Process Synchronization

태그	OS
주차	5주차

목차

1. 프로세스 동기화(Synchronization)

- 프로세스의 실행 순서를 제어하고 동시에 접근할 수 없는 하나의 프로세스만 접근하게 하여 데이터의 일관성을 유지하는 과정

✅ **경쟁 상태(Race Condition)**

- 여러 프로세스들이 동시에 자원에 접근하는 상황에서 명령어 실행 순서에 따라 결과값이 달라질 수 있는 상황
- 자원의 일관성이 깨질 수 있음

✅ **임계 구역(Critical Section)**

- 공유 자원에 접근하는 코드 중 동시에 실행되면 문제가 발생하는 코드 구역
- 임계 구역 문제를 해결하기 위해 OS는 다음 조건을 만족해야 함
  1. **상호 배제(Mutual Exclusion)**
     - 임계 구역에는 단 하나의 프로세스만 진입 가능
  2. **유한 대기(Bounded Waiting)**
     - 모든 프로세스는 유한 시간 내에 임계 구역에 진입해야 함
  3. **진행(Progress)**
     - 임계 구역에 어떤 프로세스도 진입하지 않았다면, 진압하는 프로세스의 진행을 방해해선 안됨

1-1. 뮤텍스 락(Mutex Lock)

- 상호 배제를 위한 동기화 매커니즘

1) 구성

- `lock`: 임계 구역 진입 가능 여부를 표시하는 공유 자원
- `acquire()`: lock을 획득하는 함수
- `release()`: lock을 반환하는 함수

2) 동작

1. 공유 자원인 lock이 false일 때에만 임계 구역에 진입이 가능
2. 한 프로세스라도 임계구역에 진입하면 lock = true가 되어 다른 프로세스가 임계구역에 진입하지 못함

3. 임계구역의 코드가 종료되면 lock = false로 하여 다른 프로세스가 진입 가능하도록 함

3) 단점

- lock이 걸린 동안에는 임계 구역이 열릴 때 까지 임계 구역을 반복적으로 확인하는 **바쁜 대기(busy waiting)** 발생

4) 예시

```
global bool lock = false;

acquire() {
  while (lock == true); //busy waiting
  lock = true;
}

release() {
  lock = false;
}
```

```
acquire();
//임계 구역
release();
```

5) C언어 구현

```
#include <stdio.h>
#include <pthread.h>

pthread_mutex_t lock = PTHREAD_MUTEX_INITIALIZER;
volatile int sum = 0;

void *producer(void *arg) {
  pthread_mutex_lock(&lock);   // 뮤텍스 락 잠금
  for(int i = 0; i < 100000; i++) {
      sum++;                      // 임계 구역
    }
  pthread_mutex_unlock(&lock); // 뮤텍스 락 열림
```

```
  pthread_exit(NULL);
}

void *consumer(void *arg) {
  pthread_mutex_lock(&lock);   // 뮤텍스 락 잠금
  for(int i = 0; i < 100000; i++) {
      sum--;                      // 임계 구역
  }
  pthread_mutex_unlock(&lock); // 뮤텍스 락 열림

  pthread_exit(NULL);

}

int main() {
  pthread_t producer_tid, consumer_tid;

  pthread_create(&producer_tid, NULL, producer, NULL);
  pthread_create(&consumer_tid, NULL, consumer, NULL);

  pthread_join(producer_tid, NULL);
  pthread_join(consumer_tid, NULL);

  printf("sum: %d\n", sum);
  return 0;
}
```

1-2. 세마포어(Semaphore)

- 프로세스의 임계 구역 진입 여부 제어
- 뮤텍스와 달리 여러 프로세스가 임계 구역에 들어가도록 할 수 있음

1) 구성

- `S`: 진입 가능한 프로세스의 개수를 나타내는 전역변수
- `wait()`: 임계 구역에 진입하면서 `S`를 1 감소하는 함수 (acquire과 유사)
- `signal()`: 임계 구역에서 나오면서 `S`를 1 증가하는 함수 (release와 유사)

2) 동작

1. 프로세스가 `wait()` 함수를 호출할 때 마다 임계 구역에 진입할 수 있는 프로세스의 수인 `S`를 확인하고, `S`가 0이라면 `S`가 증가할 때 까지 반복하여 확인
2. `S`가 0보다 크다면 `S`를 1 감소시키고 임계구역에 진입 (P 연산)
    a. S가 음수인 경우 S가 양수가 될 때 까지 대기
3. 임계구역의 코드가 실행된 후 signal 함수를 호출해 `S`를 1 증가 (V 연산)
    a. S가 0이었다면 대기중인 스레드 중 하나를 깨움

3) 단점

- `wait()` 함수가 뮤텍스와 같이 바쁜 대기 상태이므로 CPU 성능을 저하시킬 수 있음
- 프로세스 상태변화의 오버헤드가 크므로 임계 구역이 짧을 땐 적절하지 않음
- deadlock, starvation 발생 가능

4) 해결

- `wait()` 함수에서 임계구역에 진입하지 못하면 프로세스를 대기상태로 만들고, signal 함수가 호출될 때 대기상태의 프로세스를 준비상태로 만들어 줌
- 대기상태의 프로세스는 CPU 자원을 사용하지 않으므로 작업 사이클의 낭비를 막을 수 있음

5) 예시

```
global int S = 2;

wait() {
  S--;
  if (S < 0) { // 현재 프로세스의 PCB를 대기 큐에 삽입
    sleep();   // 현재 프로세스를 대기 상태로 전환
  }
}

signal() {
  S++;
  if(S <= 0) { // 대기 큐에 있는 p 프로세스의 PCB 제거
    wakeup(p); // p 프로세스를 준비 상태로 전
```

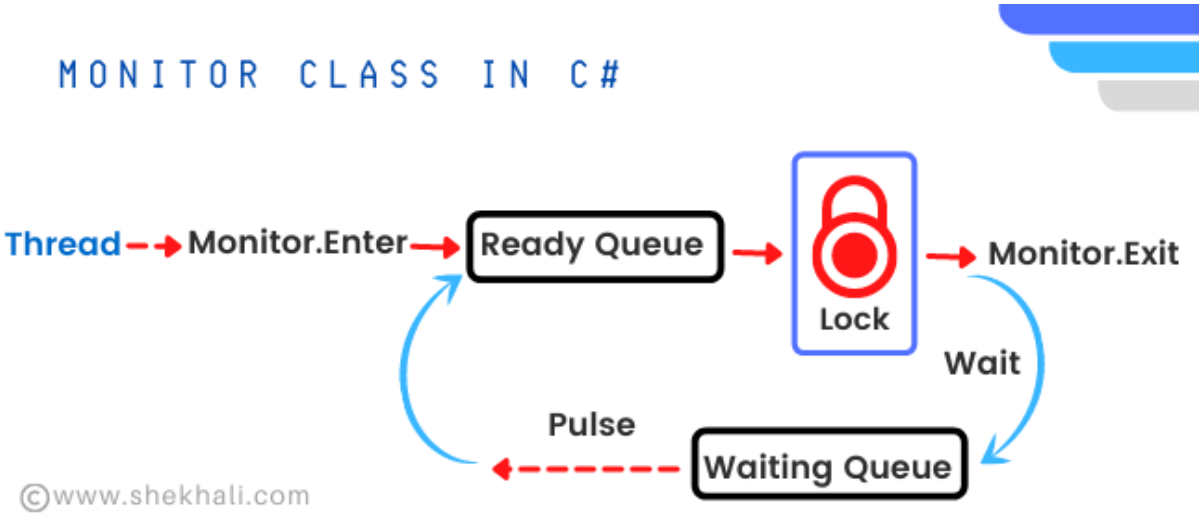
```
  }
}
```

```
wait();
//임계 구역
signal();
```

	뮤텍스	세마포어
공통점	동시에 실행되는 프로세스나 스레드 간에 공유된 자원을 보호하기 위해 사용 (두 기법은 경우에 따라 교차적으로 사용 가능)	"
차이점	- 자원의 사용 가능한 개수를 나타내는 변수를 가짐 - 여러 개의 스레드가 동시에 자원을 사용할 수 있는지 결정	- 상호배제(mutex)의 기능을 가짐 - 오직 하나의 스레드만 뮤텍스 보유
특징	여러 개의 스레드가 자원을 공유할 수 있는 경우에 사용	대개 하나의 자원을 보호하고자 할 때 사용

✅ Mutex와 Semaphore는 보통 프로그래밍 언어에서 지원되는 경우가 많아 직접 구현할 일이 많지 않음!

1-3. 모니터(Monitor)



1) 개요

- 객체지향 언어의 `class`와 같은 추상 데이터 타입(ADT, abstract data type)
- 공유자원과 인터페이스를 하나로 묶어 세마포어의 불편함을 해소한 동기화 도구
  - 세마포어는 임계구역 앞뒤로 `wait()`과 `signal()` 함수를 직접 호출해야 하므로 불편
- 하나의 프로세스 내 다른 스레드 간의 동기화에 사용
- 라이브러리 혹은 프레임워크가 제공 (하이레벨 언어로 제공)

2) 특징

- 모든 모니터는 하나의 mutex lock과 하나의 condition variable을 가짐
- 한번에 하나의 프로세스만 모니터 개체 내에 프로시저 사용 가능
  - 모니터에 접근하지 못한 프로세스는 entry queue에서 대기(상호 배제)
- 모니터 개체 내 공유 자원은 직접 접근할 수 없으며 프로시저를 통해서만 가능(정보 은닉)

3) 구성 요소

1. **Mutex Lock**: critical section에서 mutual exclusion을 보장하는 장치
   - mutex lock을 획득해야 critical section에 진입 가능
   - mutex lock을 획득하지 못한 스레드는 큐에 들어가 대기(waiting) 상태로 전환
   - 자바에서는 synchronized 예약어가 이를 담당
2. **Conditaion Variables**
   - 조건이 충족되길 기다리는 스레드들이 대기상태로 머무는 곳
   - 개념적으로는 모니터와 관련된 스레드의 waiting 큐를 관리하는 변수?
     - 이 큐에서 특정 상태가 true가 될 때 까지 기다림
   - **주요 동작(operation/method)**
     - wait: 스레드가 자기 자신을 대기열에 넣고 대기상태로 전환 (Java의 `wait()`)
     - signal: 대기열에서 대기중인 스레드를 하나 깨움 (Java의 `notify()`)
     - broadcast: 대기열에서 대기중인 스레드를 모두 깨움 (Java의 `notifyAll()`)
3. **2개의 큐** (배타동기 + 조건동기)

- Entry Queue: critical section에 진입을 기다리는 큐
  - 자바에서는 synchronized 블럭이나 메소드에 진입하려는 스레드는 여기에 들어감
- Waiting Queue: 조건이 충족되길 기다리는 큐
  - 자바에서는 wait() 메소드 호출 시 여기에 들어감
  - signal 호출 시(자바에서는 `notify()`) 탈출

4) 생산자-소비자 문제(Producer-consumer Problem)

- 한정 버퍼 문제(Bounded-buffer Problem)이라고도 함

1. 버퍼가 가득 차서 producer가 이를 계속 확인해야 하는 문제 ⇒ *오버플로우 방지해야 함*
2. 버퍼가 비어서 consumer가 이를 계속 확인해야 하는 문제 ⇒ *언더플로우 방지해야 함*

5) 자바에서의 Monitor

- `wait()`
  - synchronized 블록 내에서만 호출 가능
  - 모니터 lock을 쥐고 있는(synchronized 블록을 실행한) 스레드가 wait() 메소드를 호출하면, lock을 release하고 다른 스레드가 해당 lock을 취함
  - waiting queue로 진입
- `notify()`
  - 모니터락 객체에 `wait()`를 건 모든 스레드 중 임의로 하나를 깨움
  - waiting queue의 가장 앞 스레드 pop
- `notifyAll()`
  - `wait()` 걸린 모든 스레드를 깨움
  - waiting queue의 모든 스레드 pop

+) Monitor Java 예제

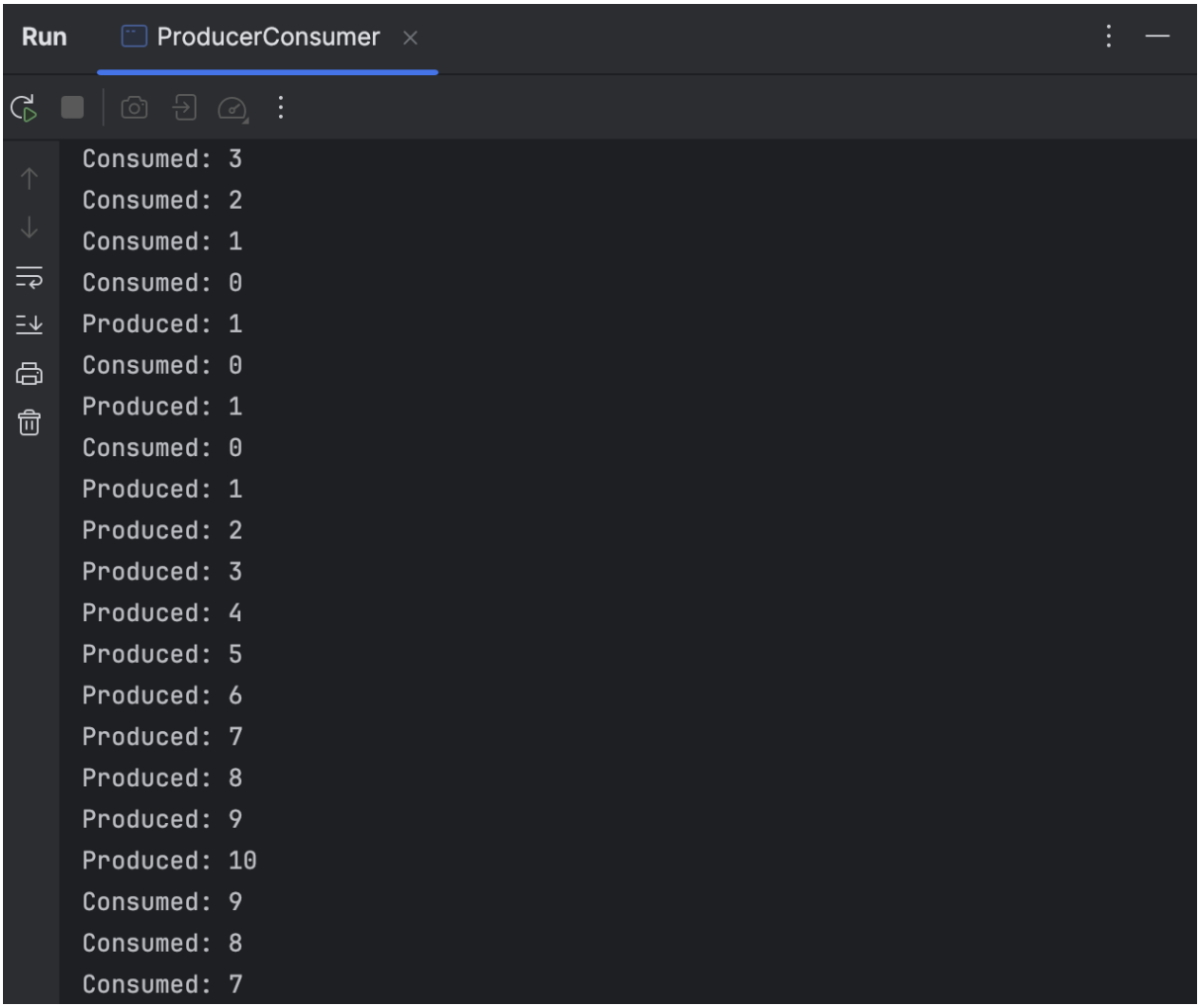
- synchronized 블록에 들어가는 순간 entry queue 진입
- `wait()` 메소드를 호출하는 순간 waiting queue 진입
  - 이후 `notify()` 메소드로 signal 받으면 탈출

- ProducerConsumer 클래스 내부 `produce()`, `consume()` 메소드의 while문에서 생산자-소비자 문제 해소

```
public class ProducerConsumer {

    private static final int MAX_COUNT = 10;
    private int count = 0;

    public synchronized void produce() throws InterruptedExce
        while (count == MAX_COUNT) {  // 조건 변수에 해당
            wait();              // 최대값에 도달하면 대기
        }
        count++;
        System.out.println("Produced: " + count);
        notify();
    }

    public synchronized void consume() throws InterruptedExce
        while (count == 0) {    // 조건 변수에 해당
            wait();              // 카운트가 0이면 대기
        }
        count--;
        System.out.println("Consumed: " + count);
        notify();
    }

    public static void main(String[] args) {
        final ProducerConsumer pc = new ProducerConsumer();

        // 생산자, 소비자 스레드 생성
        Thread producerThread = new ProducerThread(pc);
        Thread consumerThread = new ConsumerThread(pc);

        producerThread.start();
        consumerThread.start();
    }

}
```

```
class ProducerThread extends
    private final ProducerCo

    public ProducerThread(Pr
        this.pc = pc;
    }

    @Override
    public void run() {
        try {
            while (true) {
                pc.produce()
            }
        } catch (Interrupted
    }
}
```

```
class ConsumerThread extends
    private final ProducerCo

    public ConsumerThread(Pr
        this.pc = pc;
    }

    @Override
    public void run() {
        try {
            while (true) {
                pc.consume()
            }
        } catch (Interrupted
    }
}
```



실행 결과

☝🏻 **자바에서는 모든 객체가 모니터를 가지고 있음!**

임계 구역은 `synchronized` 키워드를 통해 설정할 수 있으며, 모니터를 가지는 스레드는 해당 객체에 락을 걸어 다른 스레드가 해당 객체에 접근할 수 없게 할 수 있다.