

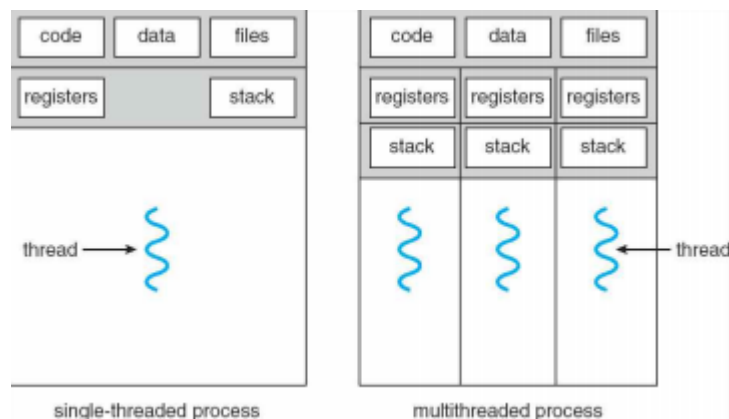
# Thread & Lock

- Thread : 하나의 실행흐름
- Lock : 접근 못하도록 하는 것

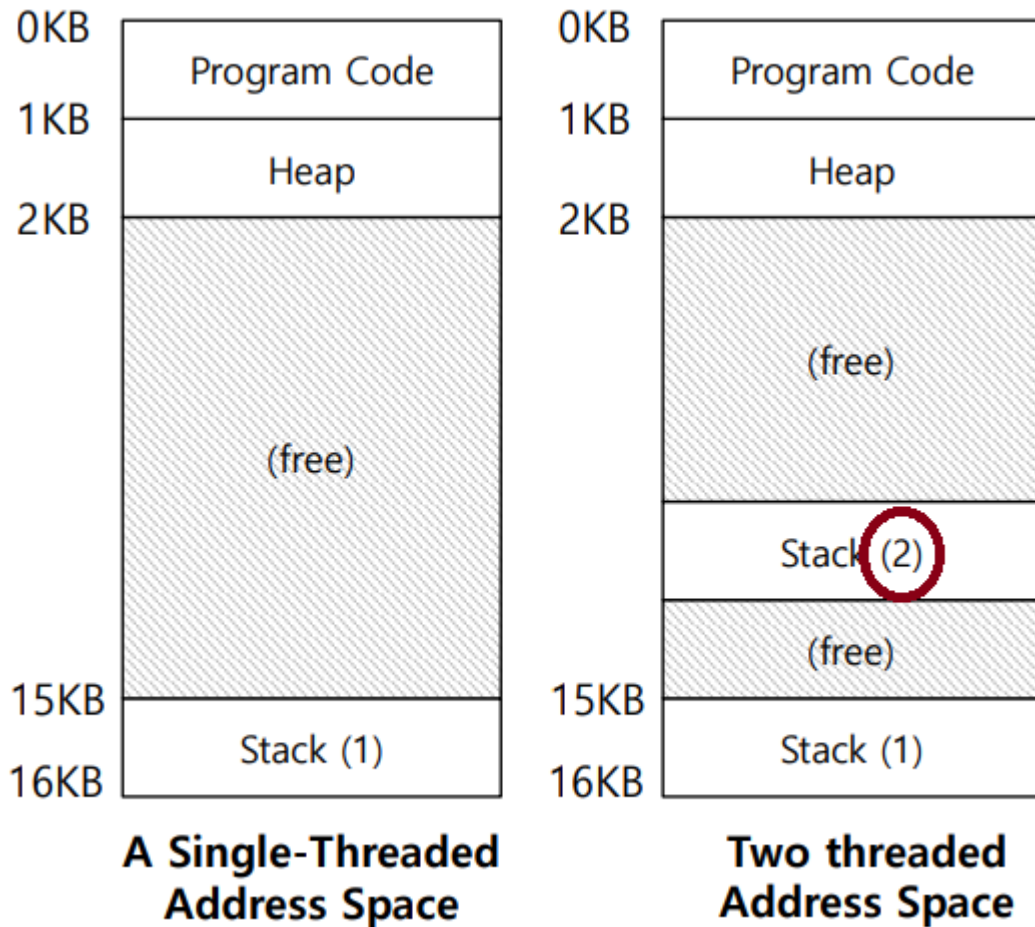
## Concurrency

### Thread

- Code, Data, Heap, Files를 공유하는 실행흐름들(즉, Address Space를 공유함)



- 스레드 별로 Ready / Running / Blocked 상태가 각각 있음
  - 리스트 형태로 스레드들의 상태 표현
  - 리스트의 노드는 TCB(Thread Control Block) / 레지스터,스택 포함
    - 프로세스 리스트의 PCB(Process Control Block)과 비슷한 개념
  - 스레드 차원에서의 Context Switch가 일어남
    - T1 -> T2 : T1의 레지스터를 저장하고, T2의 레지스터를 불러옴(Address Space는 유지)



- 스레드끼리 소통하는 법
  - 공유 자원인 전역변수로 소통
  - 프로세스끼리는 파일로 소통해야됨(느림)

## 장점

- 생성이 빠름
  - 프로세스 하나 : 무거움, 스레드 하나 : 가벼움
- I/O로 넘어갈 것 같을 때, 즉 Blocked 상태가 될 것 같을 때 다른 스레드로 넘기도록 할 수 있음

## 스레드 생성

- 스레드를 언제 생성할지는 코딩 단계에서 표현
  - 특정 함수 시작시 스레드 시작하도록 코딩
    - 어떤 함수를 호출하는지로 스레드 구분 가능

```

void *mythread(void *arg) {
    printf("%s\n", (char *) arg);
    return NULL;
}

int
main(int argc, char *argv[]) {
    pthread_t p1, p2;
    int rc;
    printf("main: begin\n");
    rc = pthread_create(&p1, NULL, mythread, "A"); assert(rc == 0);
    rc = pthread_create(&p2, NULL, mythread, "B"); assert(rc == 0);
    // join waits for the threads to finish
    rc = pthread_join(p1, NULL); assert(rc == 0);
    rc = pthread_join(p2, NULL); assert(rc == 0);
    printf("main: end\n");
    return 0;
}

```

- 스케줄러에 따라 그때그때 실행 흐름/순서가 달라짐

## Shared Data 문제

- 지역변수에 static을 선언해주면 수명이 전역으로 길어짐 -> 인스턴스가 하나
- **비결정적**인 결과를 내놓게됨(결과가 그때그때 달라짐)
- 발생 이유

OS	Thread 1	Thread 2	(after instruction)		
			PC	%eax	counter
	before critical section		100	0	50
	mov 0x8049a1c, %eax		105	50	50
	add \$0x1, %eax		108	51	50
	interrupt				
	save T1's state				
	restore T2's state		100	0	50
		mov 0x8049a1c, %eax	105	50	50
		add \$0x1, %eax	108	51	50
		mov %eax, 0x8049a1c	113	51	51
	interrupt				
	save T2's state				
	restore T1's state		108	51	51
	mov %eax, 0x8049a1c		113	51	51

- 두 스레드가 동시에 같은 공유 데이터에 접근 했을 때 문제 발생(**경쟁 상태**)
  - 실행 할 때마다 **결과가 달라짐**
  - Critical Section : 경쟁 상태가 나타날 수 있는 코드부분
- 해결법
  - **Atomicity** : 한번에 다 하거나 아예 안하거나
  - **Critical Section**이 쪼개지지 않도록 해야함
  - **Mutual Exclusion** : Critical Section에 하나의 스레드만 접근 허용하는 것

## Atomicity

- Super Instruction 만들기
  - 해당 코드를 **Atomic한 Instruction**으로 만들어버리는 것
  - 현실적이지 못함 : 경우의 수가 너무많고, 더 Generic한 Form이 필요

- 인터럽트 꺼버리기
  - Context Switch를 못하게 하는 것
  - 간단하지만 **너무 오래동안 꺼버리면 문제 발생**
- Mutual Exclusion API 사용하기
  - **Lock**, Semaphore, Conditional Value

## Thread API

- **Process** 'fork' : **Thread** 'pthread\_create'

## Locks

- Critical Section을 하나의 명령을 수행하는 것처럼 보이도록 하는 장치
  - lock 변수(전역 변수) : Available(unlocked, 0) / Acquired(locked, 1) 두가지의 상태 표시

## API

```
int pthread_mutex_lock(pthread_mutex_t *mutex);
int pthread_mutex_unlock(pthread_mutex_t *mutex);
```

- lock : 매개변수로 주어진 변수를 lock하는 개념
  - 여기서 lock을 못 얻으면 대기상태로 들어감
- unlock : 매개변수로 주어진 변수를 unlock하는 개념
  - 다른 스레드는 대기하도록 함

```
int pthread_mutex_trylock(pthread_mutex_t *mutex);
int pthread_mutex_timedlock(pthread_mutex_t *mutex,
                             struct timespec *abs_timeout);
```

- trylock : lock을 못 얻으면 에러 발생

## Building a Lock

- 하드웨어 / 운영체제 지원의 콜라보레이션으로 만들어야함
- 문제점 : Lock의 크기
  - Coarse-grained lock : 큰 critical section, lock 하나 사용
    - 간단하지만, parallelism 문제
  - Fine-grained lock : 작은 critical section, lock 여러개 사용
    - parallelism 지원하지만, 복잡함

## Evaluating a Lock

- Mutual Exclusion : Lock이 제대로 작동하는지
- Fairness : 계속해서 **오래동안 기다리는** 스레드가 있는지
- Performance : Lock을 사용함으로써 생기는 Overhead의 양
- Progress(deadlock-free) : 동시에 여러 요청을 받았을때 한 스레드만 허가받아야함
- Bounded Wait : 대기하고 있는 스레드들 모두 결과적으로 enter해야함

## Controlling interrupts

### Disable Interrupt

- lock 할 때 인터럽트를 끄고, unlock 할 때 인터럽트를 켜는 방법
- 장점 : 간단함
- 단점
  - 하나의 CPU에서만 작동함(Context Switch일때만 경쟁조건 발생, Concurrent Execution일 때는 발생X)
  - 긴 시간동안 disable할 경우 lost interrupt 발생
  - 비효율적(느림)
  - 독점 / 무한루프에 빠질 가능성

### SW-Only Approach

- Dekker's algorithm, Peterson's algorithm
- 장점 : 소프트웨어적 해결법임
- 단점
  - 이해하기 쉽지않음
  - 비효율적임
  - Relaxed memory consistency model을 사용하는 현대 시스템에서 틀림

### Using HW atomic operations

- Simple Flag : Flag가 0이면 1로 바꿈, 1이면 0으로 변할때까지 기다림

```
1  typedef struct __lock_t { int flag; } lock_t;
2
3  void init(lock_t *mutex) {
4      // 0 → lock is available, 1 → held
5      mutex->flag = 0;
6  }
7
8  void lock(lock_t *mutex) {
9      while (mutex->flag == 1) // TEST the flag
10         ; // spin-wait (do nothing)
11     mutex->flag = 1; // now SET it !
12 }
13
14 void unlock(lock_t *mutex) {
15     mutex->flag = 0;
16 }
```

- 동시에 Critical Section 진입 가능 => Mutual Exclusion X

## Thread1

```
call lock()
while (flag == 1)
interrupt: switch to Thread 2
```

## Thread2

```
call lock()
while (flag == 1)
flag = 1;
interrupt: switch to Thread 1
```

- Spin-Waiting 시간때문에 시간낭비 발생
  - 계속해서 flag의 값을 확인하는 것 : CPU가 쓸데없는 일을 하고있는 것
- 하드웨어가 지원하는 **Atomic Instruction** 필요

- **Naive Approach**

- ./x86.py -p flag.s -t 1 -M count,flag -R ax -a bx=2 -c : 스레드가 하나일때 = 이상없음
- ./x86.py -p flag.s -t 2 -i 2 -r -M count,flag -R ax -c : 결과는 맞지만 Critical Section 동시에
- ./x86.py -p flag.s -t 2 -P 0011011 -M count,flag -R ax -c : 결과와 과정 다 틀림

- Test-and-Set Instruction(Atomic Exchange), spin lock

```
1  int TestAndSet(int *ptr, int new) {
2      int old = *ptr;  // fetch old value at ptr
3      *ptr = new;      // store 'new' into ptr
4      return old;      // return the old value
5  }
```

- ptr에 있던 값을 리턴하고, 동시에 new값으로 업데이트
- atomic하게 수행됨

```
1  typedef struct __lock_t {
2      int flag;
3  } lock_t;
4
5  void init(lock_t *lock) {
6      // 0 indicates that lock is available,
7      // 1 that it is held
8      lock->flag = 0;
9  }
10
11 void lock(lock_t *lock) {
12     while (TestAndSet(&lock->flag, 1) == 1)
13         ; // spin-wait
14 }
15
16 void unlock(lock_t *lock) {
17     lock->flag = 0;
18 }
```

- CPU 하나에서 정상적으로 돌아가려면 **선매권 있는**(preemptive) 스케줄러 필요

- Spin Lock의 평가

- Correctness : **Yes**
  - 한번에 하나의 스레드만 Critical Section 진입 가능
- Fairness : **No**
  - 공평성을 제어할 장치가 없음
  - Spin하고 있는 스레드는 평생 Spin할 수도 있음
- Performance
  - 하나의 CPU에서는 Overhead가 큼
  - 스레드의 수가 CPU의 수와 비슷할 때는 좋은 편

- Test&Set

- ./x86.py -p test-and-set.s -t 4 -R ax -M count -c -i 2 -r -S -v -a bx=100 -s 2000 | grep '1006 mov'
- 결과는 맞지만 **Unfair**함(들쭉날쭉)

- Compare-and-Swap

```
1  int CompareAndSwap(int *ptr, int expected, int new) {
2      int actual = *ptr;
3      if (actual == expected)
4          *ptr = new;
5      return actual;
6  }
```

### Compare-and-Swap hardware atomic instruction (C-style)

```
1  void lock(lock_t *lock) {
2      while (CompareAndSwap(&lock->flag, 0, 1) == 1)
3          ; // spin
4  }
```

### Spin lock with compare-and-swap

- ptr의 값이 expected와 같은지 확인
  - 같으면 ptr의 값을 new로 교체
  - 같던 안같던 ptr의 주소에 있던 값 반환

- Load-Linked / Store-Conditional

```
1  int LoadLinked(int *ptr) {
2      return *ptr;
3  }
4
5  int StoreConditional(int *ptr, int value) {
6      if (no one has updated *ptr since the LoadLinked to this address) {
7          *ptr = value;
8          return 1; // success!
9      } else {
10         return 0; // failed to update
11     }
12 }
```

### Load-linked And Store-conditional

- Store-Conditional : ptr의 주소가 **loadlinked** 된 후 ptr이 업데이트가 된 적이 없을 경우에만 진행

- 성공하면 1 반환, ptr을 value값으로 변경
  - 실패하면 0 반환, ptr을 업데이트 하지 않음
- ```
void lock(lock_t *lock) {
    while (1) {
        while (LoadLinked(&lock->flag) == 1)
            ; // spin until it's zero
        if (StoreConditional(&lock->flag, 1) == 1)
            return; // if set-it-to-1 was a success: all done
                    // otherwise: try it all over again
    }
}
```

- Fetch-and-Add

```
1  int FetchAndAdd(int *ptr) {
2      int old = *ptr;
3      *ptr = old + 1;
4      return old;
5  }
```

### Fetch-And-Add Hardware atomic instruction (C-style)

- ptr의 값을 반환하는 동시에 값을 1 증가시킴
- Ticket Lock
  - Fetch-and-Add로 구현 가능
  - **Fairness**를 고려한 방법, 모든 스레드가 진행하는 것을 확인

```
1  typedef struct __lock_t {
2      int ticket;
3      int turn;
4  } lock_t;
5
6  void lock_init(lock_t *lock) {
7      lock->ticket = 0;
8      lock->turn = 0;
9  }
10
11 void lock(lock_t *lock) {
12     int myturn = FetchAndAdd(&lock->ticket);
13     while (lock->turn != myturn)
14         ; // spin
15 }
16 void unlock(lock_t *lock) {
17     FetchAndAdd(&lock->turn);
18 }
```

- **Fetch&Add**

- x86.py -p ticket.s -t 4 -R ax -M count,ticket,turn -c -i 2 -r -S -v -a bx=100 -s 2000 | grep '1007 mov'

- 결과가 똑바로 나오고, Fair하게 진행됨

- Yield(CPU 포기하기)

- 내 차례가 아니면 바로 CPU 양보(Spin 최소화)
- 낭비하는 시간이 존재하긴 하지만(Yield를 판단하는 시간), Time Slice 전체를 낭비하진 않음



- 평가

- Mutual Exclusion : O
- Fairness : O
- Performance : 전보다 효율적이지만, 여전히 **overhead가 너무 많음**

- Blocking Locks

- Lock Spin을 하지 말고, Block해버리자
- park() : 스레드를 Run Queue에서 제거
- unpark() : 스레드를 Run Queue로 되돌려놓음

```
typedef struct {
    int lock;
    int guard;
    queue_t q;
} lock_t;

void acquire(lock_t *l) {
    while (TAS(&l->guard, 1) == 1);

    if (l->lock) {
        queue_add(l->q, gettid());
        l->guard = 0;
        park();          // blocked
    } else {
        l->lock = 1;
        l->guard = 0;
    }
}

void release(lock_t *l) {
    while (TAS(&l->guard, 1) == 1);

    if (queue_empty(l->q))
        l->lock=false;
    else
        unpark(queue_remove(l->q));
    l->guard = false;
}
```

- park() / unpark() 행위를 atomic 하게 만들기 위해 **guard**라는 작은 lock을 추가

- guard를 풀지 않고 park하게 되면, 경쟁조건 발생

| Thread 1 | in acquire()                                                  | Thread 2 | in release()                                                                |
|----------|---------------------------------------------------------------|----------|-----------------------------------------------------------------------------|
|          | if (l->lock) {<br>queue_add(l->q, gettid());<br>l->guard = 0; |          |                                                                             |
|          |                                                               |          | while (TAS(&l->guard, 1) == 1);<br>if (queue_empty(l->q))<br>l->lock=false; |
|          |                                                               |          | else                                                                        |
|          |                                                               |          | <b>unpark(queue_remove(l-&gt;q))</b> ;                                      |
|          | <b>park()</b> ;                                               |          |                                                                             |

- t1이 큐에는 스레드를 넣었지만 park 하기전에 t2에서 큐에있는 스레드를 unpark해버림
- setpark()를 사용해 해결해야함 : park할 때 이미 unpark됐으면 block 안함

```
void acquire(lock_t *l) {
    while (TAS(&l->guard, 1) == 1);
    if (l->lock) {
        queue_add(l->q, gettid());
        setpark() ;
        l->guard = 0;
        park() ;          // blocked
    } else {
        l->lock = 1;
        l->guard = 0;
    }
}
```

- guard도 작은 lock이기 때문에 spin이 발생하지만, 그 길이를 프로그래머가 알 수 있고, 짧기 때문에 무시 가능