6장. 동기화 도구들 (Synchronization Tools)

순천향대학교 컴퓨터공학과
이 상 정

강의 목표 및 내용

- 목표
  - 프로세스 동기화의 기본 개념
  - 공유 데이터의 일관성을 보장하는데 적용되는 임계구역 (critical section) 문제를 소개
  - 임계 구역 문제에 대한 소프트웨어 및 하드웨어 해결책
- 내용
  - 배경
  - 임계구역 문제
  - 피터슨의 해결안
  - 동기화 하드웨어
  - Mutex Locks
  - 세마포
  - 모니터

배경 (Background)

- 공유 자료를 병행 접근(concurrent access)하면 자료의 불일치(data inconsistency)를 초래
  - 임의의 순간 인터럽트 발생으로 프로세스의 부분적인 실행
- 자료의 일관성(data consistency)을 유지하려면 협력적인 프로세스들(cooperating processes)의 바른 순서로 수행(orderly execution)을 보장하는 메커니즘이 필요

- 경쟁 상황(race condition)
  - 여러 개의 프로세스가 동일한 자료를 접근하여 조작하고, 그 실행 결과가 접근이 발생한 특정 순서에 의존하는 상황
  - 경쟁 상황으로부터 보호하기 위해 한 순간에 하나의 프로세스만이 공유 자료를 조작하도록 보장하도록 프로세스들을 동기화(synchronization)

생산자-소비자 문제 예 (1)

- BUFFER_SIZE 개까지 버퍼에 저장하도록 수정
  - 0으로 초기화되어 있는 counter라는 정수형 변수를 추가
  - 버퍼에 새 항목을 추가 시 counter 증가, 삭제 시 counter 감소

- 생산자 코드

```
while (true) {
     /* produce an item in next produced */
     while (counter == BUFFER_SIZE) ;
          /* do nothing */
     buffer[in] = next produced;
     in = (in + 1) % BUFFER_SIZE;
     counter++;
}
```

생산자-소비자 문제 예 (2)

- 소비자 코드

```
while (true) {
      while (counter == 0)
            ; /* do nothing */
      next_consumed = buffer[out];
      out = (out + 1) % BUFFER SIZE;
      counter--;
      /* consume the item in next consumed */
}
```


생산자-소비자 문제 경쟁 상황 (1)

- counter++ 기계어 수준 명령 구현

```
register1 = counter
register1 = register1 + 1
counter = register1
```

- counter-- 기계어 수준 명령 구현

```
register2 = counter
register2 = register2 - 1
counter = register2
```

생산자-소비자 문제 경쟁 상황 (2)

- counter 초기값이 5인 경우 "counter++"와 "counter—" 문장을 병행하게 실행하면 기계어 수준 명령들을 임의의 순서로 뒤섞어 순차적으로 실행

T_0 : 생산자가 $register_1$ = counter를 수행 {$register_1$ = 5}
T_1 : 생산자가 $register_1$ = $register_1$ + 1을 수행 {$register_1$ = 6}
T_2 : 소비자가 $register_2$ = counter를 수행 {$register_2$ = 5}
T_3 : 소비자가 $register_2$ = $register_2$ − 1을 수행 {$register_2$ = 4}
T_4 : 생산자가 counter = $register_1$을 수행 {counter = 6}
T_5 : 소비자가 counter = $register_2$를 수행 {counter = 4}

  - 부정확한 결과
    - 실제로 5개의 버퍼가 채워져 있지만 4개의 버퍼가 채워져 있는 것을 의미하는 "counter= = 4"인 부정확한 상태에 도달
    - T_4와 T_5의 문장 순서를 바꾸면, "counter = 6" 인 부정확한 상태에 도달

임계구역 문제 (Critical-Section Problem)

- n 개의 프로세스 {p_0, p_1, … p_{n-1}}
- 각 프로세스는 임계구역(critical section)이라고 부르는 코드 부분을 포함
  - 이 코드에서 다른 프로세스와 공유하는 변수의 변경, 테이블의 갱신, 파일 쓰기 등의 작업 수행
  - 한 프로세스가 자신의 임계 구역에서 수행하는 동안에는 다른 프로세스들이 그들의 임계구역에 들어 갈 수 없음
- 임계구역 문제는 이 문제를 해결하는 프로토콜을 설계하는 것
- 각 프로세스는 자신의 임계 구역으로 진입하려면 진입 허가 요청을 해야 함
  - 요청을 구현한 코드의 부분을 진입 구역(entry section), 임계 구역 뒤에는 퇴출 구역(exit section), 나머지 부분은 나머지 구역(remainder section)이라고 부름.

임계 구역

- 전형적인 프로세스 P_i의 일반적인 구조

```
do {
    entry section
        critical section
    exit section
        remainder section
} while (true);
```


임계 구역 문제에 대한 해결안

- 임계구역 문제 해결안은 다음의 세 가지 요구 조건을 충족해야 함
  1. 상호 배제 (mutual exclusion): 프로세스 P_i가 자기의 임계 구역에서 실행된다면, 다른 프로세스들은 그들 자신의 임계 구역에서 실행될 수 없음
  2. 진행 (progress): 자기의 임계 구역에서 실행되는 프로세스가 없고, 자신의 임계 구역으로 진입하려고 하는 프로세스들이 있다면 이들 프로세스들 중 임계 구역으로 진입을 선택하고, 이 선택은 무한정 연기될 수 없음
  3. 한정된 대기(bounded waiting): 프로세스가 자기의 임계 구역에 진입하려는 요청을 한 후부터 그 요청이 허용될때까지 다른 프로세스들이 그들 자신의 임계 구역에 진입이 허용되는 횟수에 제한이 있어야 함

운영체제의 임계구역 관리

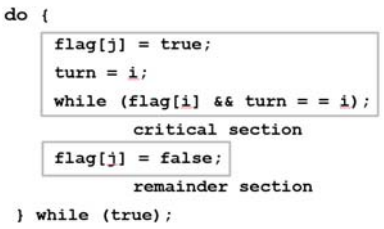
- 임계구역을 다루는 두 가지 일반적인 접근법 사용
  - 선점형(preemptive) 커널
    - 커널 모드에서 실행되고 있는 프로세스가 선점되는 것을 허용
  - 비선점형(non-preemptive) 커널
    - 커널 모드 프로세스가 커널 모드를 종료하거나 봉쇄(block)되거나, 자발적으로 CPU의 제어를 양보할 때까지 선점되지 않고 계속 실행
    - 커널 모드에서 경쟁 상황(race condition) 발생하지 않음
- 선점형 커널은 실시간 프로세스가 현재 커널에서 실행 중인 프로세스를 선점할 수 있기 때문에 실시간 프로그래밍에 더 적당
  - SMP에서는 서로 다른 CPU에 두 프로세스가 동시에 커널 모드에 있을 수 있기 때문에 선점형 커널 설계가 더 어려움

피터슨의 해결안(Peterson's Solution)

- 고전적인 소프트웨어 기반 해결책
  - 두 개의 프로세스로 한정
- load와 store 명령이 원자적(atomic)이라고 가정, 즉 인터럽트가 될 수 없음
- 두 프로세스가 공유하는 자료 항목
  - int turn;
  - boolean flag[2]
- 변수 turn은 임계 구역으로 진입할 순번을 나타냄
  - turn == i이면 프로세스 P_i가 임계 구역에서 실행
- flag 배열은 프로세스가 임계 구역으로 진입할 준비가 되었다는 것을 나타냄
  - flag[i]가 true이라면 이 값은 P_i가 임계 구역으로 진입할 준비가 되었다는 것을 나타냄

피터슨의 알고리즘 – 프로세스 P_i 의 알고리즘

```
do {
    flag[i] = true;
    turn = j;
    while (flag[j] && turn = = j);
            critical section
    flag[i] = false;
            remainder section
} while (true);
```



1. 상호 배제(mutual exclusion) 준수
2. 진행 (progress) 요구 조건 만족
3. 대기 시간이 한 없이 길어지지 않음 (bounded waiting)

동기화 하드웨어 (Synchronization Hardware)

- 많은 시스템에서 임계 구역 코드를 지원하는 하드웨어를 제공
  - 대부분 락킹(locking)에 기반하여 임계구역 보호
- 단일 처리기 환경에서는 공유 변수가 변경되는 동안 인터럽트 발생을 허용하지 않음으로써 간단히 해결
  - 현재 실행되는 코드가 선점(preemption)없이 순서적으로 실행
  - 다중 처리기 환경에서는 너무 비효율적
    - 인터럽트의 불능화 메시지를 모든 프로세서에 전달되게 하기 때문에 상당한 시간을 소비
- 많은 현대 기계들은 특별한 원자적(atomic) 하드웨어 명령어들을 제공
  - 원자적 (atomic) = 인터럽트 되지 않음 (non-interruptable)
  - 한 워드(word)의 내용을 검사하고 변경 명령어 (test and set instruction)
  - 두 워드의 내용을 원자적으로 교환 (swap instruction)

락(Lock)을 사용한 임계 영역 문제 해결

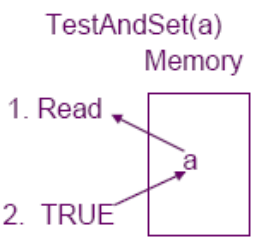
- 프로세스는 임계 영역 진입 전에 반드시 락(lock)을 획득
- 임계 영역 나올 때는 락을 방출

```
do {
        acquire lock
                critical section
        release lock
                remainder section
} while (TRUE);
```


test_and_set 명령어 정의

- 명령어가 원자적(atomically)으로 실행
  - 전달된 인수의 원래 값을 리턴
    - false 이면 임계영역 진입
  - 인수에 새로운 true 값을 지정
    - 다른 프로세스 임계영역 진입을 방지

```
boolean test_and_set (boolean *target)
  {
        boolean rv = *target;
        *target = true;
        return rv:
  }
```



test_and_set 명령어를 사용한 상호 배제 구현

- false로 초기화되는 lock이라는 공유 Boolean 변수를 선언하여 상호 배제를 구현
  - lock이 false 이면 임계영역 진입, true이면 대기
  - 임계영역 수행 후 다른 프로세스의 진입 허용 위해 lock을 false로 세트

```
do {
    while (test_and_set(&lock))
        ; /* do nothing */
            /* critical section */
    lock = false;
            /* remainder section */
 } while (true);
```


compare_and_swap 명령어 정의

- 명령어가 원자적(atomically)으로 실행
  - 인수 value의 원래의 값을 리턴
  - 인수 value의 값이 인수 expected와 같은 경우에는 인수 new_value 값으로 지정, 즉 value == expected인 경우에만 swap이 발생

```
int compare _and_swap(int *value, int expected, int new_value) {
    int temp = *value;

    if (*value == expected)
       *value = new_value;

    return temp;
}
```

compare_and_swap 명령어를 사용한 상호 배제 구현

- 공유 정수 변수 lock을 선언하고 0으로 초기화
  - lock이 expected(0)인 경우 임계영역 진입
    - 다른 프로세스 진입 방지를 위해 lock을 1로 세팅
  - 임계영역 수행 후 lock을 0으로 세팅하여 다른 프로세스 진입 허용

```
do {
        while (compare_and_swap(&lock, 0, 1) != 0)
        ; /* do nothing */
            /* critical section */
        lock = 0;
            /* remainder section */
    } while (true);
```


한정된 대기 조건을 만족하는 상호 배제 (1)

- test_and_set() 명령어를 사용하고, 한정된 대기 조건을 만족하는 상호 배제
  - 한 프로세스 i가 임계 구역 떠날 때 waiting 배열 순회
    (i+1, i+2, ……, n-1, 0, ……, i-1)
  - 순회 중 waiting [j]가 true인 첫번째 대기 프로세스가 임계 영역에 진입하고 waiting[j]는 false로 지정
  - 임계 영역에 진입하고자 하는 프로세스는 최대한 n-1 양보

한정된 대기 조건을 만족하는 상호 배제 (2)

```
do {
   waiting[i] = true;
   key = true;
   while (waiting[i] && key)
      key = test_and_set(&lock);
   waiting[i] = false;
   /* critical section */
   j = (i + 1) % n;
   while ((j != i) && !waiting[j])
      j = (j + 1) % n;
   if (j == i)   // 대기 중인 프로세스가 없는 경우
      lock = false;
   else  // 첫 번째 대기 중인 프로세스인 경우
      waiting[j] = false;
   /* remainder section */
} while (true);
```


뮤텍스 락 (Mutex Lock)

- 하드웨어를 기반(test_and_set과 compare_and_swap 명령어 등 사용) 해결안들은 응용 프로그래머가 사용하기에는 복잡
- 운영체제 설계자들은 임계 구역 문제를 해결하는 소프트웨어 툴을 구축
- 간장 간단한 방식이 상호 배제(mutual exclusion)를 제공하는 mutex 락
  - 먼저 락을 획득(acquire())한 후에 락을 해제(release())하여 임계 영역을 보호
  - 락의 가용 여부를 나타내는 Boolean 변수 사용
  - acquire(), release()의 호출은 원자적이어야 함
    - 하드웨어 원자적 명령어 사용하여 구현
  - 임계구역 진입 전 바쁜 대기(busy waiting) 사용
    - 이 락을 스핀락(spinlock) 이라고도 함

acquire()와 release()

```
acquire() {
    while (!available)
        ; /* busy wait */
    available = false;;
}
```

```
release() {
    available = true;
}
```

```
do {
    acquire lock
        critical section
    release lock
        remainder section
} while (true);
```


세마포 (Semaphore)

- 프로세스들을 동기화 시키는 (multex 락 보다) 좀 더 복잡한 동기화 툴
- 세마포 S는 정수 변수
- 두 개의 표준 원자적 연산 wait()와 signal()로만 세마포 접근
  - 원래는 P()와 V()라고 함
- wait()와 signal() 연산 시 세마포의 정수 값을 변경하는 연산은 반드시 원자적으로(분리되지 않고) 수행

wait()와 signal()의 정의

- 세마포의 값이 0이 되면 모든 자원이 사용 중임을 나타내고 이후 자원을 사용하려는 프로세스는 세마포 값이 0보다 커질 때까지 봉쇄됨

```
wait(S) {
    while (S <= 0)
        ; // busy wait
    S--;
}
```

```
signal(S) {
    S++;
}
```


세마포 사용

- 카운팅 세마포 (counting semaphore)
  - 제한 없는 영역(domain)을 정수값
- 이진 세마포 (binary semaphore)
  - 이진 세마포의 값은 0과 1사이의 값만 가짐
  - mutex 락과 동일
- 다양한 동기화 문제들을 해결 가능
- S_1이 S_2 이전에 수행되어야 하는 프로세스 P_1과 P_2 예

Create a semaphore "**synch**" initialized to 0

```
P1:
    S1;
    signal(synch);
P2:
    wait(synch);
    S2;
```

세마포 구현

- 어떤 두 프로세스들도 동시에 같은 세마포를 가지고 wait()와 signal()을 수행하지 않음을 보장해야 함
  - 따라서 구현은 wait, signal 코드가 임계영역에 놓여야 하는 임계영역 문제가 된다.
- 임계영역 구현 시 바쁜 대기(busy waiting)를 사용하는 경우
  - 구현 코드가 짧음
  - 임계영역의 점유가 드물면 바쁜 대기는 거의 없게 됨
  - 많은 시간을 임계영역에 머물러 있는 응용들에는 좋은 해결 방법이 아님
    - 바쁜 대기는 다른 프로세스들이 생산적으로 사용할 수 있는 CPU 시간을 낭비
    - 프로세스가 락을 기다리는 동안 루프를 돌기 때문에 이런 유형의 세마포를 스핀락(spinlock)이라고도 함
    - 짧은 시간 락을 기다리는 경우 문맥 교환이 필요하지 않아 스핀락이 유용

바쁜 대기가 없는 세마포 구현 (1)

- 바쁜 대기 대신에 프로세스는 자신을 봉쇄하고(block) 프로세스를 세마포에 연관된 대기 큐(waiting queue)에 삽입
  - 프로세스의 상태를 대기 상태로 전환
  - 이 후에 제어가 CPU 스케줄러로 넘어가고, 스케줄러는 다른 프로세스를 실행하기 위하여 선택
- 대기 큐와 연관된 세마포의 자료
  - 세마포 값을 나타내는 정수 value
  - 대기 큐를 가리키는 포인터 리스트 list
- 세마포 관련 연산
  - block() 연산
    - 자기를 호출한 프로세스를 중지하고 대기 큐에 삽입
  - wakeup(P) 연산
    - 봉쇄된 프로세스 P의 실행을 재개
    - 대기 큐에서 프로세스를 제거하고 준비 완료 큐에 삽입

바쁜 대기가 없는 세마포 구현 (2)

```
typedef struct {
    int value;
    struct process *list;
} semaphore;
```

```
wait(semaphore *S) {
    S->value--;
    if (S->value < 0) {
        add this process to S->list;
        block();
    }
}
```

```
signal(semaphore *S) {
    S->value++;
    if (S->value <= 0) {
        remove a process P from S->list;
        wakeup(P);
    }
}
```


교착 상태 (Deadlock)와 기아 (Starvation)

- 교착 상태 (deadlock)
  - 두 개 이상의 프로세스들이, 오로지 대기중인 프로세스들 중 하나에 의해서만 야기될 수 있는 사건(signal() 연산 실행)을 무한정 기다리는 상황
  - 두 개의 프로세스 P_0과 P_1에서 1로 초기화된 세마포 S와 Q를 접근하는 시스템 예

P_0	P_1
wait(S);	wait(Q);
wait(Q);	wait(S);
.	.
.	.
.	.
signal(S);	signal(Q);
signal(Q);	signal(S);

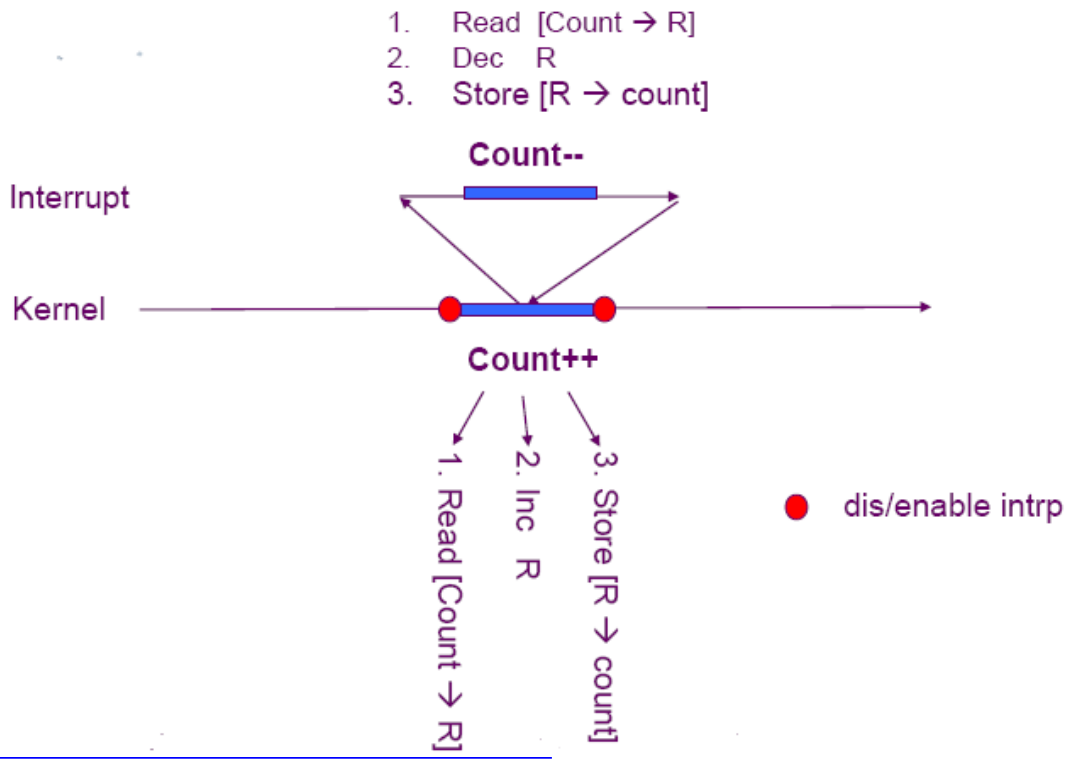
- 기아(starvation)
  - 교착 상태와 연관된 무한 봉쇄(indefinite blocking)
  - 프로세스들이 세마포에서 무한정 대기하는 것으로, 프로세스가 중지된 세마포 큐에서 제거되지 않음

임계 구역 문제 발생

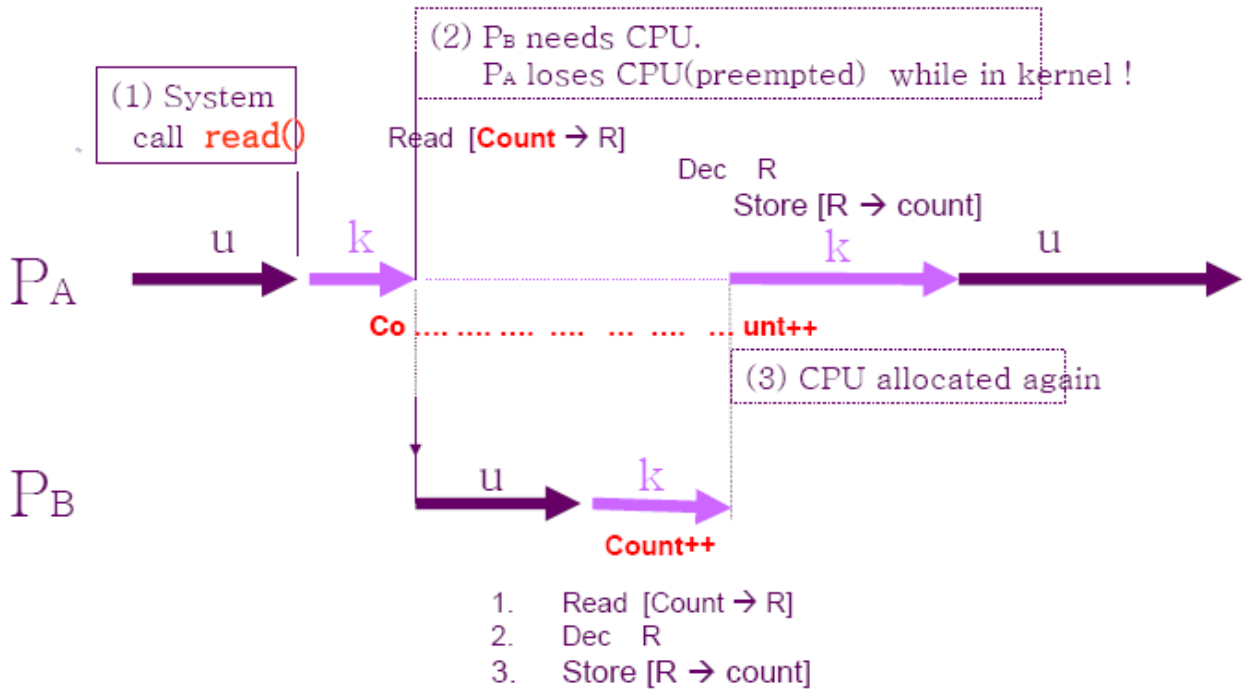
❑ 운영체제에서 임계 구역 문제가 언제 발생하는가?

1. 커널에서 인터럽트 루틴 처리
2. 프로세스가 커널에서 선점
   - 시스템 호출 중에 선점
3. 다중 처리기(multiprocessor)
   - 공유 메모리에서 커널 데이터

커널에서 인터럽트 루틴 처리

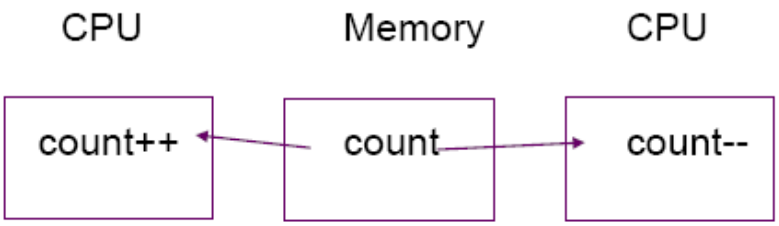


프로세스가 커널에서 선점



1. Read [Count → R]
2. Dec R
3. Store [R → count]

다중 처리기



세마포의 문제점

- 세마포를 이용하여 임계 구역 문제를 해결할 때 프로그래머가 세마포를 잘못 사용하면 다양한 유형의 오류가 너무나도 쉽게 발생
  - 상호 배제 요구 조건을 위반하거나, 교착 상태가 발생
  - 아래의 경우

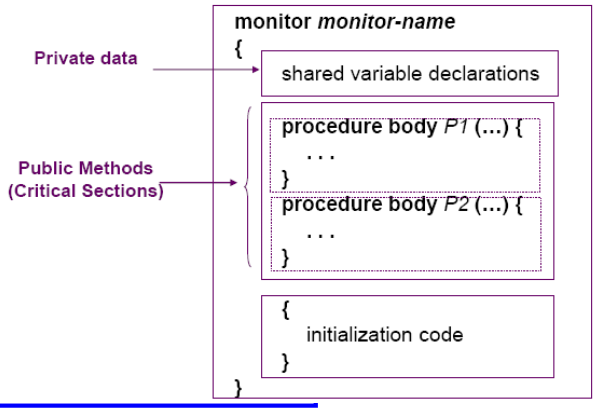
```
signal(mutex);
...
임계 구역
...
wait(mutex);
```

```
wait(mutex);
...
임계 구역
...
wait(mutex);
```

  - 프로세스에서 wait(mutex)나 signal(mutex) 또는 둘 다 생략된 경우

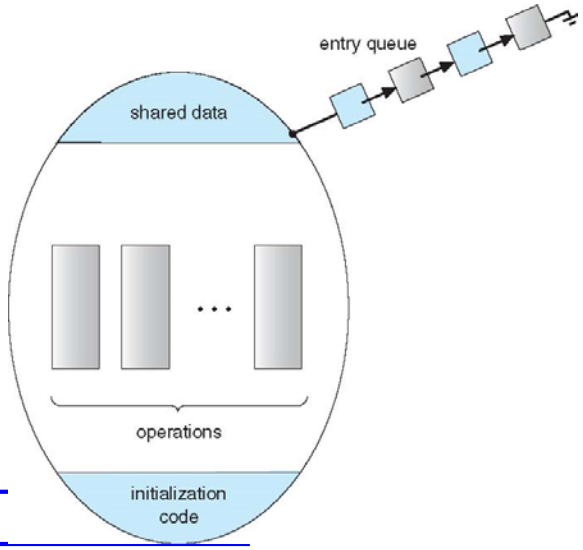
모니터 (Monitor)

- 모니터는 쉽고 효율적인 프로세스 동기화 수단을 제공하는 고급 언어수준의 동기화 구조물(high-level language synchronization construct)
  - 추상화된 데이터 형(abstract data type)을 안전하게 공유
    - 예) 자바의 객체
  - 데이터와 데이터를 조작하는 함수들을 하나의 단위로 묶어서 보호



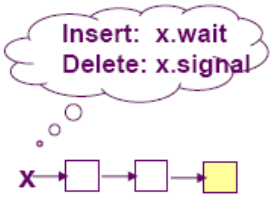
모니터 구조

- 모니터 구조물은 모니터 안에 항상 하나의 프로세스만이 활성화되도록 보장
  - 프로그래머가 모니터 내부에 상호 배제가 보장되는 연산자들의 집합을 정의

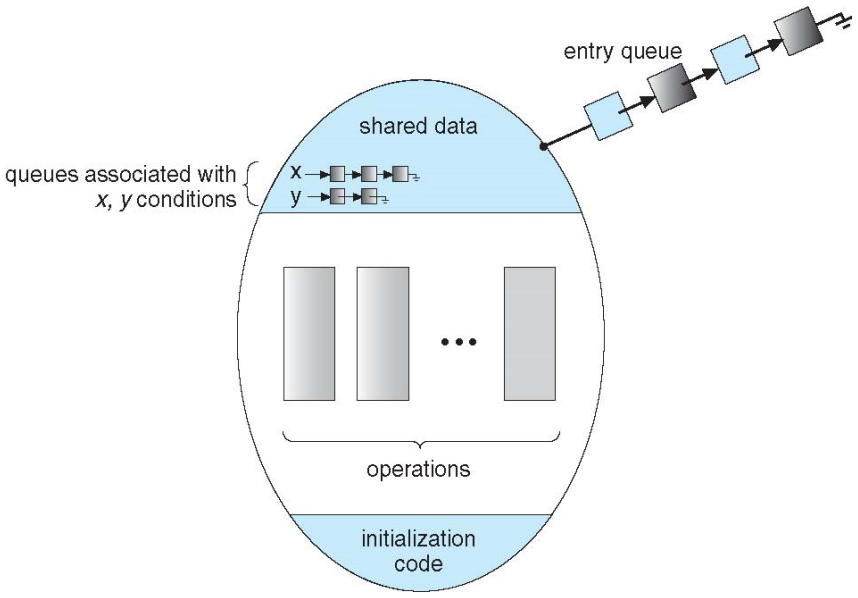


condition 형의 변수

- 모니터 내의 프로세스(연산자)들의 동기화를 위해 condition 변수 선언
  - condition x, y;
- condition 형 변수에 호출될 수 있는 연산은 오직 wait()와 signal()
  - x.wait() : 연산을 호출한 프로세스는 다른 프로세스가 x.signal()을 호출할 때까지 일시중단
  - x.signal() : 연산은 정확히 하나의 일시 중단 프로세스를 재개. 만약 일시 중단된 프로세스가 없으면, signal() 연산은 아무런 효과가 없음



조건 변수를 갖는 모니터



자바 모니터 – 스레드 동기화

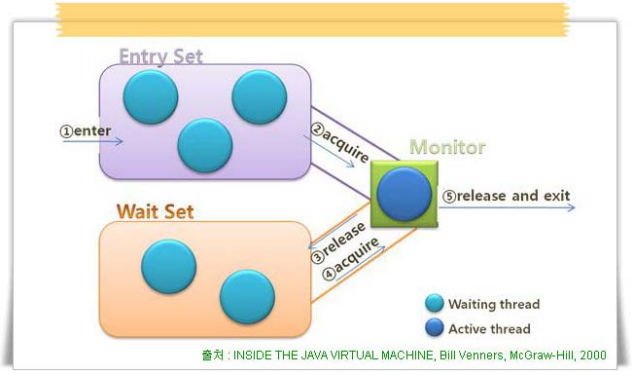
- 자바의 기본 스레드 동기화 모델은 모니터와 같은 병행성 기법 제공 (7.4.1절 참조)
  - 모든 객체들은 하나의 락(lock)과 연관
- 메서드 또는 객체의 블록에 synchronized 선언
  - 공유 데이터에 락을 설정
  - synchronized 메서드(블록)가 종료하면 락이 해제되어 다른 스레드가 접근 가능

```
public synchronized void  method() {
    ……..
}
```

```
synchronized(참조하는 객체 변수) {
    ……..
}
```

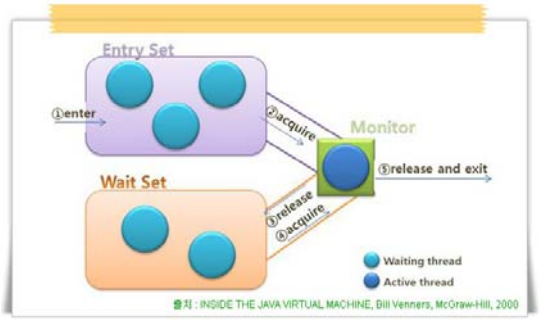
자바 스레드 동기화 모델

- 하나의 데이터(객체)마다 하나의 모니터를 결합
  - 결합된 데이터(객체)가 동시에 두 개 이상의 스레드에 의해 접근할 수 없도록 락(lock) 기능 제공
  - synchronized 메서드를 호출한 스레드는 봉쇄되어 객체의 락에 설정된 진입 집합(Entry Set)에 추가
    - 진입 집합은 락이 가용해지기를 기다리는 스레드의 집합
  - 락이 가용한 경우 호출 스레드는 객체 락의 소유자가 되어 메서드로 진입
  - 스레드가 메서드를 종료하면 락이 해제
    - 락이 해제될 때 진입 집합이 비어 있지 않으면 JVM은 집합에서 스레드를 임의오 선택하여 락을 부여



자바 조건 변수

- 언어 수준에서 자바는 기명 조건 변수를 지원하지 않음
- 자바의 모니터는 무명 조건 변수 하나에만 연결
  - wait()와 notify() 연산이 하나의 조건 변수에만 적용
  - 스레드가 wait() 메서드 호출 시 동작
    - 스레드가 객체의 락을 해제
    - 스래드 상태가 봉쇄(blocking)로 설정
    - 스레드가 대기 집합(Wait Set)에 삽입되어 대기
  - 스레드가 notify() 메서드 호출 시 동작
    - 대기 집합에서 임의의 스레드 T 선택
    - 스레드 T를 진입 집합으로 이동
    - T의 상태를 봉쇄에서 실행 가능으로 설정



은행 입출금 예 – 동기화 비적용

```
class monitorTest0 {
   public static void main(String[] args)
   throws InterruptedException {
        BankAccount b = new BankAccount();
        BankDeposit d = new BankDeposit(b);  // 입금 스레드
        BankWithdraw w = new BankWithdraw(b); // 출금 스레드

        d.start();  w.start();
        d.join();  w.join();
        System.out.println( "₩nbalance = " + b.getBalance());
   }
}

class BankAccount {
   int balance;
  void deposit(int amt) {    // 입금 메서드
        int temp = balance + amt;

        System.out.print("+");
        balance = temp;
   }
   // 출금 메서드
  void withdraw(int amt) {
        int temp = balance - amt;

        System.out.print("-");
        balance = temp;
   }

   int getBalance() {
        return balance;
   }
}
```



```
// 입금 스레드 클래스
class BankDeposit extends Thread {
   BankAccount b;

   BankDeposit(BankAccount b) {
        this.b = b;
   }

   public void run() {
        for (int i=0; i<100; i++)
          b.deposit(1000);
   }
}
```

```
// 출금 스레드 클래스
class BankWithdraw extends Thread {
   BankAccount b;

   BankWithdraw(BankAccount b) {
        this.b = b;
   }

   public void run() {
        for (int i=0; i<100; i++)
          b.withdraw(1000);
   }
}
```

```
bigdata@master:~/os$ javac monitorTest0.java
bigdata@master:~/os$ java monitorTest0
++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++
--------------------++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++
------------------------------+++--------------
balance = -71000
bigdata@master:~/os$ _
```

은행 입출금 예 – 동기화 적용

```
class monitorTest1 {
   public static void main(String[] args)
   throws InterruptedException {
        BankAccount b = new BankAccount();
        BankDeposit d = new BankDeposit(b);  // 입금 스레드
        BankWithdraw w = new BankWithdraw(b); // 출금 스레드

        d.start();  w.start();
        d.join();  w.join();
        System.out.println( "₩nbalance = " + b.getBalance());
   }
}

class BankAccount {
   int balance;
  synchronized void deposit(int amt) {    // 입금 메서드
        int temp = balance + amt;

        System.out.print("+");
        balance = temp;
   }
   // 출금 메서드
  synchronized void withdraw(int amt) {
        int temp = balance - amt;

        System.out.print("-");
        balance = temp;
   }

   int getBalance() {
        return balance;
   }
}
```



```
// 입금 스레드 클래스
class BankDeposit extends Thread {
   BankAccount b;

   BankDeposit(BankAccount b) {
        this.b = b;
   }

   public void run() {
        for (int i=0; i<100; i++)
          b.deposit(1000);
   }
}
```

```
// 출금 스레드 클래스
class BankWithdraw extends Thread {
   BankAccount b;

   BankWithdraw(BankAccount b) {
        this.b = b;
   }

   public void run() {
        for (int i=0; i<100; i++)
          b.withdraw(1000);
   }
}
```

```
bigdata@master:~/os$ javac monitorTest1.java
bigdata@master:~/os$ java monitorTest1
++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++----------
----------------------------++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++++
----------------------------++++++++++++++++++++
balance = 0
bigdata@master:~/os$
```

은행 입출금 예 – 조건 변수 동기화 적용

- 입금/출금을 반복 수행하도록 동기화

```
class monitorTest2  {
       .......
}

class BankAccount  {
   int balance;
   boolean d_turn = true;    // 입금/출금 순서 플래그

  synchronized void deposit(int amt) {    // 입금 메서드
        int temp = balance + amt;

        System.out.print("+");
        balance = temp;

        notify();              // 조건대기 출금 스레드 깨움
        d_turn = false;        // 출금 차례 지정
        try {             // 조건 대기
                wait();
        } catch (InterruptedException e) {}
    }
```



```
   synchronized void withdraw(int amt) {
        while (d_turn) {      // 입금차례이면 조건대기
           try {
                wait();
           } catch(InterruptedException e) {}
        }
        int temp = balance – amt;
        System.out.print("–");
        balance = temp;
        notify();             // 조건대기 입금 스레드 깨움
        d_turn = true;        // 입금 차례 지정
   }

   int getBalance() {
        return balance;
   }
}

class BankDeposit extends Thread {   // 입금 스레드 클래스
   .....
}
class BankWithdraw extends Thread {  // 출금 스레드 클래스
    ..........
}
```

```
bigdata@master:~/os$ javac monitorTest2.java
bigdata@master:~/os$ java monitorTest2
+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-
+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-
+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-
balance = 0
```

실습 과제 – 자바 모니터, 은행 입출금 예

- 앞의 자바 동기화의 은행 입출금 예 monitorTest0, 1,2 프로그램들을 작성하고 실행 분석