt_tick() 함수를 호출한다. check_preempt_tick() 함수를 통해 현재 프로세스가 타임 슬라이스를 전부 소진했다고 판단되면 해당 프로세스가 preempted 될 프로세스, 즉 교체가 되어야 할 프로세스라고 판단한다. 이는 TIF_NEED_RESCHED flag를 설정함으로써 schedule() 함수가 작동될 수 있게 한다.

(2) Invoking schedule()



L02 강의노트에 적힌 순서도를 참고하여 탐구하여 보았다.

TIF_NEED_RESCHED가 설정되면, 먼저 schedule() 함수를 호출한다. 그 후, 현재 task를 RB_TREE에 넣는다. RB_tree에는 vruntime의 공식에 따라 실시간으로 계산된 vruntime의 값을 가지는 task가 node로 존재한다. 이 때의 RB_Tree의 leftmost node를 뽑아내어 다음에 실행될 task로 설정한다. 이후 스케줄링이 더 필요하다고 판단되면, 이 과정을 반복하게 된다.

2. 실습 과제 보고서

a. 개발 환경

A. uname -a 결과

커널 교체 전

```
zkwlr@Ubuntu:~$ uname -a
Linux Ubuntu 6.2.0-34-generic #34~22.04.1-Ubuntu SMP PREEMPT_DYNAMIC Thu Sep  7
13:12:03 UTC 2 x86_64 x86_64 x86_64 GNU/Linux
```

커널 교체 후

```
zkwlr@Ubuntu:~/hw1_2019147542/module$ uname -a
Linux Ubuntu 6.2.0-2019147542 #1 SMP PREEMPT_DYNAMIC Tue Oct 17 12:33:14 KST 202
3 x86_64 x86_64 x86_64 GNU/Linux
```

B. 컴파일러 정보

```
zkwlr@zkwlr-VirtualBox ~
❯ gcc --version
gcc (Ubuntu 11.4.0-1ubuntu1~22.04) 11.4.0
Copyright (C) 2021 Free Software Foundation, Inc.
This is free software; see the source for copying conditions.  There is NO
warranty; not even for MERCHANTABILITY or FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE.
```

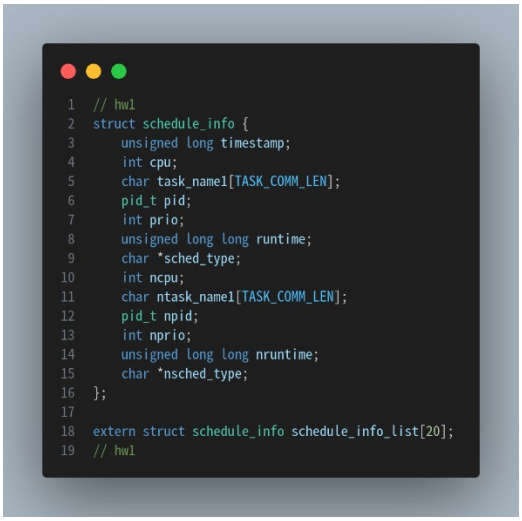
C. 운영체제 및 CPU 정보

```
zkwlr@zkwlr-VirtualBox ~
❯ cat /etc/issue
Ubuntu 22.04.3 LTS \n \l

zkwlr@zkwlr-VirtualBox ~
❯ cat /proc/cpuinfo
processor       : 0
vendor_id       : AuthenticAMD
cpu family      : 25
model           : 33
model name      : AMD Ryzen 5 5600 6-Core Processor
stepping        : 2
cpu MHz         : 4294.964
cache size      : 512 KB
physical id     : 0
siblings        : 6
core id         : 0
cpu cores       : 6
apicid          : 0
initial apicid  : 0
fpu             : yes
fpu_exception   : yes
cpuid level     : 16
wp              : yes
flags           : fpu vme de pse tsc msr pae mce cx8 apic sep mtrr pge mca cmov pat pse36 clflush m
mx fxsr sse sse2 ht syscall nx mmxext fxsr_opt rdtscp lm constant_tsc rep_good nopl nonstop_tsc cpu
id extd_apicid tsc_known_freq pni pclmulqdq ssse3 cx16 sse4_1 sse4_2 x2apic movbe popcnt aes xsave
avx rdrand hypervisor lahf_lm cmp_legacy cr8_legacy abm sse4a misalignsse 3dnowprefetch vmmcall fsg
sbase bmi1 avx2 bmi2 invpcid rdseed clflushopt arat
bugs            : fxsave_leak sysret_ss_attrs null_seg spectre_v1 spectre_v2
bogomips        : 8589.92
TLB size        : 2560 4K pages
clflush size    : 64
cache_alignment : 64
```

b. 커널 모듈 작성 보고서

A. 커널에 구현한 자료 구조 및 코드

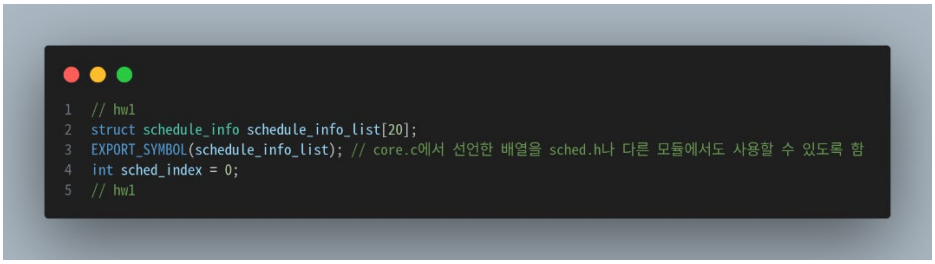
1. include/linux/sched.h에 구현한 struct schedule_info



```
// hw1
struct schedule_info {
    unsigned long timestamp;
    int cpu;
    char task_name1[TASK_COMM_LEN];
    pid_t pid;
    int prio;
    unsigned long long runtime;
    char *sched_type;
    int ncpu;
    char ntask_name1[TASK_COMM_LEN];
    pid_t npid;
    int nprio;
    unsigned long long nruntime;
    char *nsched_type;
};

extern struct schedule_info schedule_info_list[20];
// hw1
```

먼저, 모듈이 참조할 sched.h에 스케줄링 된 task의 자료를 담을 구조체 schedule_info를 만들었다. 명세서에 제시되었던 여러가지 정보들을 구조체가 담고 있다. prev의 정보와 next의 정보를 함께 담기 위해 prev의 정보 변수에 n을 붙혀 next의 정보를 담는 변수도 함께 선언해 주었다. 마지막에는 이 구조체를 담는 20의 길이를 가지는 배열 schedule_info_list를 다른 파일에서도 사용할 수 있게 extern으로 선언하였다.

2. kernel/sched/core.c에 구현한 배열- schedule_info_list[20]



```
// hw1
struct schedule_info schedule_info_list[20];
EXPORT_SYMBOL(schedule_info_list); // core.c에서 선언한 배열을 sched.h나 다른 모듈에서도 사용할 수 있도록 함
int sched_index = 0;
// hw1
```

sched.h에 선언한 schedule_info_list 배열을 가져와, 정보를 담기 위해 선언하였다. 또한, EXPORT_SYMBOL()을 통해 다른 모듈에서도 이 배열을 참조할 수 있도록 하였다. 마지막으로, sched_index를 0으로 설정해 배열에 task를 담을 때 사용할 수 있도록 했다.

3. __schedule() 함수 내부 수정

```c
static void __sched notrace __schedule(unsigned int sched_mode)
{
...
    // hw1
    struct schedule_info current_task_info; //현재와 다음 task 정보를 담을 구조체 변수 선언해 sched_info_list에 저장
    current_task_info.cpu = cpu;
    strncpy(current_task_info.task_name1, current->comm, TASK_COMM_LEN);
    current_task_info.pid = current->pid;
    current_task_info.prio = current->prio;
    // 부팅시간 기준 몇 ms 이후 task가 실행되는지 구하기 위한 변수
    unsigned long long current_start_time_ms = current->start_boottime / 1000000; //ns를 ms로 변환
    current_task_info.runtime = current_start_time_ms;
```

```c
// sched_class type
if (current->sched_class == &fair_sched_class) {
    current_task_info.sched_type = "CFS";
}
else if (current->sched_class == &rt_sched_class) {
    current_task_info.sched_type = "RT";
}
else if (current->sched_class == &dl_sched_class) {
    current_task_info.sched_type = "DL";
}
else if (current->sched_class == &idle_sched_class) {
    current_task_info.sched_type = "IDLE";
}
else
{
    current_task_info.sched_type = "STOP";
}
// hw1
```

먼저, schedule_info 구조체인 current_task_info 를 만들어, 정보를 담고 sched_info_list에 담는 방식으로 코드를 수정하기로 했다. current_task_info 의 이름과는 다르게 next task의 정보도 존재하지만, 커널 빌드의 무지막지한 시간 때문에 이 변수명을 그대로 사용하기로 했다. current를 통해 현재 task의 task_struct 안의 멤버 변수를 가져왔다. 특별히, start_boottime은 ns 단위로 기록되기에 ms 단위로 출력하기 위해 미리 1000000으로 나눠 주었다. task의 스케줄링 type을 확인하기 위해, 현재 task의 sched_class가 각각 무엇인지에 따라 sched_type 변수 안에 문자열로 기록하였다.

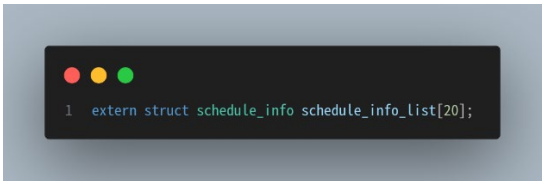
이는 next 변수에도 전부 똑 같은 방식으로 저장하였다.

```c
if (sched_index < 20) { // 배열에 task_info가 가득 찰때까지 저장
        schedule_info_list[sched_index] = current_task_info;
        sched_index = sched_index + 1;
    }
    else {
        for (int i = 0; i < 19; i++) { //가득 찼을 때
            schedule_info_list[i] = schedule_info_list[i + 1]; // 앞으로 한칸씩 이동
        }
        schedule_info_list[19] = current_task_info; // 마지막에 최신 task_info 저장
    }
    // hw1
```

마지막으로, 이렇게 저장된 정보를 가지는 current_task_info를 배열에 어떤 식으로 저장할 지 고려하였다. 명세서에서 가장 최근의 20번 __schedule() 동작만을 담으라고 하였으므로, 먼저 20번의 동작, 즉 sched_index가 20이 되기 전까지는 sched_index를 index로 갖는 schedule_info_list 위치에 task info를 저장하였다. 그 이후에는, 가장 오래된 동작의 task info를 지운 후 한 칸씩 앞으로 당겨 자리를 만들어야 하기에, else 이후의 코드와 같이 구현하였다.

B. 커널 모듈 코드

예시로 주어진 모듈 코드에서 2가지 부분을 수정하였다.



```
1  extern struct schedule_info schedule_info_list[20];
```

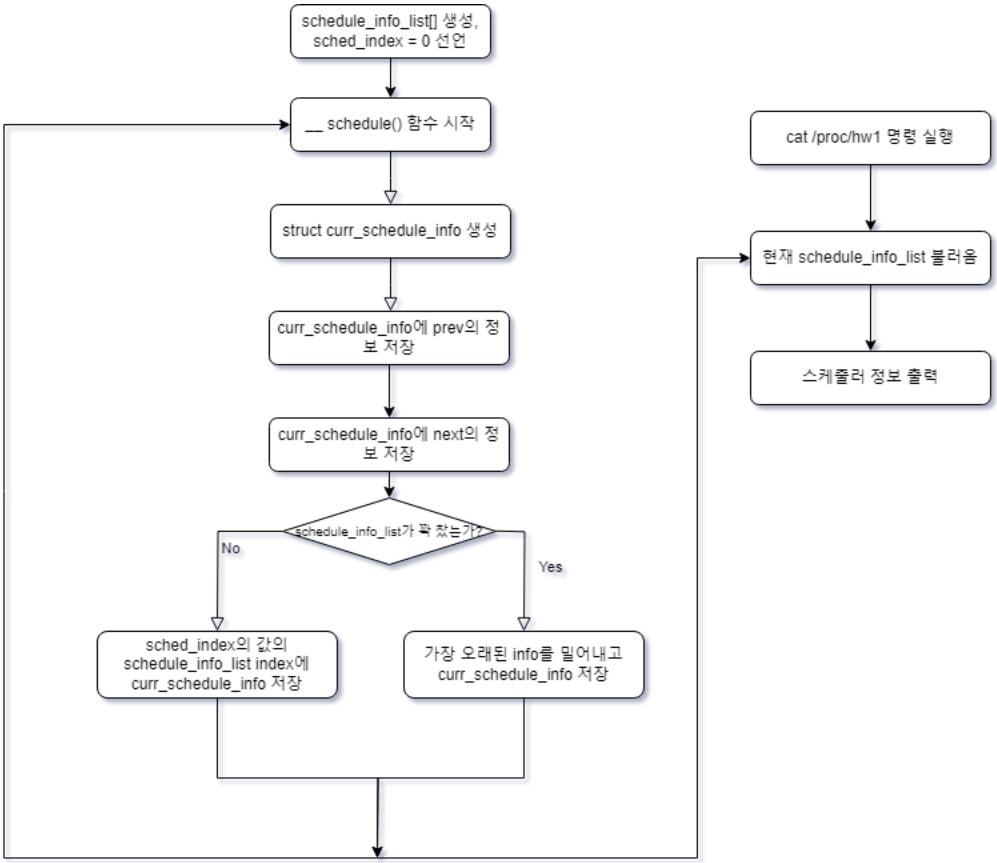
먼저, __schedule() 함수 동작에 따른 task의 정보가 담긴 schedule_info_list 배열을 사용하기 위해 위와 같이 선언하였다.

```
1  static int hello_seq_show(struct seq_file *s, void *v)
2  {
3      loff_t *spos = (loff_t *) v;
4      int num_cpus = num_online_cpus();
5      seq_printf(s, "[System Programming Assignment #1]\n");
6      seq_printf(s, "ID: 2019147542\n");
7      seq_printf(s, "Name: Ha, Donghyun\n");
8      seq_printf(s, "# CPU: %d\n", num_cpus);
9      seq_printf(s, "------------------------------------------------\n");
10     for (int i = 0; i < 20; i++) {
11         seq_printf(s, "schedule() trace #%d - CPU ", i);
12         seq_printf(s,"#%d\n", schedule_info_list[i].cpu);
13         seq_printf(s, "Command: %s\n", schedule_info_list[i].task_name1);
14         seq_printf(s, "PID: %d\n", schedule_info_list[i].pid);
15         seq_printf(s, "Priority: %d\n", schedule_info_list[i].prio);
16         seq_printf(s, "Start time (ms): %llu\n", schedule_info_list[i].runtime);
17         seq_printf(s, "Scheduler: %s\n", schedule_info_list[i].sched_type);
18         seq_printf(s, "->\n");
19         seq_printf(s, "Command: %s\n", schedule_info_list[i].ntask_name1);
20         seq_printf(s, "PID: %d\n", schedule_info_list[i].npid);
21         seq_printf(s, "Priority: %d\n", schedule_info_list[i].nprio);
22         seq_printf(s, "Start time (ms): %llu\n", schedule_info_list[i].nruntime);
23         seq_printf(s, "Scheduler: %s\n", schedule_info_list[i].nsched_type);
24         seq_printf(s, "------------------------------------------------\n");
25     }
```

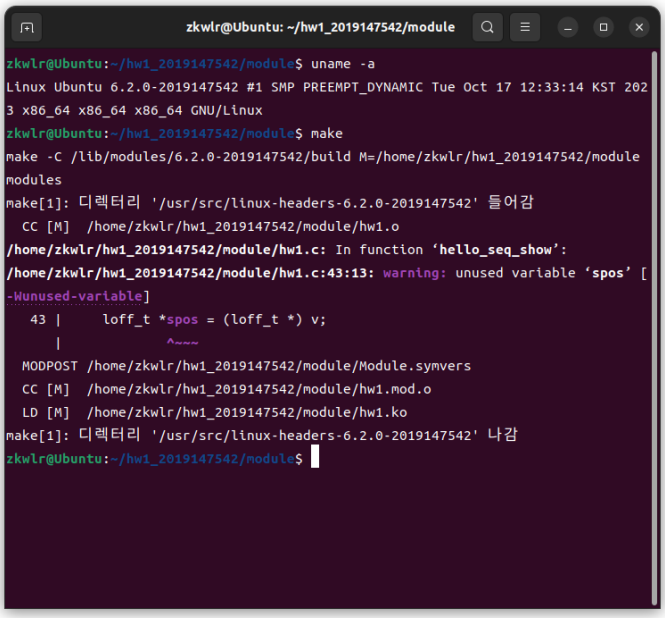
명세서의 제출 형식에 따라, schedule_info_list 배열에서 저장된 각 정보를 자료형에 맞게 출력하게 하였다.

C. 동작 과정

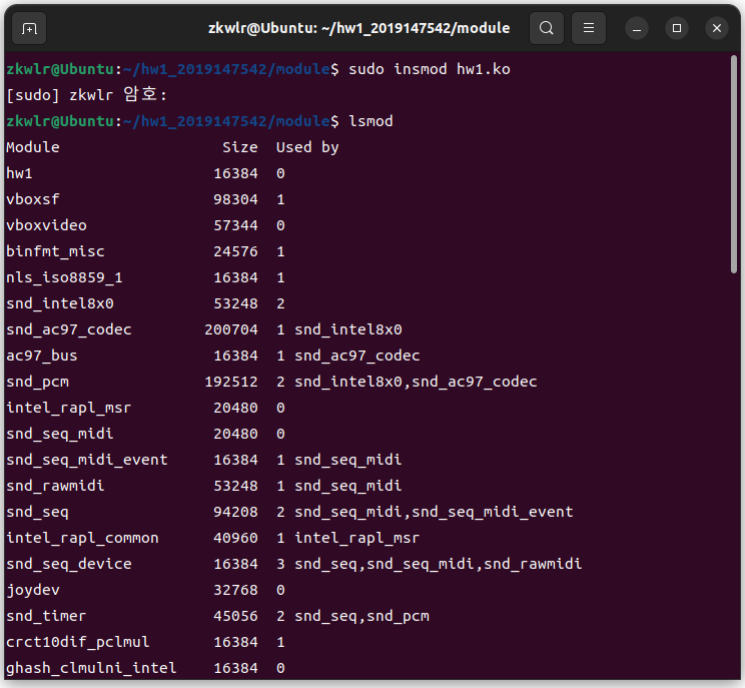
동작 과정은 위에 코드 분석을 통해 설명하였으므로 순서도를 통해 다시 한번 설명하려고 한다.



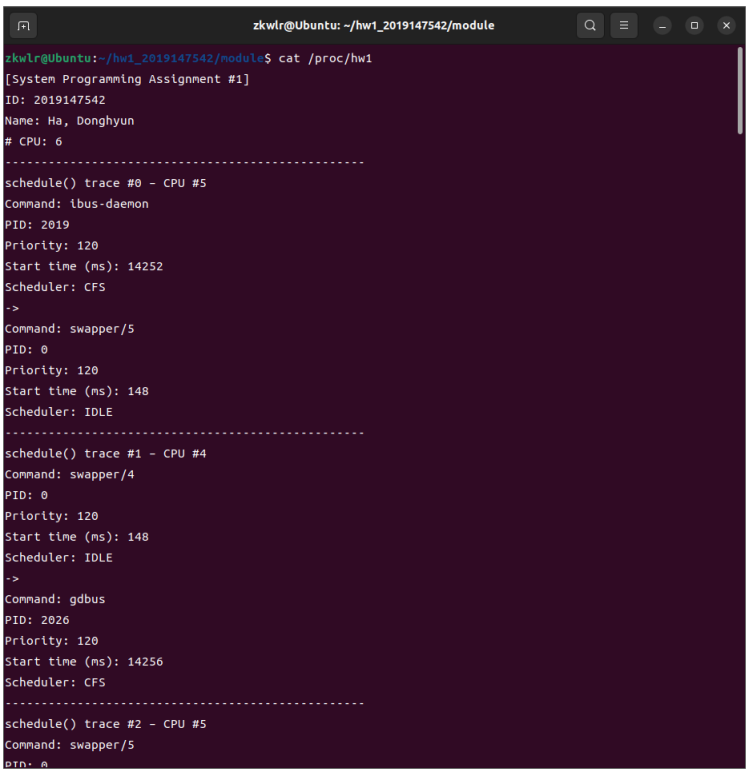
c. 실습 과제 결과 검증 및 분석



먼저 make를 통해 hw1.ko가 잘 컴파일 되었다.

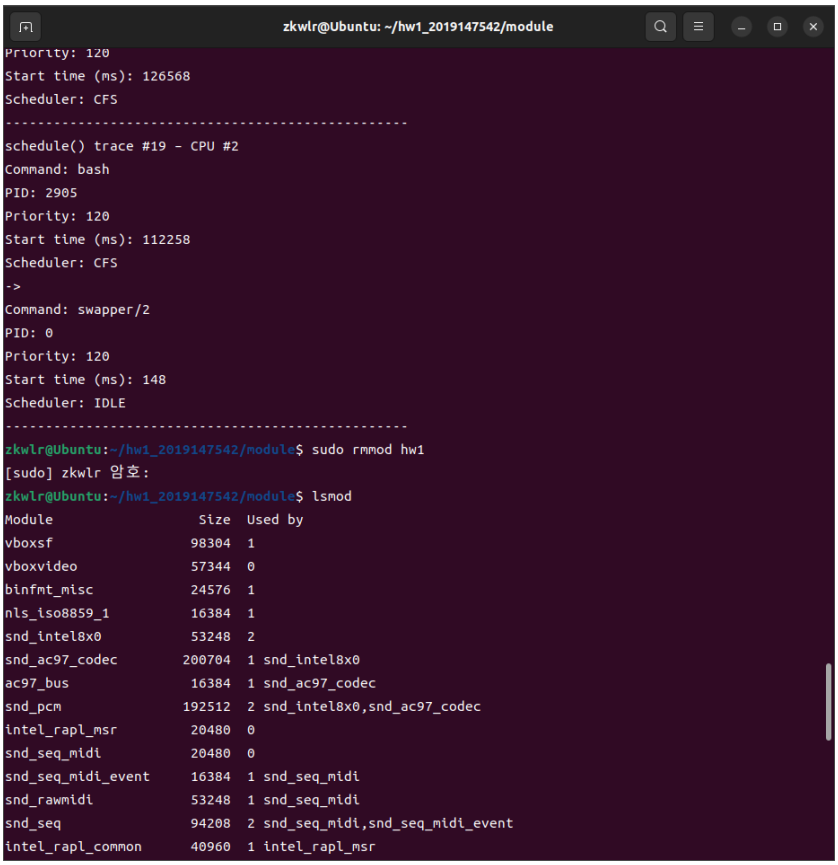


이후 lsmod 명령을 통해 hw1 모듈이 등록된 것을 확인할 수 있었다.

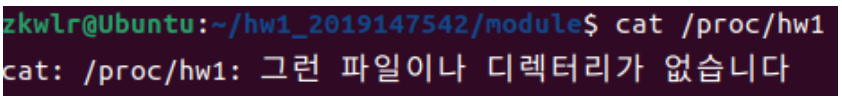


이후 cat /proc/hw1 명령을 입력하니, 명세서의 예시대로 trace #19까지 출력되는 것

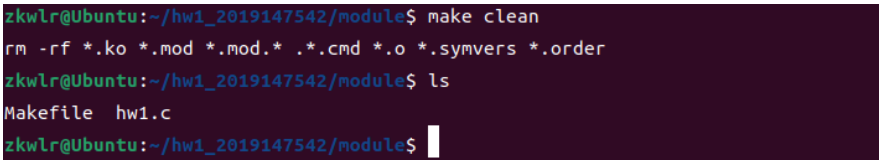
을 확인하였다. CPU의 개수, task가 사용중인 CPU 번호, 스케줄러 종류등이 올바르게 나오는 것을 확인할 수 있었다.



sudo rmmod hw1을 통해 모듈을 제거하였고, 이후 lsmod를 통해 확인한 결과 hw1 모듈이 제거됨을 확인하였다.



제거 후 cat /proc/hw1 명령을 사용하면 작동하지 않는 것을 확인할 수 있었다.



make clean 명령을 통해 Makefile과 모듈 프로그래밍 구현물을 제외한 나머지 파일이 삭제되었다.

d. 과제를 수행하면서 있었던 문제 및 해결방법

가장 먼저 부딪혔던 벽은, 커스텀 커널을 빌드하는 과정이었다. 저번 OS의 1차 과제에서 리눅스 커널을 설치하는 과제를 하긴 했지만, 커스텀 커널을 설치하는 것은 또

다른 문제였다. 리눅스 커널의 크기는 내 생각보다도 훨씬 크고 빌드도 오래 걸렸다. 일단 컴퓨터의 용량이 부족하여 SSD를 구매하는 것부터 시작하였다. 이후 소스코드를 수정하고 빌드하는 과정에서 많은 어려움을 겪었다. 일단 한번 한번의 빌드 시간이 길고, 빌드를 중간에 끊었을 때 어떤 문제가 발생할 지도 몰라 중지할 수도 없었다. 이는 첫 컴파일 이후에는 시간이 확실히 줄어서 괜찮았던 것 같다. 또한 빌드를 완료하고 커널을 설치하는 과정도 복잡하여 자료를 찾아보는데 많은 시간을 할애했던 것 같다. 나는 항상 Debian package를 만들지 않고 make-make install modules-make install 명령을 통해 바로바로 리눅스 환경에서 커널을 업데이트해 코드를 수정하였고, 과제 완료 후 .deb 패키지를 생성하니 한결 수월했던 것 같다. 한번은 kernel panic이 발생하여, 가상 환경을 아예 쓰지 못하게 되었다. 다행이도 이전에 snapshot image를 저장해 놓아서, 시간을 매우 아낄 수 있었다. 또한 git 환경을 사용하여 커널 프로그래밍 도중 발생한 여러 문제에 대처할 수 있었다.

코드 내적으로는, 커널의 정보를 모듈 코드를 통해 외부로 가져오는 것에 계속 실패하였다. 이후 symbol을 통해서만 외부에서 정보를 참조할 수 있다는 것을 알게 되었고, 코드를 추가하니 참조를 수월하게 할 수 있었다. 이외에 코드 구현상으로는 별로 어려운 점이 없었던 것 같다.

e. 참고한 문헌/사이트

시스템 프로그래밍 L02-processscheduling 강의노트

https://velog.io/@jinh2352/Linux-9-%EC%9D%BC%EB%B0%98-%ED%83%9C%EC%8A%A4%ED%81%AC-%EC%8A%A4%EC%BC%80%EC%A4%84%EB%A7%81-CFS 일반 테스크 스케줄링

https://information.koreainfoguide.com/entry/%EC%8A%A4%EC%BC%80%EC%A5%B4%EB%9F%AC-%EA%B8%B0%EC%B4%88 리눅스 스케줄러 기초

https://gist.github.com/hipiphock/11fa1c1e5dad03766881a1219d0aa692
hipiphock/scheduler_overview.md

https://jamcorp6733.tistory.com/201 리눅스 CFS 스케줄러

https://elixir.bootlin.com/linux/v6.2/source 리눅스 소스코드 참조 사이트

https://ndb796.tistory.com/534 우분투 커널 소스코드 수정 및 빌드하는 방법

https://blackinkgj.github.io/FedoraKernelInstall/ 리눅스에 커스텀 커널 설치 방법

https://extrememanual.net/9326 우분투 오래된 이전 커널 삭제 방법

https://ryotta-205.tistory.com/12 커널 컴파일(우분투)

https://velog.io/@mythos/Linux-Tutorial-9-%EC%BB%A4%EB%84%90-%EB%AA%A8%EB%93%88-%ED%94%84%EB%A1%9C%EA%B7%B8%EB%9E%98%EB%B0%8D 커널 모듈 프로그래밍

https://jhnyang.tistory.com/299 C 전처리기 지시어

https://codingcoding.tistory.com/193 리눅스 proc 파일 시스템 이해하기

https://waterfogsw.tistory.com/16 Linux kernel Structure

https://blog.naver.com/jeix2/80007580165 task_struct 구조체

https://darkengineer.tistory.com/119 테스크 디스크립터 자료구조

https://poplinux.tistory.com/105 extern : 개발한 함수를 외부에 공개하는법

https://blog.naver.com/cre8tor/90193630398 EXPORT_SYMBOL

https://velog.io/@mythos/Linux-Tutorial-6-%EB%8D%B0%EC%9D%B4%ED%84%B0-%ED%83%80%EC%9E%85 리눅스 커널의 다양한 데이터 타입