

7. 고급 동기화 - concurrent.Lock

#0.강의/1.자바로드맵/5.자바-고급1편

- /LockSupport1
- /LockSupport2
- /ReentrantLock - 이론
- /ReentrantLock - 활용
- /ReentrantLock - 대기 중단
- /정리

LockSupport1

`synchronized`는 자바 1.0부터 제공되는 매우 편리한 기능이지만, 다음과 같은 한계가 있다.

`synchronized` 단점

- **무한 대기**: `BLOCKED` 상태의 스레드는 락이 풀릴 때 까지 무한 대기한다.
 - 특정 시간까지만 대기하는 타임아웃X
 - 중간에 인터럽트X
- **공정성**: 락이 돌아왔을 때 `BLOCKED` 상태의 여러 스레드 중에 어떤 스레드가 락을 획득할 지 알 수 없다. 최악의 경우 특정 스레드가 너무 오랜기간 락을 획득하지 못할 수 있다.

결국 더 유연하고, 더 세밀한 제어가 가능한 방법들이 필요하게 되었다.

이런 문제를 해결하기 위해 자바 1.5부터 `java.util.concurrent` 라는 동시성 문제 해결을 위한 라이브러리 패키지가 추가된다.

이 라이브러리에는 수 많은 클래스가 있지만, 가장 기본이 되는 `LockSupport`에 대해서 먼저 알아보자.

`LockSupport`를 사용하면 `synchronized`의 가장 큰 단점인 무한 대기 문제를 해결할 수 있다.

LockSupport 기능

`LockSupport`는 스레드를 `WAITING` 상태로 변경한다.

`WAITING` 상태는 누가 깨워주기 전까지는 계속 대기한다. 그리고 CPU 실행 스케줄링에 들어가지 않는다.

`LockSupport`의 대표적인 기능은 다음과 같다.

- `park()`: 스레드를 `WAITING` 상태로 변경한다.

- 스레드를 대기 상태로 둔다. 참고로 `park` 의 뜻이 "주차하다", "두다"라는 뜻이다.
- `parkNanos(nanos)` : 스레드를 나노초 동안만 `TIMED_WAITING` 상태로 변경한다.
 - 지정한 나노초가 지나면 `TIMED_WAITING` 상태에서 빠져나오고 `RUNNABLE` 상태로 변경된다.
- `unpark(thread)` : `WAITING` 상태의 대상 스레드를 `RUNNABLE` 상태로 변경한다.

LockSupport 코드

```
package thread.sync.lock;

import java.util.concurrent.locks.LockSupport;

import static util.MyLogger.log;
import static util.ThreadUtils.sleep;

public class LockSupportMainV1 {
    public static void main(String[] args) {
        Thread thread1 = new Thread(new ParkTask(), "Thread-1");
        thread1.start();

        // 잠시 대기하여 Thread-1이 park 상태에 빠질 시간을 준다.
        sleep(100);
        log("Thread-1 state: " + thread1.getState());

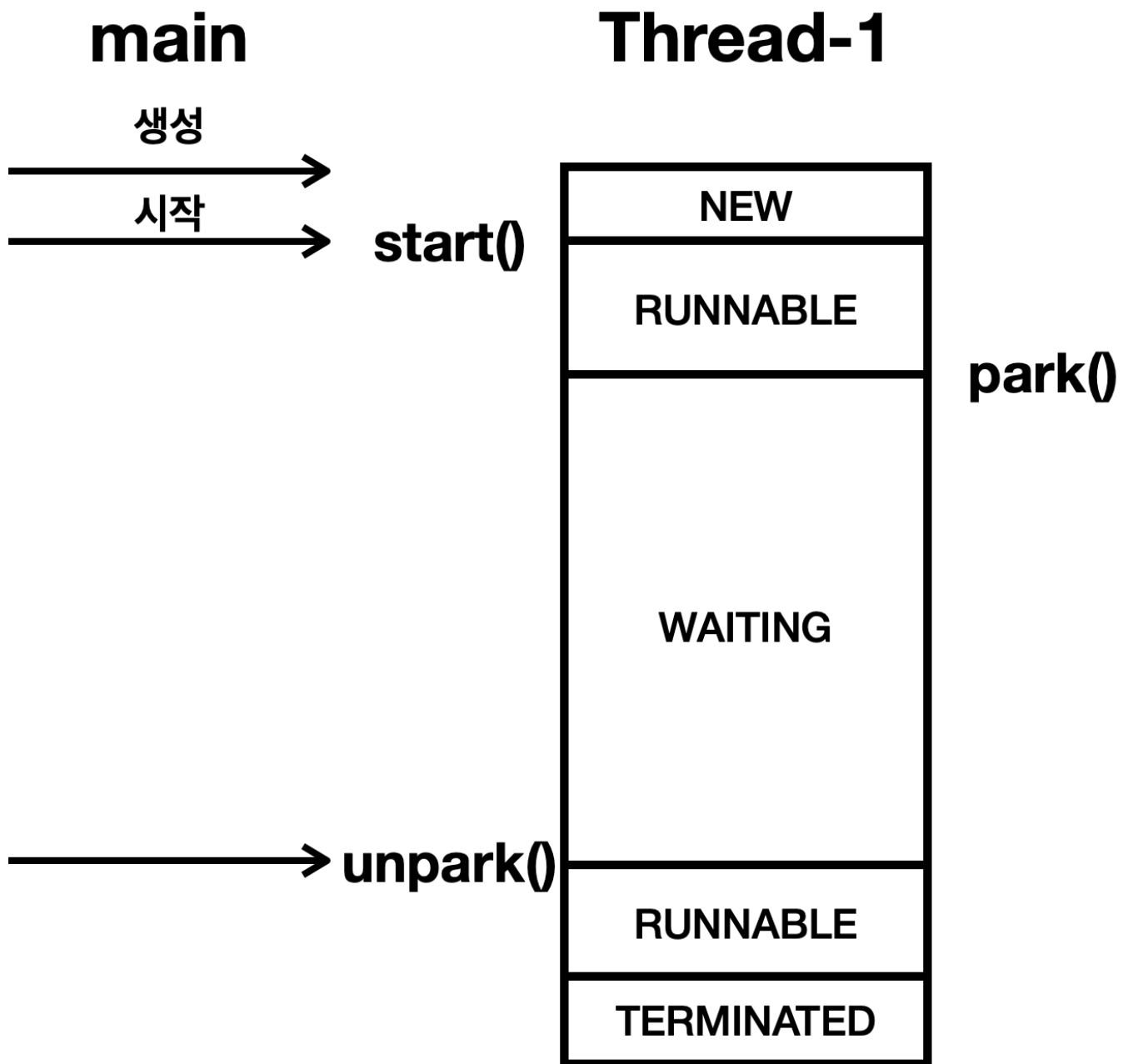
        log("main -> unpark(Thread-1)");
        LockSupport.unpark(thread1); // 1. unpark 사용
        //thread1.interrupt(); // 2. interrupt() 사용
    }

    static class ParkTask implements Runnable {
        @Override
        public void run() {
            log("park 시작");
            LockSupport.park();
            log("park 종료, state: " + Thread.currentThread().getState());
            log("인터럽트 상태: " + Thread.currentThread().isInterrupted());
        }
    }
}
```

실행 결과

```
09:58:16.802 [ Thread-1] park 시작
09:58:16.889 [      main] Thread-1 state: WAITING
09:58:16.889 [      main] main -> unpark(Thread-1)
09:58:16.889 [ Thread-1] park 종료, state: RUNNABLE
09:58:16.891 [ Thread-1] 인터럽트 상태: false
```

실행 상태 그림



- **main** 스레드가 **Thread-1**을 **start()** 하면 **Thread-1**은 **RUNNABLE** 상태가 된다.
- **Thread-1**은 **Thread.park()**를 호출한다. **Thread-1**은 **RUNNABLE** → **WAITING** 상태가 되면서 대기한다.

- `main` 스레드가 `Thread-1` 을 `unpark()` 로 깨운다. `Thread-1` 은 대기 상태에서 실행 가능 상태로 변한다.
 - `WAITING` → `RUNNABLE` 상태로 변한다.

이처럼 `LockSupport` 는 특정 스레드를 `WAITING` 상태로, 또 `RUNNABLE` 상태로 변경할 수 있다.

그런데 대기 상태로 바꾸는 `LockSupport.park()` 는 매개변수가 없는데, 실행 가능 상태로 바꾸는

`LockSupport.unpark(thread1)` 는 왜 특정 스레드를 지정하는 매개변수가 있을까?

왜냐하면 실행 중인 스레드는 `LockSupport.park()` 를 호출해서 스스로 대기 상태에 빠질 수 있지만, 대기 상태의 스레드는 자신의 코드를 실행할 수 없기 때문이다. 따라서 외부 스레드의 도움을 받아야 깨어날 수 있다.

인터럽트 사용

`WAITING` 상태의 스레드에 인터럽트가 발생하면 `WAITING` 상태에서 `RUNNABLE` 상태로 변하면서 깨어난다.

위 코드에 주석을 다음과 같이 변경해보자. 그래서 `unpark()` 대신에 인터럽트를 사용해서 스레드를 깨워보자.

```
//LockSupport.unpark(thread1); //1. unpark 사용
thread1.interrupt(); //2. interrupt() 사용
```

실행 결과

```
10:13:03.041 [ Thread-1] park 시작
10:13:03.131 [      main] Thread-1 state: WAITING
10:13:03.131 [      main] main -> unpark(Thread-1)
10:13:03.132 [ Thread-1] park 종료, state: RUNNABLE
10:13:03.134 [ Thread-1] 인터럽트 상태: true
```

실행 결과를 보면 스레드가 `RUNNABLE` 상태로 깨어난 것을 확인할 수 있다. 그리고 해당 스레드의 인터럽트의 상태도 `true` 인 것을 확인할 수 있다.

이처럼 `WAITING` 상태의 스레드는 인터럽트를 걸어서 중간에 깨울 수 있다.

LockSupport2

시간 대기

이번에는 스레드를 특정 시간 동안만 대기하는 `parkNanos(nanos)` 를 호출해보자.

- `parkNanos(nanos)` : 스레드를 나노초 동안만 `TIMED_WAITING` 상태로 변경한다. 지정한 나노초가 지나면 `TIMED_WAITING` 상태에서 빠져나와서 `RUNNABLE` 상태로 변경된다.
- 참고로 밀리초 동안만 대기하는 메서드는 없다. `parkUntil(밀리초)` 라는 메서드가 있는데, 이 메서드는 특정 에포크(Epoch) 시간에 맞추어 깨어나는 메서드이다. 정확한 미래의 에포크 시점을 지정해야 한다.

`LockSupportMainV1` 의 코드를 복사해서 `LockSupportMainV2` 를 만들고, 일부 코드를 다음과 같이 수정하자.

```
package thread.sync.lock;

import java.util.concurrent.locks.LockSupport;

import static util.MyLogger.log;
import static util.ThreadUtils.sleep;

public class LockSupportMainV2 {
    public static void main(String[] args) {
        Thread thread1 = new Thread(new ParkTask(), "Thread-1");
        thread1.start();

        // 잠시 대기하여 thread1이 park 상태에 빠질 시간을 준다.
        sleep(100);
        log("Thread-1 state: " + thread1.getState());
    }

    static class ParkTask implements Runnable {
        @Override
        public void run() {
            log("park 시작, 2초 대기");
            LockSupport.parkNanos(2000_000000); // parkNanos 사용
            log("park 종료, state: " + Thread.currentThread().getState());
            log("인터럽트 상태: " + Thread.currentThread().isInterrupted());
        }
    }
}
```

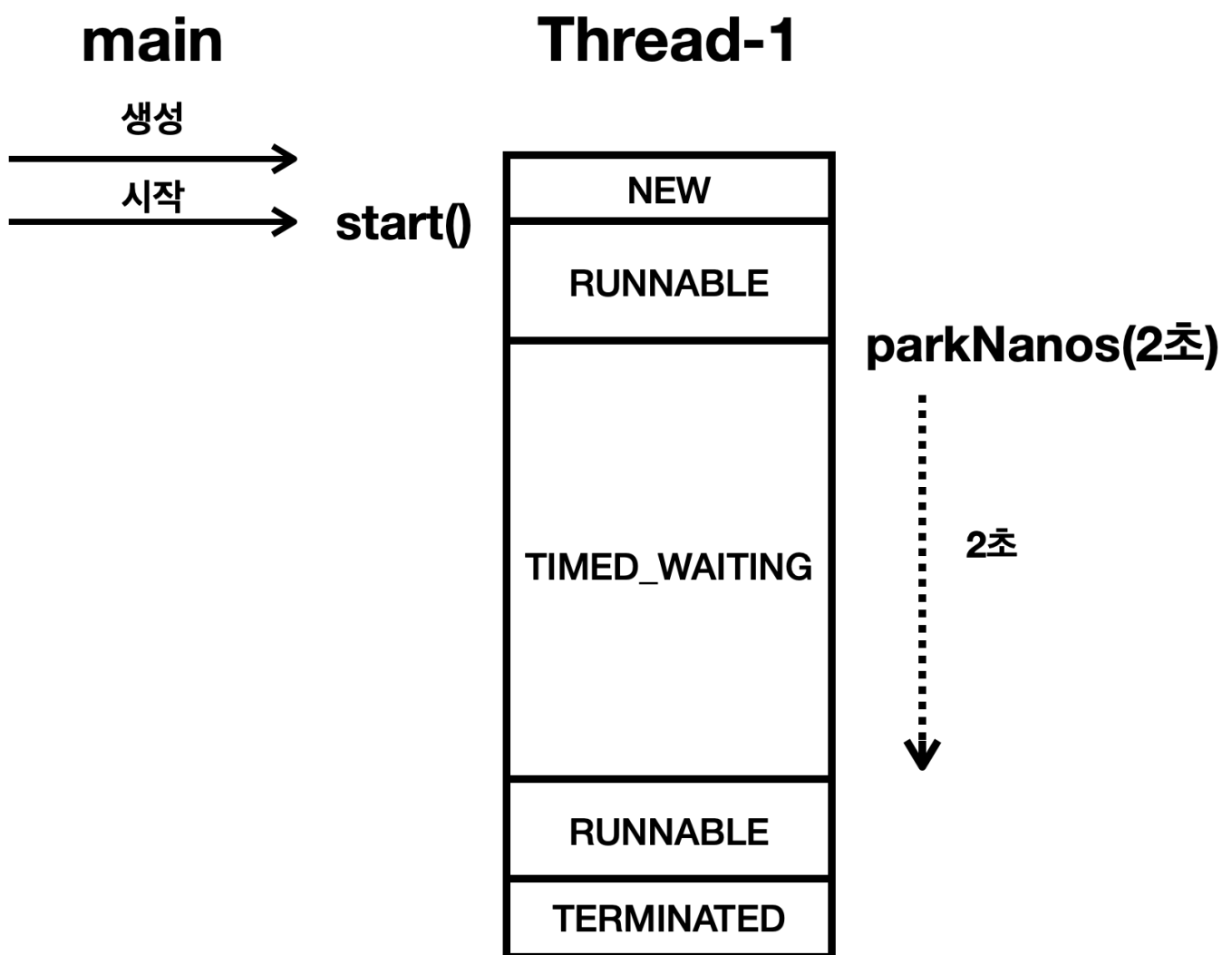
- 여기서는 스레드를 깨우기 위한 `unpark()` 를 사용하지 않는다.
- `parkNanos(시간)` 를 사용하면 지정한 시간 이후에 스레드가 깨어난다.
- 1초 = 1000밀리초(ms)

- 1밀리초 = 1,000,000나노초(ns)
- 2초 = 2,000,000,000나노초(ns)

실행 결과

```
10:15:09.534 [ Thread-1] park 시작, 2초 대기
10:15:09.624 [      main] Thread-1 state: TIMED_WAITING
10:15:11.539 [ Thread-1] park 종료, state: RUNNABLE
10:15:11.546 [ Thread-1] 인터럽트 상태: false
```

실행 상태 그림



- Thread-1은 `parkNanos(2초)`를 사용해서 2초간 `TIMED_WAITING` 상태에 빠진다.
- Thread-1은 2초 이후에 시간 대기 상태(`TIMED_WAITING`)를 빠져나온다.

BLOCKED vs WAITING

WAITING 상태에 특정 시간까지만 대기하는 기능이 포함된 것이 TIMED_WAITING이다. 여기서는 둘을 묶어서 WAITING 상태라 표현하겠다.

인터럽트

- BLOCKED 상태는 인터럽트가 걸려도 대기 상태를 빠져나오지 못한다. 여전히 BLOCKED 상태이다.
- WAITING, TIMED_WAITING 상태는 인터럽트가 걸리면 대기 상태를 빠져나온다. 그래서 RUNNABLE 상태로 변한다.

용도

- BLOCKED 상태는 자바의 synchronized에서 락을 획득하기 위해 대기할 때 사용된다.
- WAITING, TIMED_WAITING 상태는 스레드가 특정 조건이나 시간 동안 대기할 때 발생하는 상태이다.
- WAITING 상태는 다양한 상황에서 사용된다. 예를 들어, Thread.join(), LockSupport.park(), Object.wait()와 같은 메서드 호출 시 WAITING 상태가 된다.
- TIMED_WAITING 상태는 Thread.sleep(ms), Object.wait(long timeout), Thread.join(long millis), LockSupport.parkNanos(ns) 등과 같은 시간 제한이 있는 대기 메서드를 호출할 때 발생한다.

대기(WAITING) 상태와 시간 대기 상태(TIMED_WAITING)는 서로 짝이 있다.

- Thread.join(), Thread.join(long millis)
- LockSupport.park(), LockSupport.parkNanos(long nanos)
- Object.wait(), Object.wait(long timeout)

참고: Object.wait()는 뒤에서 다룬다.

BLOCKED, WAITING, TIMED_WAITING 상태 모두 스레드가 대기하며, 실행 스케줄링에 들어가지 않기 때문에, CPU 입장에서 보면 실행하지 않는 비슷한 상태이다.

- BLOCKED 상태는 synchronized에서만 사용하는 특별한 대기 상태라고 이해하면 된다.
- WAITING, TIMED_WAITING 상태는 범용적으로 활용할 수 있는 대기 상태라고 이해하면 된다.

LockSupport 정리

LockSupport를 사용하면 스레드를 WAITING, TIMED_WAITING 상태로 변경할 수 있고, 또 인터럽트를 받아서 스레드를 깨울 수도 있다. 이런 기능들을 잘 활용하면 synchronized의 단점인 무한 대기 문제를 해결할 수 있을 것 같다.

synchronized 단점

- **무한 대기:** BLOCKED 상태의 스레드는 락이 풀릴 때 까지 무한 대기한다.
 - 특정 시간까지만 대기하는 타임아웃X → `parkNanos()` 를 사용하면 특정 시간까지만 대기할 수 있음
 - 중간에 인터럽트X → `park()`, `parkNanos()` 는 인터럽트를 걸 수 있음

이처럼 `LockSupport` 를 활용하면, 무한 대기하지 않는 락 기능을 만들 수 있다. 물론 그냥 되는 것은 아니고 `LockSupport` 를 활용해서 안전한 임계 영역을 만드는 어떤 기능을 개발해야 한다. 예를 들면 다음과 같을 것이다.

```
if (!lock.tryLock(10초)) { // 내부에서 parkNanos() 사용
    log("[진입 실패] 너무 오래 대기했습니다.");
    return false;
}
//임계 영역 시작
...
//임계 영역 종료
lock.unlock() // 내부에서 unpark() 사용
```

락(lock)이라는 클래스를 만들고, 특정 스레드가 먼저 락을 얻으면 `Runnable` 로 실행하고, 락을 얻지 못하면 `park()` 를 사용해서 대기 상태로 만드는 것이다. 그리고 스레드가 임계 영역의 실행을 마치고 나면 락을 반납하고, `unpark()` 를 사용해서 대기 중인 다른 스레드를 깨우는 것이다. 물론 `parkNanos()` 를 사용해서 너무 오래 대기하면 스레드가 스스로 중간에 깨어나게 할 수도 있다.

하지만 이런 기능을 직접 구현하기는 매우 어렵다. 예를 들어 스레드 10개를 동시에 실행했는데, 그중에 딱 1개의 스레드만 락을 가질 수 있도록 락 기능을 만들어야 한다. 그리고 나머지 9개의 스레드가 대기해야 하는데, 어떤 스레드가 대기하고 있는지 알 수 있는 자료구조가 필요하다. 그래야 이후에 대기 중인 스레드를 찾아서 깨울 수 있다. 여기서 끝이 아니다. 대기 중인 스레드 중에 어떤 스레드를 깨울지에 대한 우선순위 결정도 필요하다.

한마디로 `LockSupport` 는 너무 저수준이다. `synchronized` 처럼 더 고수준의 기능이 필요하다.

하지만 걱정하지 말자! 자바는 `Lock` 인터페이스와 `ReentrantLock` 이라는 구현체로 이런 기능들을 이미 다 구현해 두었다. `ReentrantLock` 은 `LockSupport` 를 활용해서 `synchronized` 의 단점을 극복하면서도 매우 편리하게 임계 영역을 다룰 수 있는 다양한 기능을 제공한다.

ReentrantLock - 이론

자바는 1.0부터 존재한 `synchronized`와 `BLOCKED` 상태를 통한 임계 영역 관리의 한계를 극복하기 위해 자바 1.5부터 `Lock` 인터페이스와 `ReentrantLock` 구현체를 제공한다.

synchronized 단점

- **무한 대기:** `BLOCKED` 상태의 스레드는 락이 풀릴 때 까지 무한 대기한다.
 - 특정 시간까지만 대기하는 타임아웃X
 - 중간에 인터럽트X
- **공정성:** 락이 돌아왔을 때 `BLOCKED` 상태의 여러 스레드 중에 어떤 스레드가 락을 획득할 지 알 수 없다. 최악의 경우 특정 스레드가 너무 오랜기간 락을 획득하지 못할 수 있다.

Lock 인터페이스

```
package java.util.concurrent.locks;

public interface Lock {
    void lock();
    void lockInterruptibly() throws InterruptedException;
    boolean tryLock();
    boolean tryLock(long time, TimeUnit unit) throws InterruptedException;
    void unlock();
    Condition newCondition();
}
```

`Lock` 인터페이스는 동시성 프로그래밍에서 쓰이는 안전한 임계 영역을 위한 락을 구현하는데 사용된다.

`Lock` 인터페이스는 다음과 같은 메서드를 제공한다. 대표적인 구현체로 `ReentrantLock` 이 있다.

`void lock()`

- 락을 획득한다. 만약 다른 스레드가 이미 락을 획득했다면, 락이 풀릴 때까지 현재 스레드는 대기(`WAITING`)한다. 이 메서드는 인터럽트에 응답하지 않는다.
- 예) 맛집에 한번 줄을 서면 끝까지 기다린다. 친구가 다른 맛집을 찾았다고 중간에 연락해도 포기하지 않고 기다린다.

주의!

여기서 사용하는 락은 객체 내부에 있는 모니터 락이 아니다! `Lock` 인터페이스와 `ReentrantLock` 이 제공하는 기능이다!

모니터 락과 `BLOCKED` 상태는 `synchronized`에서만 사용된다.

`void lockInterruptibly()`

- 락 획득을 시도하되, 다른 스레드가 인터럽트할 수 있도록 한다. 만약 다른 스레드가 이미 락을 획득했다면, 현재 스레드는 락을 획득할 때까지 대기한다. 대기 중에 인터럽트가 발생하면 `InterruptedException`이 발생하며 락 획득을 포기한다.
- 예) 맛집에 한번 줄을 서서 기다린다. 다만 친구가 다른 맛집을 찾았다고 중간에 연락하면 포기한다.

`boolean tryLock()`

- 락 획득을 시도하고, 즉시 성공 여부를 반환한다. 만약 다른 스레드가 이미 락을 획득했다면 `false`를 반환하고, 그렇지 않으면 락을 획득하고 `true`를 반환한다.
- 예) 맛집에 대기 줄이 없으면 바로 들어가고, 대기 줄이 있으면 즉시 포기한다.

`boolean tryLock(long time, TimeUnit unit)`

- 주어진 시간 동안 락 획득을 시도한다. 주어진 시간 안에 락을 획득하면 `true`를 반환한다. 주어진 시간이 지나도 락을 획득하지 못한 경우 `false`를 반환한다. 이 메서드는 대기 중 인터럽트가 발생하면 `InterruptedException`이 발생하며 락 획득을 포기한다.
- 예) 맛집에 줄을 서지만 특정 시간 만큼만 기다린다. 특정 시간이 지나도 계속 줄을 서야 한다면 포기한다. 친구가 다른 맛집을 찾았다고 중간에 연락해도 포기한다.

`void unlock()`

- 락을 해제한다. 락을 해제하면 락 획득을 대기 중인 스레드 중 하나가 락을 획득할 수 있게 된다.
- 락을 획득한 스레드가 호출해야 하며, 그렇지 않으면 `IllegalMonitorStateException`이 발생할 수 있다.
- 예) 식당안에 있는 손님이 밥을 먹고 나간다. 식당에 자리가 하나 난다. 기다리는 손님께 이런 사실을 알려주어야 한다. 기다리던 손님중 한 명이 식당에 들어간다.

`Condition newCondition()`

- `Condition` 객체를 생성하여 반환한다. `Condition` 객체는 락과 결합되어 사용되며, 스레드가 특정 조건을 기다리거나 신호를 받을 수 있도록 한다. 이는 `Object` 클래스의 `wait`, `notify`, `notifyAll` 메서드와 유사한 역할을 한다.
- 참고로 이 부분은 뒤에서 자세히 다룬다.

이 메서드들을 사용하면 고수준의 동기화 기법을 구현할 수 있다. `Lock` 인터페이스는 `synchronized` 블록보다 더 많은 유연성을 제공하며, 특히 락을 특정 시간 만큼만 시도하거나, 인터럽트 가능한 락을 사용할 때 유용하다.

이 메서드들을 보면 알겠지만 다양한 메서드를 통해 `synchronized`의 단점인 무한 대기 문제도 깔끔하게 해결할 수 있다.

참고: `lock()` 메서드는 인터럽트에 응하지 않는다고 되어있다. 이 메서드의 의도는 인터럽트가 발생해도 무시하고 락을 기다리는 것이다.

앞서 대기(WAITING) 상태의 스레드에 인터럽트가 발생하면 대기 상태를 빠져나온다고 배웠다. 그런데 `lock()` 메서드의 설명을 보면 대기(WAITING) 상태인데 인터럽트에 응하지 않는다고 되어있다. 어떻게 된 것일까?

`lock()` 을 호출해서 락을 얻기 위해 대기중인 스레드에 인터럽트가 발생하면 순간 대기 상태를 빠져나오는 것은 맞다. 그래서 아주 짧지만 WAITING → RUNNABLE 이 된다. 그런데 `lock()` 메서드 안에서 해당 스레드를 다시 WAITING 상태로 강제로 변경해버린다. 이런 원리로 인터럽트를 무시하는 것이다. 참고로 인터럽트가 필요하면 `lockInterruptibly()` 를 사용하면 된다. 새로운 Lock 은 개발자에게 다양한 선택권을 제공한다.

공정성

Lock 인터페이스가 제공하는 다양한 기능 덕분에 `synchronized` 의 단점인 무한 대기 문제가 해결되었다. 그런데 공정성에 대한 문제가 남아있다.

synchronized 단점

- **공정성:** 락이 돌아왔을 때 BLOCKED 상태의 여러 스레드 중에 어떤 스레드가 락을 획득할 지 알 수 없다. 최악의 경우 특정 스레드가 너무 오랜기간 락을 획득하지 못할 수 있다.

Lock 인터페이스의 대표적인 구현체로 `ReentrantLock` 이 있는데, 이 클래스는 스레드가 공정하게 락을 얻을 수 있는 모드를 제공한다.

사용 예시

```
import java.util.concurrent.locks.ReentrantLock;

public class ReentrantLockEx {
    // 비공정 모드 락
    private final Lock nonFairLock = new ReentrantLock();
    // 공정 모드 락
    private final Lock fairLock = new ReentrantLock(true);

    public void nonFairLockTest() {
        nonFairLock.lock();
        try {
            // 임계 영역
        } finally {
            nonFairLock.unlock();
        }
    }

    public void fairLockTest() {
```

```
    fairLock.lock();
    try {
        // 임계 영역
    } finally {
        fairLock.unlock();
    }
}
```

`ReentrantLock` 락은 공정성(fairness) 모드와 비공정(non-fair) 모드로 설정할 수 있으며, 이 두 모드는 락을 획득하는 방식에서 차이가 있다.

비공정 모드 (Non-fair mode)

비공정 모드는 `ReentrantLock`의 기본 모드이다. 이 모드에서는 락을 먼저 요청한 스레드가 락을 먼저 획득한다는 보장이 없다. 락을 풀었을 때, 대기 중인 스레드 중 아무나 락을 획득할 수 있다. 이는 락을 빨리 획득할 수 있지만, 특정 스레드가 장기간 락을 획득하지 못할 가능성도 있다.

비공정 모드 특징

- **성능 우선:** 락을 획득하는 속도가 빠르다.
- **선점 가능:** 새로운 스레드가 기존 대기 스레드보다 먼저 락을 획득할 수 있다.
- **기아 현상 가능성:** 특정 스레드가 계속해서 락을 획득하지 못할 수 있다.

공정 모드 (Fair mode)

생성자에서 `true`를 전달하면 된다. 예) `new ReentrantLock(true)`

공정 모드는 락을 요청한 순서대로 스레드가 락을 획득할 수 있게 한다. 이는 먼저 대기한 스레드가 먼저 락을 획득하게 되어 스레드 간의 공정성을 보장한다. 그러나 이로 인해 성능이 저하될 수 있다.

공정 모드 특징

- **공정성 보장:** 대기 큐에서 먼저 대기한 스레드가 락을 먼저 획득한다.
- **기아 현상 방지:** 모든 스레드가 언젠가 락을 획득할 수 있게 보장된다.
- **성능 저하:** 락을 획득하는 속도가 느려질 수 있다.

비공정, 공정 모드 정리

- **비공정 모드**는 성능을 중시하고, 스레드가 락을 빨리 획득할 수 있지만, 특정 스레드가 계속해서 락을 획득하지 못할 수 있다.
- **공정 모드**는 스레드가 락을 획득하는 순서를 보장하여 공정성을 중시하지만, 성능이 저하될 수 있다.

정리

Lock 인터페이스와 ReentrantLock 구현체를 사용하면 synchronized 단점인 무한 대기과 공정성 문제를 모두 해결할 수 있다.

ReentrantLock - 활용

앞서 작성한 BankAccountV3 예제를 synchronized 대신에 Lock, ReentrantLock 을 사용하도록 변경해보자.

```
package thread.sync;

import static util.MyLogger.log;
import static util.ThreadUtils.sleep;

import java.util.concurrent.locks.Lock;
import java.util.concurrent.locks.ReentrantLock;

public class BankAccountV4 implements BankAccount {
    private int balance;

    private final Lock lock = new ReentrantLock();

    public BankAccountV4(int initialBalance) {
        this.balance = initialBalance;
    }

    @Override
    public boolean withdraw(int amount) {
        log("거래 시작: " + getClass().getSimpleName());

        lock.lock(); // ReentrantLock 이용하여 lock을 걸기
        try {
            log("[검증 시작] 출금액: " + amount + ", 잔액: " + balance);
            if (balance < amount) {
                log("[검증 실패] 출금액: " + amount + ", 잔액: " + balance);
                return false;
            }
        }
    }
}
```

```

    }
    log("[검증 완료] 출금액: " + amount + ", 잔액: " + balance);
    sleep(1000);
    balance = balance - amount;
    log("[출금 완료] 출금액: " + amount + ", 변경 잔액: " + balance);
} finally {
    lock.unlock(); // ReentrantLock 이용하여 lock 해제
}
log("거래 종료");
return true;
}

@Override
public int getBalance() {
    lock.lock(); // ReentrantLock 이용하여 lock 걸기
    try {
        return balance;
    } finally {
        lock.unlock(); // ReentrantLock 이용하여 lock 해제
    }
}
}

```

- `private final Lock lock = new ReentrantLock()` 을 사용하도록 선언한다.
- `synchronized(this)` 대신에 `lock.lock()` 을 사용해서 락을 건다.
 - `lock()` → `unlock()` 까지는 안전한 임계 영역이 된다.
- 임계 영역이 끝나면 반드시! 락을 반납해야 한다. 그렇지 않으면 대기하는 스레드가 락을 얻지 못한다.
 - 따라서 `lock.unlock()` 은 반드시 `finally` 블록에 작성해야한다. 이렇게 하면 검증에 실패해서 중간에 `return` 을 호출해도 또는 중간에 예상치 못한 예외가 발생해도 `lock.unlock()` 이 반드시 호출된다.

주의!

여기서 사용하는 락은 객체 내부에 있는 모니터 락이 아니다! `Lock` 인터페이스와 `ReentrantLock` 이 제공하는 기능이다!

모니터 락과 `BLOCKED` 상태는 `synchronized` 에서만 사용된다.

```

public class BankMain {
    public static void main(String[] args) throws InterruptedException {
        //BankAccount account = new BankAccountV3(1000);
        BankAccount account = new BankAccountV4(1000);
    }
}

```

```

    ...
}
}

```

- BankMain 에서 BankAccountV4 를 실행하도록 코드를 변경하자.

실행 결과

```

12:09:20.185 [      t1] 거래 시작: BankAccountV4
12:09:20.185 [      t2] 거래 시작: BankAccountV4
12:09:20.191 [      t1] [검증 시작] 출금액: 800, 잔액: 1000
12:09:20.191 [      t1] [검증 완료] 출금액: 800, 잔액: 1000
12:09:20.673 [    main] t1 state: TIMED_WAITING
12:09:20.674 [    main] t2 state: WAITING
12:09:21.196 [      t1] [출금 완료] 출금액: 800, 변경 잔액: 200
12:09:21.197 [      t1] 거래 종료
12:09:21.197 [      t2] [검증 시작] 출금액: 800, 잔액: 200
12:09:21.198 [      t2] [검증 실패] 출금액: 800, 잔액: 200
12:09:21.204 [    main] 최종 잔액: 200

```

실행 결과 분석

ReentrantLock t2 t1

```

withdraw {
    lock.lock()
    try {
        if (balance < amount) {
            return false;
        }
        sleep(1000);
        balance = balance - amount;
    } finally {
        lock.unlock();
    }
}

```

x001

balance=1000

lock=x002

BankAccount

x002

 lock

대기 큐

ReentrantLock

- t1, t2 가 출금을 시작한다. 여기서는 t1 이 약간 먼저 실행된다고 가정하겠다.
- ReentrantLock 내부에는 락과 락을 얻지 못해 대기하는 스레드를 관리하는 대기 큐가 존재한다.
- 여기서 이야기하는 락은 객체 내부에 있는 모니터 락이 아니다. ReentrantLock 이 제공하는 기능이다.

ReentrantLock t2

```
withdraw {  
  lock.lock() t1  
  try {  
    if (balance < amount) {  
      return false;  
    }  
    sleep(1000);  
    balance = balance - amount;  
  } finally {  
    lock.unlock();  
  }  
}
```

t1: lock 획득

x001

balance=1000

lock=x002

BankAccount

x002

lock

대기 큐

ReentrantLock

- t1: ReentrantLock 에 있는 락을 획득한다.
- 락을 획득하는 경우 RUNNABLE 상태가 유지되고, 임계 영역의 코드를 실행할 수 있다.

ReentrantLock t2

```
withdraw {  
  lock.lock()  
  try {  
    if (balance < amount) { t1  
      return false;  
    }  
    sleep(1000);  
    balance = balance - amount;  
  } finally {  
    lock.unlock();  
  }  
}
```

t1: 임계 영역 수행

x001

balance=1000

lock=x002

BankAccount

x002

lock

대기 큐

ReentrantLock

- t1: 임계 영역의 코드를 실행한다.

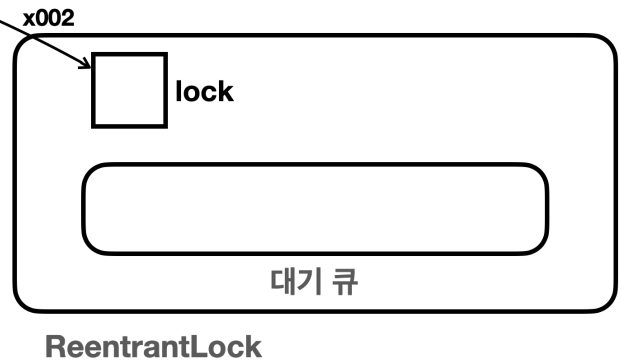
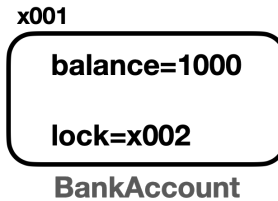
ReentrantLock

```

withdraw {
  lock.lock() t2
  try {
    if (balance < amount) { t1 }
    return false;
  }
  sleep(1000);
  balance = balance - amount;
} finally {
  lock.unlock();
}

```

t2: 락 획득 시도



- t2: ReentrantLock 에 있는 락의 획득을 시도한다. 하지만 락이 없다.

ReentrantLock

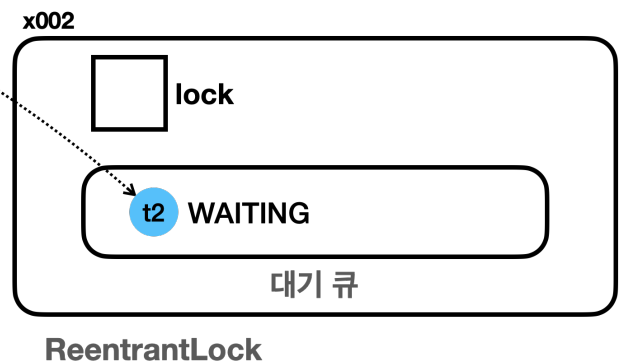
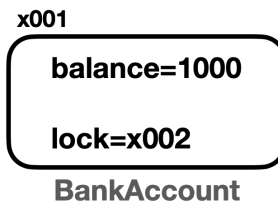
```

withdraw {
  lock.lock() t2 WAITING
  try {
    if (balance < amount) { t1 }
    return false;
  }
  sleep(1000);
  balance = balance - amount;
} finally {
  lock.unlock();
}

```

t2: 대기 큐에서 기다림

RUNNABLE -> WAITING



- t2: 락을 획득하지 못하면 WAITING 상태가 되고, 대기 큐에서 관리된다.
 - LockSupport.park() 가 내부에서 호출된다.
- 참고로 tryLock(long time, TimeUnit unit) 와 같은 시간 대기 기능을 사용하면 TIMED_WAITING 이 되고, 대기 큐에서 관리된다.

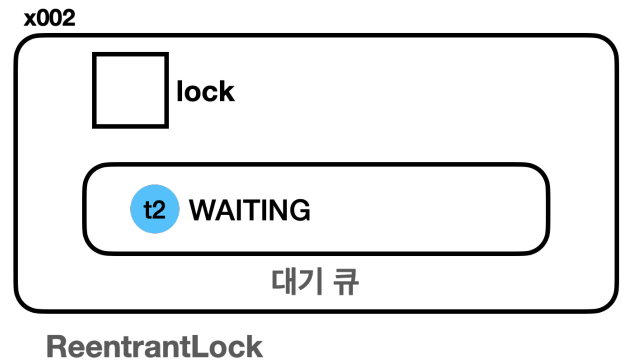
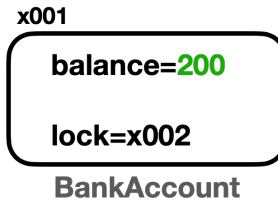
ReentrantLock

```

withdraw {
  lock.lock() t2 WAITING
  try {
    if (balance < amount) {
      return false;
    }
    sleep(1000);
    balance = balance - amount;
  } finally {
    lock.unlock(); t1
  }
}

```

t1: 임계 영역 수행 완료
balance=200



- t1: 임계 영역의 수행을 완료했다. 이때 잔액은 balance=200 이 된다.

ReentrantLock

```

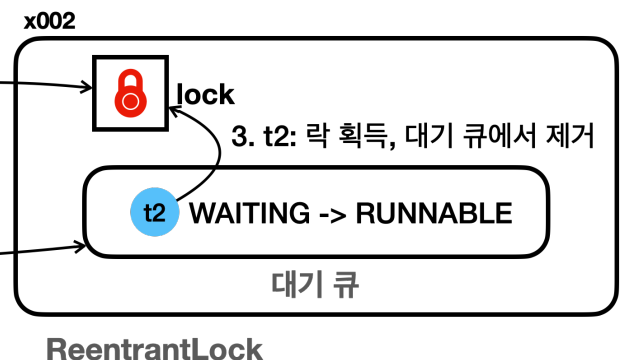
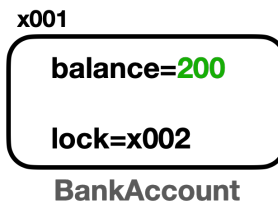
withdraw {
  lock.lock() t2 WAITING
  try {
    if (balance < amount) {
      return false;
    }
    sleep(1000);
    balance = balance - amount;
  } finally {
    lock.unlock(); t1
  }
}

```

0. t2: 대기 상태

1. t1: 락 반납

2. t1: 대기 큐의 스레드를 하나 깨움
t2: WAITING -> RUNNABLE



- t1: 임계 영역을 수행하고 나면 lock.unlock() 을 호출한다.
 - 1. t1: 락을 반납한다.
 - 2. t1: 대기 큐의 스레드를 하나 깨운다. LockSupport.unpark(thread) 가 내부에서 호출된다.
 - 3. t2: RUNNABLE 상태가 되면서 깨어난 스레드는 락 획득을 시도한다.
 - 이때 락을 획득하면 lock.lock() 을 빠져나오면서 대기 큐에서도 제거된다.
 - 이때 락을 획득하지 못하면 다시 대기 상태가 되면서 대기 큐에 유지된다.
 - 참고로 락 획득을 시도하는 잠깐 사이에 새로운 스레드가 락을 먼저 가져갈 수 있다.
 - 공정 모드인 경우 대기 큐에 먼저 대기한 스레드가 먼저 락을 가져간다.

ReentrantLock

```

withdraw {
  lock.lock()
  try {
    if (balance < amount) { t2 }
    return false;
  }
  sleep(1000);
  balance = balance - amount;
} finally {
  lock.unlock();
}
t1

```

t2: 임계 영역 수행

x001

balance=200

lock=x002

BankAccount

x002

lock

대기 큐

ReentrantLock

- t2: 락을 획득한 t2 스레드는 RUNNABLE 상태로 임계 영역을 수행한다.

ReentrantLock

```

withdraw {
  lock.lock()
  try {
    if (balance < amount) { t2 }
    return false;
  }
  sleep(1000);
  balance = balance - amount;
} finally {
  lock.unlock(); t2
}
t1

```

1. t2: return시 finally 수행

x001

balance=200

lock=x002

BankAccount

x002

lock

대기 큐

ReentrantLock

- t2: 잔액[200]이 출금액[800]보다 적으므로 검증 로직을 통과하지 못한다. 따라서 검증 실패이다. return false가 호출된다.
- 이때 finally 구문이 있으므로 finally 구문으로 이동한다.

ReentrantLock

```
withdraw {  
  lock.lock()  
  try {  
    if (balance < amount) {  
      return false;  
    }  
    sleep(1000);  
    balance = balance - amount;  
  } finally {  
    lock.unlock(); t2  
  }  
} t1
```

2. t2: 대기 큐의 스레드를 하나 깨움

x001

balance=200

lock=x002

BankAccount

x002

lock

대기 큐

ReentrantLock

- t2: lock.unlock() 을 호출해서 락을 반납하고, 대기 큐의 스레드를 하나 깨우려고 시도한다. 대기 큐에 스레드가 없으므로 이때는 깨우지 않는다.

ReentrantLock

```
withdraw {  
  lock.lock()  
  try {  
    if (balance < amount) {  
      return false;  
    }  
    sleep(1000);  
    balance = balance - amount;  
  } finally {  
    lock.unlock();  
  }  
} t1 t2
```

x001

balance=200

lock=x002

BankAccount

x002

lock

대기 큐

ReentrantLock

- 완료 상태

참고: volatile 를 사용하지 않아도 Lock 을 사용할 때 접근하는 변수의 메모리 가시성 문제는 해결된다. (이전에 학습한 자바 메모리 모델 참고)

ReentrantLock - 대기 중단

ReentrantLock 을 사용하면 락을 무한 대기하지 않고, 중간에 빠져나오는 것이 가능하다. 심지어 락을 얻을 수 없다

면 기다리지 않고 즉시 빠져나오는 것도 가능하다. 다음 기능들을 어떻게 활용하는지 알아보자.

`boolean tryLock()`

- 락 획득을 시도하고, 즉시 성공 여부를 반환한다. 만약 다른 스레드가 이미 락을 획득했다면 `false`를 반환하고, 그렇지 않으면 락을 획득하고 `true`를 반환한다.
- 예) 맛집에 대기 줄이 없으면 바로 들어가고, 대기 줄이 있으면 즉시 포기한다.

`boolean tryLock(long time, TimeUnit unit)`

- 주어진 시간 동안 락 획득을 시도한다. 주어진 시간 안에 락을 획득하면 `true`를 반환한다. 주어진 시간이 지나도 락을 획득하지 못한 경우 `false`를 반환한다. 이 메서드는 대기 중 인터럽트가 발생하면 `InterruptedException`이 발생하며 락 획득을 포기한다.
- 예) 맛집에 줄을 서지만 특정 시간 만큼만 기다린다. 특정 시간이 지나도 계속 줄을 서야 한다면 포기한다. 친구가 다른 맛집을 찾았다고 중간에 연락해도 포기한다.

tryLock() 예시

```
package thread.sync;

import static util.MyLogger.log;
import static util.ThreadUtils.sleep;

import java.util.concurrent.locks.Lock;
import java.util.concurrent.locks.ReentrantLock;

public class BankAccountV5 implements BankAccount {
    private int balance;

    private final Lock lock = new ReentrantLock();

    public BankAccountV5(int initialBalance) {
        this.balance = initialBalance;
    }

    @Override
    public boolean withdraw(int amount) {
        log("거래 시작: " + getClass().getSimpleName());

        if (!lock.tryLock()) {
            log("[진입 실패] 이미 처리중인 작업이 있습니다.");
            return false;
        }
    }
}
```

```

    }

    try {
        log("[검증 시작] 출금액: " + amount + ", 잔액: " + balance);
        if (balance < amount) {
            log("[검증 실패] 출금액: " + amount + ", 잔액: " + balance);
            return false;
        }
        sleep(1000);
        balance = balance - amount;
        log("[출금 완료] 출금액: " + amount + ", 변경 잔액: " + balance);
    } finally {
        lock.unlock(); // ReentrantLock 이용하여 lock 해제
    }
    log("거래 종료");
    return true;
}

@Override
public int getBalance() {
    lock.lock(); // ReentrantLock 이용하여 lock 걸기
    try {
        return balance;
    } finally {
        lock.unlock(); // ReentrantLock 이용하여 lock 해제
    }
}
}

```

- `lock.tryLock()` 을 사용한다. 락을 획득할 수 없으면 바로 포기하고 대기하지 않는다.
 - 락을 획득할 수 없다면 `false` 를 반환한다.

```

public class BankMain {
    public static void main(String[] args) throws InterruptedException {
        //BankAccount account = new BankAccountV4(1000);
        BankAccount account = new BankAccountV5(1000);
        ...
    }
}

```

- `BankMain` 에서 `BankAccountV5` 를 실행하도록 코드를 변경하자.

실행 결과

```
12:41:16.922 [      t1] 거래 시작: BankAccountV5
12:41:16.922 [      t2] 거래 시작: BankAccountV5
12:41:16.924 [      t2] [진입 실패] 이미 처리중인 작업이 있습니다.
12:41:16.928 [      t1] [검증 시작] 출금액: 800, 잔액: 1000
12:41:17.407 [    main] t1 state: TIMED_WAITING
12:41:17.407 [    main] t2 state: TERMINATED
12:41:17.930 [      t1] [출금 완료] 출금액: 800, 변경 잔액: 200
12:41:17.931 [      t1] 거래 종료
12:41:17.934 [    main] 최종 잔액: 200
```

실행 결과를 분석해보자.

- t1: 먼저 락을 획득하고 임계 영역을 수행한다.
- t2: 락이 없다는 것을 확인하고 `lock.tryLock()` 에서 즉시 빠져나온다. 이때 `false` 가 반환된다.
- t2: "[진입 실패] 이미 처리중인 작업이 있습니다."를 출력하고 `false` 를 반환하면서 메서드를 종료한다.
- t1: 임계 영역의 수행을 완료하고 거래를 종료한다. 마지막으로 락을 반납한다.

tryLock(시간) 예시

이번에는 `tryLock(시간)` 을 사용해서 특정 시간 만큼만 락을 대기하는 예를 알아보자.

```
package thread.sync;

import java.util.concurrent.TimeUnit;
import java.util.concurrent.locks.Lock;
import java.util.concurrent.locks.ReentrantLock;

import static util.MyLogger.log;
import static util.ThreadUtils.sleep;

public class BankAccountV6 implements BankAccount {
    private int balance;

    private final Lock lock = new ReentrantLock();

    public BankAccountV6(int initialBalance) {
        this.balance = initialBalance;
    }
}
```

```

}

@Override
public boolean withdraw(int amount) {
    log("거래 시작: " + getClass().getSimpleName());

    try {
        if (!lock.tryLock(500, TimeUnit.MILLISECONDS)) {
            log("[진입 실패] 이미 처리중인 작업이 있습니다.");
            return false;
        }
    } catch (InterruptedException e) {
        throw new RuntimeException(e);
    }

    try {
        log("[검증 시작] 출금액: " + amount + ", 잔액: " + balance);
        if (balance < amount) {
            log("[검증 실패] 출금액: " + amount + ", 잔액: " + balance);
            return false;
        }
        sleep(1000);
        balance = balance - amount;
        log("[출금 완료] 출금액: " + amount + ", 변경 잔액: " + balance);
    } finally {
        lock.unlock(); // ReentrantLock 이용하여 lock 해제
    }
    log("거래 종료");
    return true;
}

@Override
public int getBalance() {
    lock.lock(); // ReentrantLock 이용하여 lock 걸기
    try {
        return balance;
    } finally {
        lock.unlock(); // ReentrantLock 이용하여 lock 해제
    }
}
}

```

- `lock.tryLock(500, TimeUnit.MILLISECONDS)`: 락이 없을 때 락을 대기할 시간을 지정한다. 해당 시

간이 지나도 락을 얻지 못하면 `false`를 반환하면서 해당 메서드를 빠져나온다. 여기서는 0.5초를 설정했다.

- 스레드의 상태는 대기하는 동안 `TIMED_WAITING`이 되고, 대기 상태를 빠져나오면 `RUNNABLE`이 된다.

```
public class BankMain {
    public static void main(String[] args) throws InterruptedException {
        //BankAccount account = new BankAccountV5(1000);
        BankAccount account = new BankAccountV6(1000);
        ...
    }
}
```

- `BankMain`에서 `BankAccountV6`를 실행하도록 코드를 변경하자.

실행 결과

```
16:33:54.246 [      t1] 거래 시작: BankAccountV6
16:33:54.246 [      t2] 거래 시작: BankAccountV6
16:33:54.252 [      t1] [검증 시작] 출금액: 800, 잔액: 1000
16:33:54.735 [    main] t1 state: TIMED_WAITING //sleep(1000)
16:33:54.736 [    main] t2 state: TIMED_WAITING //tryLock(500)
16:33:54.751 [      t2] [진입 실패] 이미 처리중인 작업이 있습니다.
16:33:55.258 [      t1] [출금 완료] 출금액: 800, 변경 잔액: 200
16:33:55.258 [      t1] 거래 종료
16:33:55.261 [    main] 최종 잔액: 200
```

실행 결과를 분석해보자.

- `t1`: 먼저 락을 획득하고 임계 영역을 수행한다.
- `t2`: `lock.tryLock(0.5초)`을 호출하고 락 획득을 시도한다. 락이 없으므로 0.5초간 대기한다.
 - 이때 `t2`는 `TIMED_WAITING` 상태가 된다.
 - 내부에서는 `LockSupport.parkNanos(시간)`이 호출된다.
- `t2`: 대기 시간인 0.5초간 락을 획득하지 못했다. `lock.tryLock(시간)`에서 즉시 빠져나온다. 이때 `false`가 반환된다.
 - 스레드는 `TIMED_WAITING` → `RUNNABLE`이 된다.
- `t2`: "[진입 실패] 이미 처리중인 작업이 있습니다."를 출력하고 `false`를 반환하면서 메서드를 종료한다.
- `t1`: 임계 영역의 수행을 완료하고 거래를 종료한다. 마지막으로 락을 반납한다.

정리

자바 1.5에서 등장한 `Lock` 인터페이스와 `ReentrantLock` 덕분에 `synchronized`의 단점인 무한 대기과 공정성 문제를 극복하고, 또 더욱 유연하고 세밀한 스레드 제어가 가능하게 되었다.

정리