Operating Systems
Project 01

- Implementing simple schedulers on xv6-

Due date : 11:59 pm May 17

Xv6 Scheduler

- 스케줄링은 다중프로그램 운영체제의 기본이 되며 실행가능한 프로세스 중 가장 적합한 프로세스를 선택하여 실행합니다. 이를 통해 운영체제가 주어진 자원을 더 효율적으로 사용할 수 있도록 합니다.
- Xv6에서는 기본적으로 매우 간단한 버전의 Round-Robin 방식의 스케줄러를 사용하고 있습니다.
- 이번 과제에서는 이론시간에 배운 스케줄러들을 xv6에 구현해보는 것을 목적으로 하며 이러한 과정에서 실제 동작하는 스케줄러들을 디자인하고 구현, 테스트, 분석해봅니다.

Schedulers

- 구현할 스케줄러들
  - Multilevel queue scheduler
    - Round-robin
    - FCFS
  - MLFQ scheduler
    - Priority scheduler
- 각 스케줄러에 대한 자세한 내용은 책과 이론수업자료를 참조

Default RR scheduler

- Xv6의 스케줄러는 기본적으로 Round-Robin 정책을 사용하고 있으며 기본 동작은 다음과 같습니다.
  - 타이머 인터럽트가 발생하면 현재 실행중인 프로세스를 RUNNABLE 상태로 전환시키고, 프로세스 배열에서 다음 인덱스의 프로세스를 실행시킵니다. 배열의 마지막 프로세스까지 실행시켰다면 배열의 처음 프로세스부터 다시 시작합니다.
  - 타이머 인터럽트가 발생하는 주기를 tick이라 하며 기본 값은 약 10ms입니다. 즉, 약 10ms마다 한 번씩 프로세스 간의 context switch가 발생합니다.

Specification – Multilevel Queue

- 스케줄러는 2개의 큐로 이루어집니다.
  - Round Robin: pid가 짝수인 프로세스들은 round robin으로 스케줄링 됩니다.
  - FCFS: pid가 홀수인 프로세스들은 FCFS로 스케줄링됩니다.
- Round Robin 큐가 FCFS 큐보다 우선순위가 높습니다.
  - 즉, pid가 짝수인 프로세스가 항상 먼저 스케줄링되어야 합니다.
- FCFS 큐는 먼저 생성된 프로세스를 우선적으로 처리합니다.
  - 즉, pid가 홀수인 프로세스들끼리는 pid가 더 작은 것부터 먼저 스케줄링되어야 합니다.
- SLEEPING 상태에 있는 프로세스는 무시해야 합니다.
  - i.e. RR 큐에 있는 프로세스 중에 RUNNABLE인 프로세스가 없다면 FCFS 큐를 확인해야 합니다.

Specification - MLFQ

- k-level feedback queue
- L0 ~ Lk-1의 큐 k개로 이루어져 있고, 수가 작을수록 우선순위가 높은 큐입니다.
- i번 큐는 2i+4 ticks 의 time quantum을 가집니다.
  - Ex) L0 = 4 ticks, L1 = 6 ticks, L2 = 8 ticks, …
- k는 고정된 값이 아니라, 빌드 시에 make에 옵션으로 넣어주는 유동적인 값입니다. (예시 참조)
  - k는 2 이상 5 이하의 정수입니다.
- 처음 실행된 프로세스는 모두 가장 높은 레벨의 큐(L0)에 들어갑니다.

Specification - MLFQ

- 같은 큐 내에서는 priority가 높은 프로세스가 먼저 스케줄링되어야 합니다.
- Priority는 프로세스마다 별개로 존재하며, 0 이상 10 이하의 정수 값을 가집니다.
  - Priority 값이 클수록 우선순위가 높습니다.
  - 처음에 프로세스가 생성되면 priority는 0으로 설정합니다.
  - Priority가 같은 프로세스끼리는 어느 것을 먼저 스케줄링해도 괜찮습니다.

Specification - MLFQ

- Priority 값을 변경하기 위한 setpriority 시스템 콜을 구현해야 합니다.
- setpriority는 **자신으로부터 직접 fork된 자식 프로세스**에게만 사용할 수 있습니다.
  - Ex) 1번 프로세스가 fork로 2번, 3번 프로세스를 만들고 2번 프로세스가 fork로 4번 프로세스를 만들었다면:
    - 1번 프로세스가 setpriority(2, p); // O
    - 1번 프로세스가 setpriority(1, p); // X
    - 1번 프로세스가 setpriority(4, p); // X
    - 2번 프로세스가 setpriority(1, p); // X
    - 2번 프로세스가 setpriority(3, p); // X
    - 2번 프로세스가 setpriority(4, p); // O
    - 3번 프로세스가 setpriority(4, p); // X

Specification - MLFQ

- 타이머 인터럽트나 yield, sleep 등을 통해 스케줄러에게 실행 흐름이 넘어올 때마다, 스케줄러는 RUNNABLE한 프로세스가 존재하는 큐 중 가장 레벨이 높은 큐를 선택해야 합니다.
- 각 큐는 독립적으로 다음을 수행해야 합니다.
  - 그 큐 내에서 이전에 마지막으로 실행한 프로세스가 아직 time quantum이 남아있다면 그 프로세스를 이어서 스케줄링합니다.
  - 그 큐 내에서 이전에 마지막으로 실행한 프로세스가 자신의 time quantum을 모두 사용했다면, priority가 가장 높은 프로세스를 선택하여 스케줄링합니다.
- i < k-1일 때, Li 큐에서 실행된 프로세스가 quantum을 모두 사용한 경우 Li+1 큐로 내려가고, 실행 시간을 초기화합니다.
- Lk-1 큐에서 실행된 프로세스가 quantum을 모두 사용한 경우 해당 프로세스는 이후 priority boosting이 되기 전까지 다시 스케줄링되지 않습니다.

Specification - MLFQ

- yield나 sleep 시스템 콜을 사용한 경우 해당 프로세스는 작업을 마친 것으로 간주하여 L0 큐로 올라가며 실행 시간도 초기화됩니다.
- 100 ticks가 지날 때마다 모든 프로세스들을 L0 큐로 올리는 priority boosting을 구현해야 합니다.
  - 단, 같은 큐 내에서의 우선순위를 정하는 priority 값은 바꾸지 않습니다.
  - Boost된 프로세스의 실행 시간은 초기화됩니다.
- 또한, 스케줄링될 수 있는 프로세스가 존재하지 않는 경우에도 곧바로 priority boosting을 수행합니다.

Specification - common

- 모든 preemption은 10ms(1tick)안으로 일어나면 됩니다.
- Coding Convention은 xv6코드의 기본적인 형태를 따릅니다. (들여쓰기, 중괄호의 위치 등)
- 구현의 편의성을 위해 cpu의 개수는 하나임을 가정합니다.
  - 테스트를 할 때는 make의 인자로 CPUS=1을 주거나, qemu의 옵션으로 –smp=1을 주고 테스트하시면 됩니다.

Required system calls

- 다음의 시스템 콜들은 반드시 정해진 명세대로 구현하여야 합니다.
- yield: 다음 프로세스에게 cpu를 양보합니다.
  - **void yield(void)**
- getlev: MLFQ 스케줄러일 때, 프로세스가 속한 큐의 레벨을 반환합니다(0 … k-1).
  - **int getlev(void)**
- setpriority: MLFQ 스케줄러일 때, pid를 가지는 프로세스의 우선순위를 priority로 설정합니다.
  - **int setpriority(int pid, int priority)**
  - priority 설정에 성공한 경우 0을 반환합니다.
  - pid가 존재하지 않는 프로세스이거나, 자신의 자식 프로세스가 아닌 경우 -1을 반환합니다.
  - priority가 0 이상 10 이하의 정수가 아닌 경우 -2를 반환합니다.

Compile

- 컴파일은 기존의 xv6와 같이 make를 통해 이루어지며, 기존에 제공되던 옵션들은 동일하게 제공되어야 합니다.
- make의 인자로 어떠한 스케줄링 정책을 사용할지 결정됩니다.
  - SCHED_POLICY=MULTILEVEL_SCHED|MLFQ_SCHED
  - MLFQ인 경우 MLFQ_K의 값이 추가로 주어집니다.
  - Ex) make SCHED_POLICY=MLFQ_SCHED MLFQ_K=3 CPUS=1 -j
- make의 인자로 컴파일시 코드를 분기하는 예제를 참조하시기 바랍니다.

평가지표

평가 기준은 다음과 같으며, 각 스케줄러 명세의 일부분을 완성하였다면 부분점수가 주어집니다.

평가 기준	배점
Multilevel Queue	30
MLFQ	50
Wiki	20
Total	100

평가

- **Completeness**: 명세의 요구조건에 맞게 xv6가 올바르게 동작해야 합니다.
- **Defensiveness**: 발생할 수 있는 예외 상황에 대처할 수 있어야 합니다.
- **Wiki&Comment**: 테스트 프로그램과 위키를 기준으로 채점이 진행되므로 위키는 최대한 상세히 작성되어야 합니다.
- **Deadline**: 데드라인을 반드시 지켜야 하며, 데드라인 이전 마지막으로 commit/push된 코드를 기준으로 채점됩니다.
- **Do NOT copy or share your code.**

Wiki

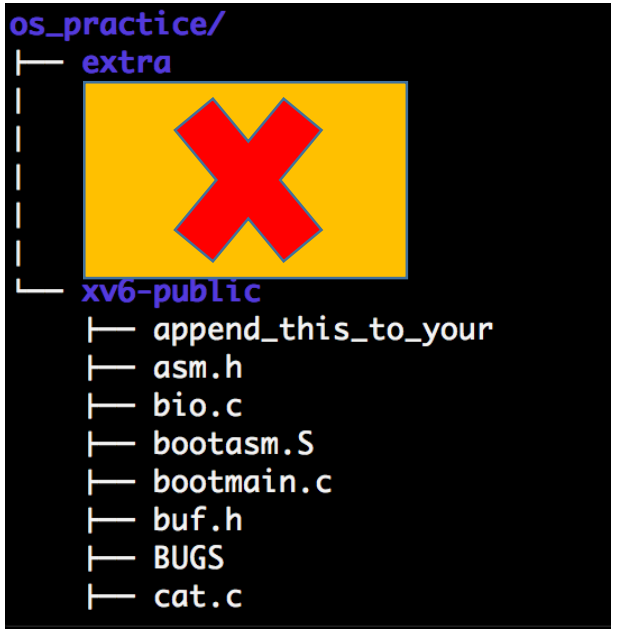
- Wiki에는 다음의 항목들이 서술되어야 합니다.
  - **디자인**: 각 스케줄러를 어떻게 구현해야 하는지, 추가/변경되는 컴포넌트들이 어떻게 상호작용하는지, 이를 위해 어떠한 자료구조들이 필요한지 등을 서술합니다.
  - **구현**: 실제 구현과정에서 변경하게 되는 코드영역이나 작성한 자료구조 등에 대하여 서술합니다.
  - **실행 결과**: 각 스케줄러가 올바르게 동작하고 있음을 확인할 수 있는 실행 결과와 이에 대한 설명을 서술합니다.
  - **트러블슈팅**: 코드 작성 중 생겼던 문제와 이에 대한 해결 과정을 서술합니다.
- 스케줄러에 대한 유의미한 그래프나 구조도 등 위키를 풍부하게 만들어주는 요소에는 추가 점수가 있을 수 있습니다.

테스트 프로그램

- 작성한 스케줄러가 올바르게 동작하는지 테스트하기 위한 테스트 프로그램이 업로드 되었습니다.
- 이는 과제의 편의성을 위한 것으로 제공되는 테스트 프로그램 이외의 테스트가 존재할 수 있습니다.
- 테스트는 명세를 넘어가는 기능을 요구하지 않으며, 몇몇 예외상황에 대한 테스트는 있을 수 있습니다.

제출

- 제출은 Hanyang gitlab을 통해 이루어져야 합니다.
- 제출된 repository는 반드시 그림의 디렉토리 구조를 가져야 합니다. (os_practice가 repo폴더)
- xv6-public폴더의 이름이 지켜지면 되며, 파일이나 폴더가 추가되어도 상관없습니다.
- 채점은 과제 마감 시간 전에 마지막으로 commit 및 push된 버전을 기준으로 합니다. 만일을 위해 commit 내역을 삭제하지 않도록 해주시기 바랍니다.



Tips

- 프로세스의 정보를 담고 있는 struct proc 구조체는 반드시 ptable 위에서 직접 작업하는 것을 권장합니다. xv6 커널 코드의 많은 부분들이 ptable에 대해 직접 작업을 하기 때문에, struct proc의 복사본을 만들어서 작업하면 synchronization이 깨질 위험이 있습니다. ptable의 각 원소에 대한 포인터 등을 이용하여 프로세스의 리스트를 관리하세요.
- 테스트 프로그램에 주어지는 루프 횟수 등은 컴퓨터의 성능에 따라 굉장히 오랜 시간을 요구하거나 너무 빠르게 끝나 유의미한 결과를 얻기 어려울 수도 있습니다. 적절하게 변경하여 테스트하는 것을 권장합니다.

참고 자료

- Textbook
- 이론/실습 ppt
- MLFQ(http://pages.cs.wisc.edu/~remzi/OSTEP/cpu-sched-mlfq.pdf)