

과제 3 - 35%

리눅스 커널의 스케줄링 정책을 변경하면서 생성되는 프로세스들의 실행 순서 및 실행 시간을 확인할 수 있는 프로그램 작성

* 리눅스 커널 5.15.120 버전에서 아래 기능을 수행하는 프로그램 구현 (100점 만점, 추가 구현시 가산점 최대 50점, 총 과제 점수의 35%. 70점 이상 Pass)

- 시스템콜을 활용하여 리눅스 커널의 스케줄링 정책(CFS, RT_FIFO, RT_RR) 변경하면서 프로세스들의 실행 순서 및 실행 시간을 확인할 수 있는 프로그램 작성
 - 총 4개의(CFS_DEFAULT, CFS_NICE, RT_FIFO, RT_RR) 스케줄링 정책 중 하나를 선택하는 입력을 받은 후, 해당 스케줄링 정책을 적용받는 프로세스 21개를 생성한 후 (생성되는 프로세스들은 동일한 배열 연산을 수행), 프로세스들의 종료되는 순서 및 실행시간 출력 (70점) (CFS_DEFAULT: 10점, CFS_NICE: 20점, RT_FIFO: 20점, RT_RR: 20점)
 - (명령어 또는 시스템콜을 통해) RT_RR 스케줄링 기법의 Time Slice를 3가지로 변경해 보면서 (10ms, 100ms, 1000ms) 프로세스들의 실행 시간 비교 (20점)
 - 구현 과정 설명, 실행 화면 스냅샷, 실행 결과 분석 내용을 포함하는 보고서 작성 (10점)
 - 스케줄링 정책 변경에 따른 프로세스들의 실행 순서 및 실행 시간을 정확하게 분석하기 위해서는 (명령어 입력 또는 시스템콜을 통해) CPU 코어를 1개만 사용하도록 제한해야 함
- 커널 코드 수정을 통해 RT_FIFO 스케줄링 정책을 구현하고 (가산점 25점), 생성되는 각 프로세스의 CPU 점유 시간 (CPU burst: 할당 받은 CPU로 연산을 수행하는 시간) 누적값을 프로세스 종료 시 커널 로그에 출력하도록 한 후 (가산점 25점), 이를 테스트할 수 있는 프로그램 작성. 테스트 프로그램은 (시스템콜을 활용한 스케줄링 정책 변경 없이) 동일한 배열 곱셈 연산을 수행하는 21개의 프로세스를 실행시키면 됨

구현 요구사항

- 리눅스 커널 버전 5.15.120을 사용한다.
- 리눅스 커널의 스케줄링 정책은 기본적으로 CFS(Completely Fair Scheduler)를 사용하고, Real-Time FIFO(First In First Out), Real-Time RR(Round Robin) 스케줄러 또한 사용할 수 있다.
- CFS는 Nice 값을 통해 우선순위를 매기는데 기본값은 0이며 -20 ~ 19 사이의 값을 가지며 Nice 값이 낮을수록 높은 우선순위를 가지게 된다.
- fork()를 통해 선택된 스케줄링 정책을 적용받는 21개의 Child 프로세스를 생성하는 테스트 프로그램을 작성한다.
- 생성되는 21개의 프로세스들은 아래의 동일한 배열 곱셈 작업을 수행하도록 한다.

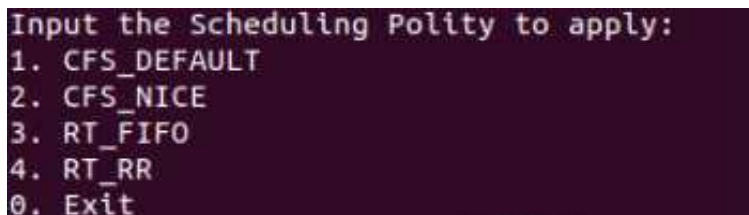
```

while(count < 100){
    for(k = 0; k < 100; k++){
        for(i = 0; i < 100; i++){
            for(j = 0; j < 100; j++){
                result[k][j] += A[k][i] * B[i][j];
            }
        }
    }
    count++;
}

```

- 적용되는 스케줄링 정책에 따라 차이가 나타나도록 테스트 프로그램을 실행할 때 1개의 CPU 코어만 사용하도록 한다.
- 총 4가지의 스케줄링 정책을 테스트한다.
 1. Nice 값 미변경 CFS: CFS_DEFAULT
 2. 7개의 프로세스씩 3개의 Nice 값으로 (-20, 0, 19) 설정한 CFS: CFS_NICE
 3. RT_FIFO 스케줄링 정책: RT_FIFO
 4. RT_RR 스케줄링 정책: RT_RR
- CFS 적용 시 Nice 값을 변경했을때 어떠한 변화가 있는지 확인 후 보고서에 분석 결과를 작성한다. Nice 값에 따른 우선순위를 확인할 수 있도록 먼저 생성되는 7개의 프로세스들은 낮은 우선순위, 다음 7개의 프로세스들은 중간 우선순위, 마지막에 생성되는 7개의 프로세스들은 높은 우선순위를 부여한다.
- RT_RR에서는 Time Slice 값을 통해 CPU 할당 시간을 조절한다. RT_RR 적용 시, Time Slice 값을 10, 100, 1000 ms로 변경하였을 때 어떠한 변화가 있는지 보고서에 분석 결과를 작성한다.
- 테스트 프로그램은 생성한 21개의 프로세스들에 대해 프로세스 종료 시, 각 프로세스의 PID, 프로세스 시작 시간, 프로세스 종료 시간, 프로세스 실행 시간을 출력하고, 최종적으로 적용된 스케줄링 정책, 21개 프로세스들의 평균 실행 시간을 출력한다.
- CFS 적용 시에는 생성되는 각 프로세스의 Nice 값을 출력한다.
- RT_RR 적용 시에는 할당되는 Time Slice(Time Quantum) 값을 출력한다.

- 실행화면 예시



```

Input the Scheduling Polity to apply:
1. CFS_DEFAULT
2. CFS_NICE
3. RT_FIFO
4. RT_RR
0. Exit

```

- 출력 결과 예시

1) CPU 코어 개수 제한 미적용 시 CFS_NICE 스케줄러 (잘못된 실행 예)

```
PID: 3384 | NICE: -20 | Start time: 12:44:59.647657 | End time: 12:45:00.346319 | Elapsed time: 0.698662
PID: 3383 | NICE: -20 | Start time: 12:44:59.653353 | End time: 12:45:00.382161 | Elapsed time: 0.728808
PID: 3382 | NICE: -20 | Start time: 12:44:59.653356 | End time: 12:45:00.455749 | Elapsed time: 0.802393
PID: 3385 | NICE: -20 | Start time: 12:44:59.665458 | End time: 12:45:00.483279 | Elapsed time: 0.817821
PID: 3387 | NICE: -20 | Start time: 12:44:59.641454 | End time: 12:45:00.483888 | Elapsed time: 0.842434
PID: 3388 | NICE: -20 | Start time: 12:44:59.665503 | End time: 12:45:00.529946 | Elapsed time: 0.864443
PID: 3386 | NICE: -20 | Start time: 12:44:59.641403 | End time: 12:45:00.535276 | Elapsed time: 0.893873
PID: 3380 | NICE: 0 | Start time: 12:44:59.638970 | End time: 12:45:00.878381 | Elapsed time: 1.239411
PID: 3377 | NICE: 0 | Start time: 12:44:59.653368 | End time: 12:45:01.018247 | Elapsed time: 1.364879
PID: 3376 | NICE: 0 | Start time: 12:44:59.641248 | End time: 12:45:01.051112 | Elapsed time: 1.409864
PID: 3381 | NICE: 0 | Start time: 12:44:59.641264 | End time: 12:45:01.085011 | Elapsed time: 1.443747
PID: 3378 | NICE: 0 | Start time: 12:44:59.648342 | End time: 12:45:01.130595 | Elapsed time: 1.482253
PID: 3375 | NICE: 0 | Start time: 12:44:59.638488 | End time: 12:45:01.155681 | Elapsed time: 1.517193
PID: 3379 | NICE: 0 | Start time: 12:44:59.639145 | End time: 12:45:01.198297 | Elapsed time: 1.559152
PID: 3371 | NICE: 19 | Start time: 12:44:59.649378 | End time: 12:45:01.450389 | Elapsed time: 1.801011
PID: 3369 | NICE: 19 | Start time: 12:44:59.638123 | End time: 12:45:01.537792 | Elapsed time: 1.899669
PID: 3373 | NICE: 19 | Start time: 12:44:59.641340 | End time: 12:45:01.575811 | Elapsed time: 1.934471
PID: 3374 | NICE: 19 | Start time: 12:44:59.639161 | End time: 12:45:01.614143 | Elapsed time: 1.974982
PID: 3368 | NICE: 19 | Start time: 12:44:59.638024 | End time: 12:45:01.641702 | Elapsed time: 2.003678
PID: 3370 | NICE: 19 | Start time: 12:44:59.638244 | End time: 12:45:01.657051 | Elapsed time: 2.018807
PID: 3372 | NICE: 19 | Start time: 12:44:59.638473 | End time: 12:45:01.758480 | Elapsed time: 2.120007
Scheduling Policy: CFS_NICE | Average elapsed time: 1.019883
```

2) CPU 코어 개수 제한 적용 시 CFS_NICE 스케줄러

```
PID: 3948 | NICE: -20 | Start time: 13:13:10.405388 | End time: 13:13:13.740258 | Elapsed time: 3.334870
PID: 3949 | NICE: -20 | Start time: 13:13:10.445373 | End time: 13:13:13.801941 | Elapsed time: 3.356568
PID: 3950 | NICE: -20 | Start time: 13:13:10.469608 | End time: 13:13:13.810147 | Elapsed time: 3.340539
PID: 3952 | NICE: -20 | Start time: 13:13:10.497108 | End time: 13:13:13.825841 | Elapsed time: 3.328733
PID: 3951 | NICE: -20 | Start time: 13:13:10.485186 | End time: 13:13:13.847533 | Elapsed time: 3.362347
PID: 3954 | NICE: -20 | Start time: 13:13:10.517244 | End time: 13:13:13.863936 | Elapsed time: 3.346692
PID: 3953 | NICE: -20 | Start time: 13:13:10.509162 | End time: 13:13:13.864650 | Elapsed time: 3.355488
PID: 3944 | NICE: 0 | Start time: 13:13:10.385446 | End time: 13:13:17.244558 | Elapsed time: 6.859112
PID: 3941 | NICE: 0 | Start time: 13:13:10.373189 | End time: 13:13:17.256528 | Elapsed time: 6.883339
PID: 3946 | NICE: 0 | Start time: 13:13:10.393335 | End time: 13:13:17.260183 | Elapsed time: 6.866848
PID: 3943 | NICE: 0 | Start time: 13:13:10.381280 | End time: 13:13:17.263429 | Elapsed time: 6.882149
PID: 3945 | NICE: 0 | Start time: 13:13:10.389562 | End time: 13:13:17.267751 | Elapsed time: 6.878189
PID: 3947 | NICE: 0 | Start time: 13:13:10.397385 | End time: 13:13:17.281705 | Elapsed time: 6.884320
PID: 3942 | NICE: 0 | Start time: 13:13:10.377202 | End time: 13:13:17.288789 | Elapsed time: 6.911587
PID: 3934 | NICE: 19 | Start time: 13:13:13.864831 | End time: 13:13:20.671794 | Elapsed time: 6.806963
PID: 3940 | NICE: 19 | Start time: 13:13:10.367485 | End time: 13:13:20.676777 | Elapsed time: 10.309292
PID: 3935 | NICE: 19 | Start time: 13:13:12.261454 | End time: 13:13:20.680272 | Elapsed time: 8.418818
PID: 3937 | NICE: 19 | Start time: 13:13:10.829305 | End time: 13:13:20.680759 | Elapsed time: 9.851454
PID: 3939 | NICE: 19 | Start time: 13:13:10.401374 | End time: 13:13:20.684656 | Elapsed time: 10.283282
PID: 3936 | NICE: 19 | Start time: 13:13:11.365080 | End time: 13:13:20.687810 | Elapsed time: 9.322730
PID: 3938 | NICE: 19 | Start time: 13:13:10.525224 | End time: 13:13:20.688633 | Elapsed time: 10.163409
Scheduling Policy: CFS_NICE | Average elapsed time: 6.035558
```

3) RT_FIFO 스케줄러

```
PID: 3663 | Start time: 13:05:10.699527 | End time: 13:05:11.190927 | Elapsed time: 0.491400
PID: 3664 | Start time: 13:05:11.191315 | End time: 13:05:11.686292 | Elapsed time: 0.494977
PID: 3665 | Start time: 13:05:11.686596 | End time: 13:05:12.177872 | Elapsed time: 0.491276
PID: 3666 | Start time: 13:05:12.178176 | End time: 13:05:12.723085 | Elapsed time: 0.544909
PID: 3667 | Start time: 13:05:12.317511 | End time: 13:05:13.210206 | Elapsed time: 0.892695
PID: 3668 | Start time: 13:05:12.321307 | End time: 13:05:13.828078 | Elapsed time: 1.506771
PID: 3669 | Start time: 13:05:12.325092 | End time: 13:05:14.436533 | Elapsed time: 2.111441
PID: 3662 | Start time: 13:05:12.329205 | End time: 13:05:14.926931 | Elapsed time: 2.597726
PID: 3670 | Start time: 13:05:12.333345 | End time: 13:05:15.478364 | Elapsed time: 3.145019
PID: 3671 | Start time: 13:05:12.337343 | End time: 13:05:15.974355 | Elapsed time: 3.637012
PID: 3672 | Start time: 13:05:12.341387 | End time: 13:05:16.518761 | Elapsed time: 4.177374
PID: 3673 | Start time: 13:05:12.345375 | End time: 13:05:17.009467 | Elapsed time: 4.664092
PID: 3674 | Start time: 13:05:12.349467 | End time: 13:05:17.550531 | Elapsed time: 5.201064
PID: 3675 | Start time: 13:05:12.353179 | End time: 13:05:18.039142 | Elapsed time: 5.685963
PID: 3676 | Start time: 13:05:12.357082 | End time: 13:05:18.576198 | Elapsed time: 6.219116
PID: 3661 | Start time: 13:05:12.361178 | End time: 13:05:19.078949 | Elapsed time: 6.717771
PID: 3677 | Start time: 13:05:12.365195 | End time: 13:05:19.624469 | Elapsed time: 7.259274
PID: 3660 | Start time: 13:05:13.269325 | End time: 13:05:20.117063 | Elapsed time: 6.847738
PID: 3659 | Start time: 13:05:13.273521 | End time: 13:05:20.660431 | Elapsed time: 7.386910
PID: 3658 | Start time: 13:05:13.277008 | End time: 13:05:21.173224 | Elapsed time: 7.896216
PID: 3657 | Start time: 13:05:13.281136 | End time: 13:05:21.728029 | Elapsed time: 8.446893
Scheduling Policy: RT_FIFO | Average elapsed time: 4.019792
```


4) RT_RR 스케줄러, Time Slice 10ms 적용

PID: 3801		Start time: 13:09:20.279460		End time: 13:09:20.782650		Elapsed time: 0.503190
PID: 3802		Start time: 13:09:20.783121		End time: 13:09:21.281523		Elapsed time: 0.498402
PID: 3803		Start time: 13:09:21.281831		End time: 13:09:22.089523		Elapsed time: 0.807692
PID: 3805		Start time: 13:09:21.757650		End time: 13:09:30.981803		Elapsed time: 9.224153
PID: 3806		Start time: 13:09:21.761310		End time: 13:09:30.986210		Elapsed time: 9.224900
PID: 3800		Start time: 13:09:21.765305		End time: 13:09:30.988791		Elapsed time: 9.223486
PID: 3809		Start time: 13:09:21.777432		End time: 13:09:31.017072		Elapsed time: 9.239640
PID: 3811		Start time: 13:09:21.785507		End time: 13:09:31.025900		Elapsed time: 9.240393
PID: 3799		Start time: 13:09:21.789029		End time: 13:09:31.027904		Elapsed time: 9.238875
PID: 3812		Start time: 13:09:21.793043		End time: 13:09:31.028794		Elapsed time: 9.235751
PID: 3814		Start time: 13:09:21.801077		End time: 13:09:31.104699		Elapsed time: 9.303622
PID: 3804		Start time: 13:09:21.753318		End time: 13:09:31.106447		Elapsed time: 9.353129
PID: 3808		Start time: 13:09:21.773486		End time: 13:09:31.122202		Elapsed time: 9.348716
PID: 3810		Start time: 13:09:21.781472		End time: 13:09:31.124194		Elapsed time: 9.342722
PID: 3813		Start time: 13:09:21.797148		End time: 13:09:31.125859		Elapsed time: 9.328711
PID: 3807		Start time: 13:09:21.769410		End time: 13:09:31.187200		Elapsed time: 9.417790
PID: 3815		Start time: 13:09:22.705802		End time: 13:09:31.436064		Elapsed time: 8.730262
PID: 3796		Start time: 13:09:22.717329		End time: 13:09:31.468597		Elapsed time: 8.751268
PID: 3798		Start time: 13:09:22.709286		End time: 13:09:31.484812		Elapsed time: 8.775526
PID: 3797		Start time: 13:09:22.713225		End time: 13:09:31.488655		Elapsed time: 8.775430
PID: 3795		Start time: 13:09:22.721023		End time: 13:09:31.494305		Elapsed time: 8.773282
Scheduling Policy: RT_RR Time Quantum: 10 ms Average elapsed time: 7.016044						

5) RT_RR 스케줄러 Time Slice 1000ms 적용

PID: 3900		Start time: 13:10:46.715297		End time: 13:10:47.216596		Elapsed time: 0.501299
PID: 3901		Start time: 13:10:47.216990		End time: 13:10:47.715782		Elapsed time: 0.498792
PID: 3902		Start time: 13:10:47.716088		End time: 13:10:48.264827		Elapsed time: 0.548739
PID: 3903		Start time: 13:10:47.985425		End time: 13:10:48.768351		Elapsed time: 0.782926
PID: 3904		Start time: 13:10:47.989563		End time: 13:10:49.361029		Elapsed time: 1.371466
PID: 3905		Start time: 13:10:47.993382		End time: 13:10:49.866548		Elapsed time: 1.873166
PID: 3906		Start time: 13:10:47.997435		End time: 13:10:50.471600		Elapsed time: 2.474165
PID: 3907		Start time: 13:10:48.001524		End time: 13:10:51.035450		Elapsed time: 3.033926
PID: 3908		Start time: 13:10:48.005413		End time: 13:10:51.552729		Elapsed time: 3.547316
PID: 3899		Start time: 13:10:48.009005		End time: 13:10:52.103071		Elapsed time: 4.094066
PID: 3909		Start time: 13:10:48.013258		End time: 13:10:52.607129		Elapsed time: 4.593871
PID: 3910		Start time: 13:10:48.017070		End time: 13:10:53.161805		Elapsed time: 5.144735
PID: 3911		Start time: 13:10:48.021090		End time: 13:10:53.665155		Elapsed time: 5.644065
PID: 3912		Start time: 13:10:48.025102		End time: 13:10:54.211457		Elapsed time: 6.186355
PID: 3913		Start time: 13:10:48.029255		End time: 13:10:54.737339		Elapsed time: 6.708084
PID: 3914		Start time: 13:10:48.033209		End time: 13:10:55.290470		Elapsed time: 7.257261
PID: 3898		Start time: 13:10:48.937183		End time: 13:10:55.783568		Elapsed time: 6.846385
PID: 3897		Start time: 13:10:48.941057		End time: 13:10:56.342011		Elapsed time: 7.400954
PID: 3896		Start time: 13:10:48.945082		End time: 13:10:56.835561		Elapsed time: 7.890479
PID: 3895		Start time: 13:10:48.949204		End time: 13:10:57.377074		Elapsed time: 8.427870
PID: 3894		Start time: 13:10:48.953332		End time: 13:10:57.879315		Elapsed time: 8.925983
Scheduling Policy: RT_RR Time Quantum: 1000 ms Average elapsed time: 4.035804						

▶ 제출 요구사항

- 11월 6일(월요일) 자정 전까지 제출해야 함. 기한 이후에는 과제 제출 불가
- 리눅스 커널(linux-5.15.120)에서 테스트할 것임
- 보고서 상단에 가산점 기능 구현 여부를 명시해야 함. 가산점 기능을 구현하여 제출할 때에는, 제출하는 소스코드 파일 리스트에 대한 설명을 (커널 소스의 경우 위치 정보 포함) 보고서 상단에 함께 명시해야 함
- 제출하는 테스트 프로그램 수행 시 먼저 실행해야 하는 명령어가 있다면 보고서 상단에 반드시 명시해야 함

- 소스코드는 (Makefile 포함) 하나의 zip 파일로 압축하여 제출하고, 보고서는 별도의 PDF 파일로 제출할 것.
- 가산점 기능 구현시 (커널 수정을 통한 RT_FIFO 구현 및 CPU burst 출력) 수정 및 추가한 소스코드를 (Makefile 포함) 하나의 zip 파일로 압축하여 제출. 기본 구현 코드와는 별도의 zip 파일로 제출 (리눅스 커널 소스 전체를 제출하면 절대 안됨. 가산점 0점 처리).
- 보고서에는 본인이 수행한 작업을 (소스코드 설명 포함) 전체적으로 설명해야 하고, 과제 수행을 확인할 수 있는 실행 결과 스냅샷 및 실행 결과 분석 내용을 반드시 포함하여야 함
- 제출 요구사항 미준수 시에는 10% 감점 처리함