Лекция 2
Разработка АС реального времени (часть 2)

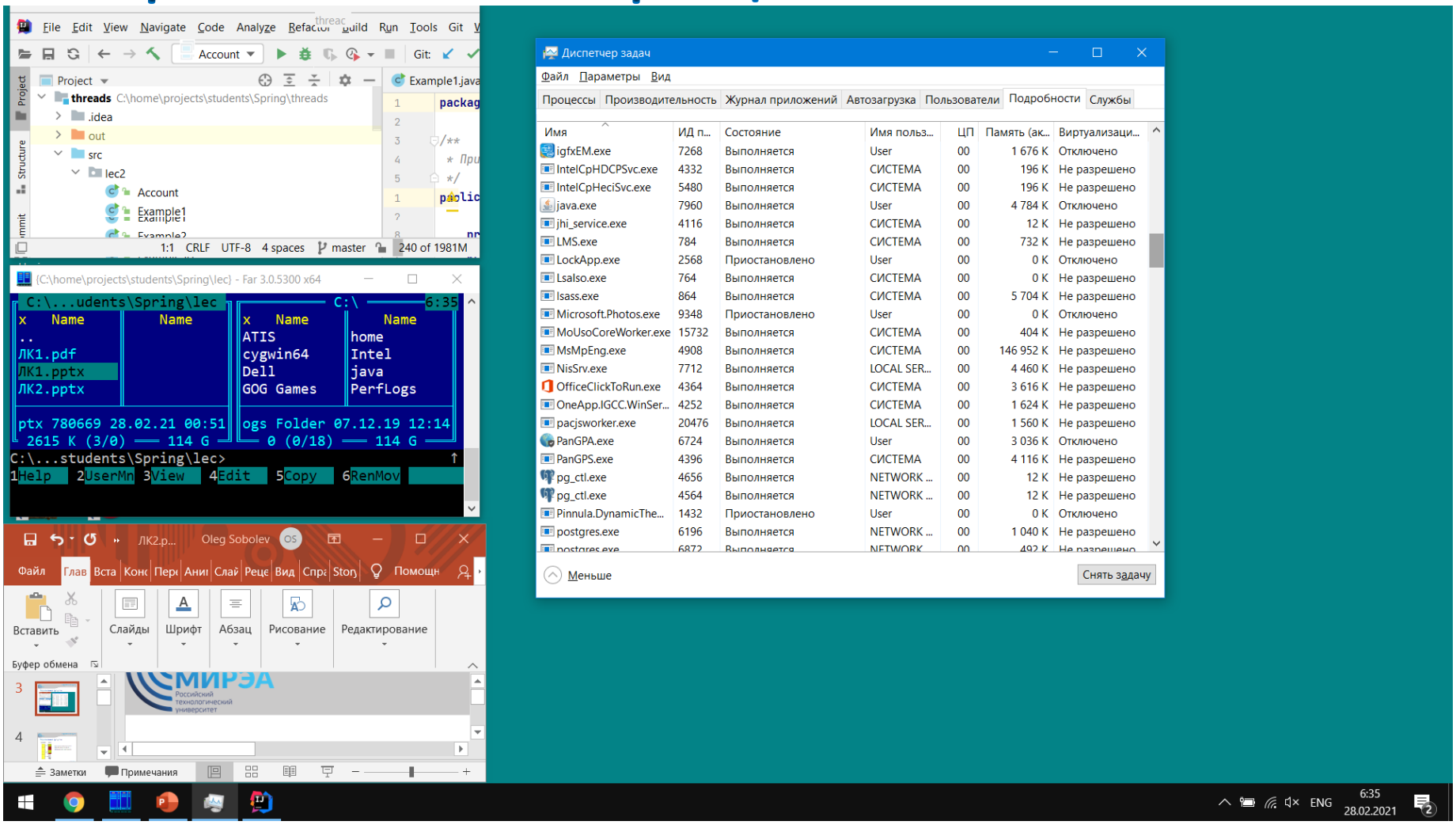
ФИО преподавателя: Зорина Наталья Валентиновна

e-mail: zorina_n@mail.ru

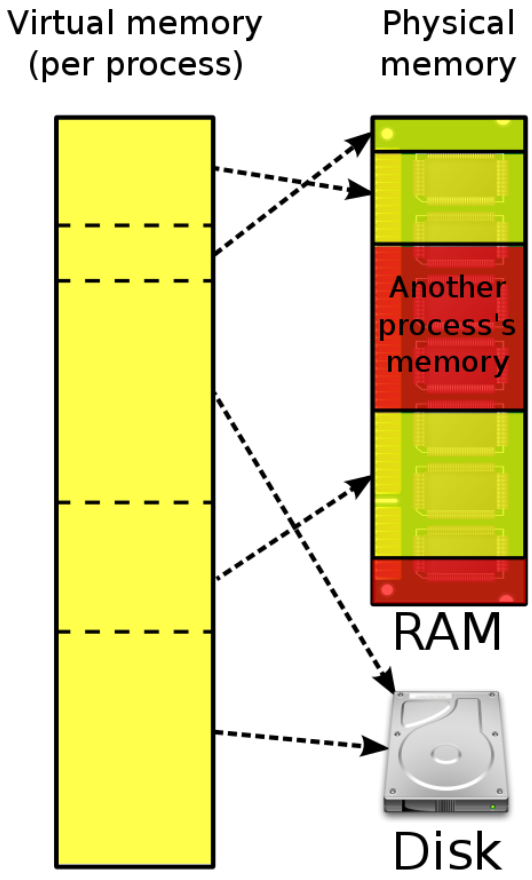
Тема лекции:

«Многопоточное программирование. Tread API Java. Синхронизация и мониторы»

Параллельные процессы

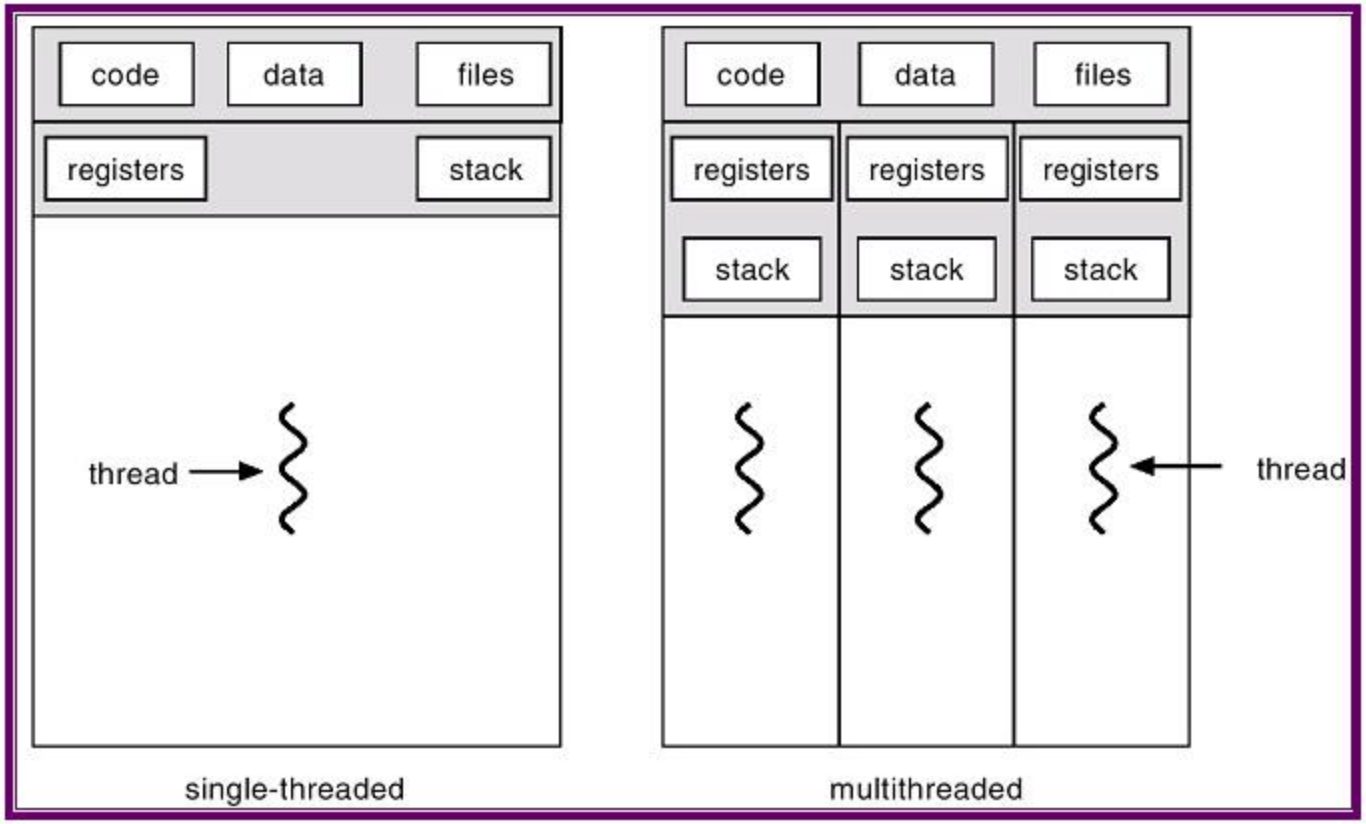


Параллельные процессы



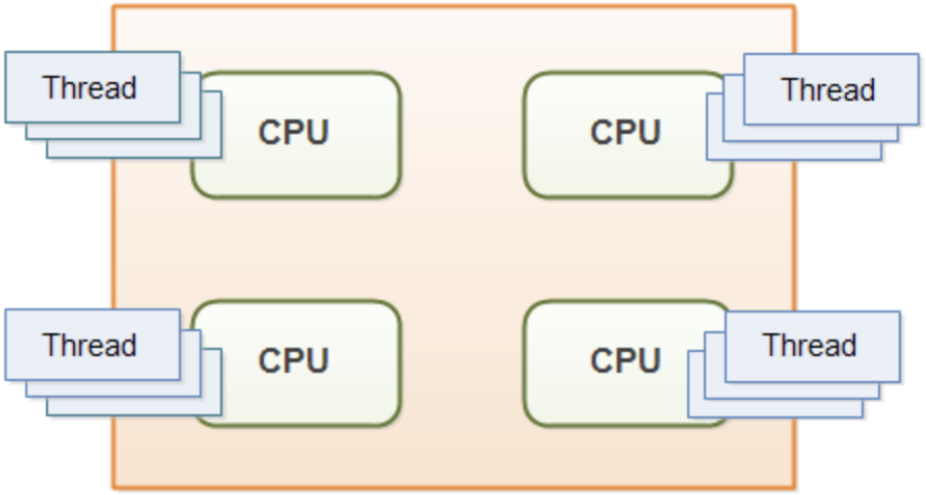
Каждый процесс операционной системы имеет свое адресное пространство виртуальной памяти, изолированное от адресных пространств других процессов.

Потоки (threads)



Потоки (threads)

Один процесс может иметь несколько параллельно выполняющихся потоков. В отличие от процессов, все потоки одного процесса выполняются в одном адресном пространстве, т.е. используют общую память.



Потоки (threads)

Потоки используются для:

1. Ускорения работы программы (см. пример с предыдущей лекции: суммирование большого массива данных можно ускорить, если разбить его на два под-массива и суммировать их в отдельных потоках)
2. Систем массового обслуживания (пример: веб-серверы), когда требуется одновременно выполнять много запросов

Как создать поток в Джава

- Наследование от класса Thread
- Реализация интерфейса Runnable

Thread API Через наследование

- Thread thread = new Thread();
- thread.start();

```
public class MyThread extends Thread {
  public void run(){
    System.out.println("MyThread running");
  }
}
```

```
MyThread myThread = new MyThread();
myTread.start();
```

```
Thread thread = new Thread(){
   public void run(){
     System.out.println("Thread Running"); } }
thread.start();
```

Thread API
Реализация интерфейса Runnable

- public interface Runnable() { public void run(); }

Класс Java реализует Runnable

```
public class MyRunnable implements Runnable {
    public void run(){
        System.out.println("MyRunnable running");
} }
```

Анонимная реализация Runnable

```
Runnable myRunnable = new Runnable(){
    public void run(){
        System.out.println("Runnable running");
} }
```

Thread API

java.lang.Thread

```
public interface Runnable {
    void run();
}
Runnable code = () -> {
    System.out.println(“Lambda Hello Runnable!”);
};
code.run();
```

Thread API

```
Runnable code = () -> {
    System.out.println(“Hello Runnable!”);
};
Thread t1 = new Thread(code);
t1.start(); // запуск потока
```

Аналог

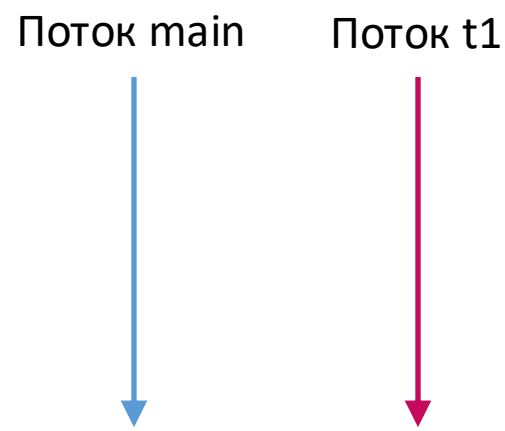
```
Runnable code = new MyRunnable();
// or an anonymous class, or lambda...
Thread thread = new Thread(code);
thread.start();
```

Код, переданный в виде объекта Runnable в конструктор Thread, выполняется в новом потоке параллельно основному потоку программы (main thread).

Thread API

Исходный код

```
public static void main(String[] args) {
    Runnable code = () -> {
        for (int i = 0; i < 10; i++) {
            System.out.printf("Hello %s from %s\n", i, Thread.currentThread().getName());
        }
    };
    new Thread(code).start(); // выполнение в отдельном потоке
    code.run(); // выполнение в главном потоке
}
```




```
Hello 0 from main
Hello 1 from main
Hello 2 from main
Hello 3 from main
Hello 0 from Thread-0
Hello 1 from Thread-0
Hello 2 from Thread-0
Hello 3 from Thread-0
Hello 4 from main
Hello 5 from main
Hello 6 from main
Hello 7 from main
Hello 8 from main
Hello 9 from main
Hello 4 from Thread-0
Hello 5 from Thread-0
Hello 6 from Thread-0
Hello 7 from Thread-0
Hello 8 from Thread-0
Hello 9 from Thread-0
```

Thread API

```
public class Thread {
    void start(); // запуск потока
    static Thread currentThread(); // поток, который вызвал этот метод
    String getName(); // имя потока (можно задать через setName)
    void setName(String name);
    void join() throws InterruptedException;
    void setDaemon(boolean on);
    static void sleep(long millis) throws InterruptedException;
    State getState();
}
```

Thread API

Метод start() не может быть вызван более одного раза у одного и того же объекта Thread. Если вы хотите выполнить один и тот же код в нескольких потоках, создайте для каждого потока свой объект Thread.

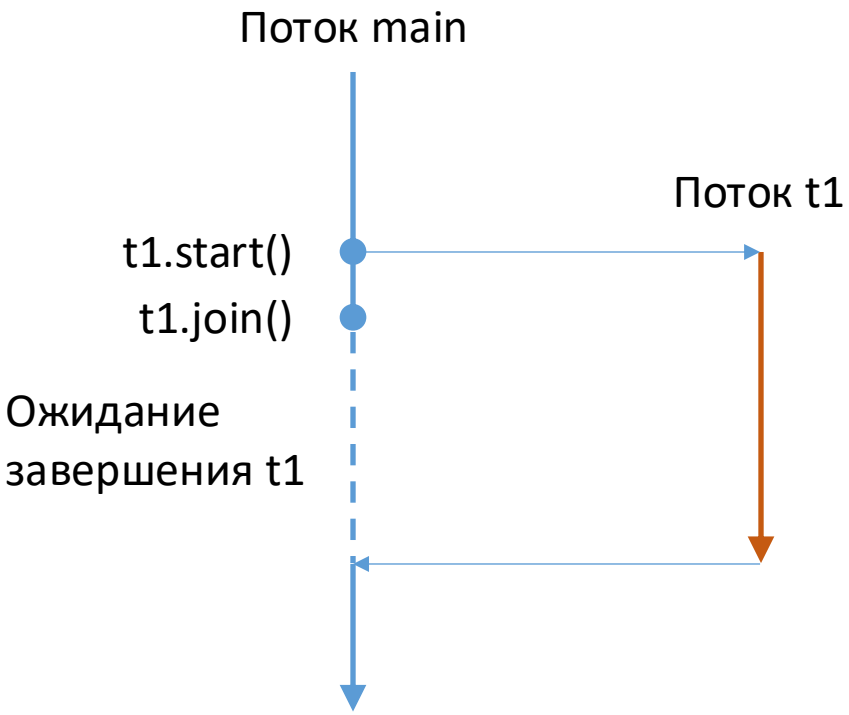
```
Runnable code = () -> { ... };

Thread t1 = new Thread(code);

t1.start();

t1.start();

new Thread(code).start(); // запускаем code в еще одном потоке
```

Thread API

Метод t.join() ожидает завершение потока t:

```
Runnable code = () -> { ... };
Thread t1 = new Thread(code);
t1.start(); // запуск потока t1
t1.join(); // главный поток ожидает завершения t1
```

Thread API



Thread API

По умолчанию программа завершается, когда все ее потоки завершаются. Некоторые потоки можно сделать “демонами” (т.е. фоновыми процессами), и тогда они не учитываются при определении необходимости завершения программы.

```
Runnable code = () -> {
    while (true) { ... }
};
Thread t1 = new Thread(code);
t1.setDaemon(true);
t1.start(); // запуск потока t1
// Программа завершается, несмотря на работу потока t1
```

Thread API

Метод Thread.sleep останавливает выполнение текущего потока на указанное количество миллисекунд (1/1000 секунды).

```
Thread.sleep(1000); // Ждем 1 секунду
```

Этот метод может генерировать исключение InterruptedException. Это исключение используется для остановки потоков; как правило, если вы его поймали, текущий поток нужно завершить.

Thread API

Метод Thread.getState():

- NEW – объект Thread был создан, но метод start не вызван
- RUNNABLE – поток запущен и работает
- TERMINATED – поток завершен
- BLOCKED – поток ждет освобождения блокировки
- WAITING – поток ждет наступления события без ограничения по времени
- TIMED_WAITING – поток ждет наступления события с ограничением по времени (пример: Thread.sleep)

Синхронизация потоков

Потоки прекрасно работают, если они не используют mutable shared state:

- shared – два или более потока обращаются к одним и тем же данным в памяти
- mutable – данные являются изменяемыми

Т.е. все хорошо, если:

- каждый поток работает со своими изменяемыми данными (данные не являются shared)
- потоки работают с общими неизменяемыми данными (данные не являются mutable)

Синхронизация потоков

Синхронизация потоков

```
private static int counter = 0; // mutable shared state (миллионы рублей)

public static void main(String[] args) throws Exception {
    Runnable code = () -> {
        for (int i = 0; i < 5000; i++) {
            counter++;
        }
    };
    Thread t1 = new Thread(code);
    Thread t2 = new Thread(code);
    t1.start();
    t2.start();
    t1.join();
    t2.join();
    System.out.println(counter);
}
```

Исходный код

Результаты:
6356
6059
6233
8872
7362

Синхронизация потоков

Почему так?

“counter++” эквивалентно “counter = counter + 1”:

Поток 1	Поток 2
counter = 0	
counter = counter + 1	counter = counter + 1
counter = 0 + 1	counter = 0 + 1
counter = 1 несмотря на то, что операция ++ выполнена 2 раза	

Из-за того, что “counter++” выполняется параллельно двумя потоками без координации действий потоков, результат может быть случайным. Это то, что называется race condition (гонка).

Синхронизация потоков

```
private static int result = 0;
private static boolean ready = false;

public static void main(String[] args) {
    Runnable producer = () -> {
        sleep(100);
        result = 42;
        ready = true;
    };
    Runnable reader = () -> {
        while (!ready);
        System.out.println(result);
    };
    new Thread(reader).start();
    new Thread(producer).start();
}
```

Shared mutable state

Исходный код

Цикл while никогда не завершается!

Синхронизация потоков

Почему? Компилятор оптимизирует код без специального кода синхронизации в предположении, что код можно менять так, чтобы он оставался корректным с точки зрения одного потока выполнения. Поэтому цикл while из примера можно переписать так:

```
boolean localReady = ready;
while (!localReady);
```

1. Доступ к локальной переменной может быть проще оптимизирован
2. Поле ready не меняется в теле цикла
3. Компилятор делает вывод, что лучше скопировать значение поля ready в локальную переменную

Синхронизация потоков

Так как localReady никогда не меняется (несмотря на то, что поле ready изменяется), цикл while никогда не заканчивается. Т.е. поток reader не наблюдает изменений, внесенных потоком producer (visibility problem).

Надо отметить, что не все версии Java производят эту оптимизацию и иногда этот код может работать.

Таким образом, компилятору как-то нужно говорить, что к некоторым полям мы обращаемся из разных потоков, чтобы он не производил эту оптимизацию.

Синхронизация потоков

Блок синхронизации:

```
synchronized (lock) { // lock может быть любым объектом
    // код блока
}
```

1. Блок синхронизации для одного и того же lock может выполнять одновременно только один поток
2. Если поток 2 выполняет блок синхронизации с lock после того, как поток 1 выполнил блок синхронизации с lock, то поток 2 “увидит” все изменения, внесенные потоком 1.

Синхронизация потоков

Пример:

```
synchronized (lock) {
    counter++;
}
```

<table>
<tr><th>Поток 1</th><th>Поток 2</th></tr>
<tr><td colspan="2">counter = 0</td></tr>
<tr><td>counter = counter + 1</td><td rowspan="2">(параллельное выполнение невозможно в блоке synchronized)</td></tr>
<tr><td>counter = 0 + 1</td></tr>
<tr><td colspan="2">counter = 1</td></tr>
<tr><td rowspan="2">(параллельное выполнение невозможно в блоке synchronized)</td><td>counter = counter + 1</td></tr>
<tr><td>counter = 1 + 1</td></tr>
<tr><td colspan="2">counter = 2</td></tr>
</table>

Visibility: Поток 2 гарантированно увидит изменения, внесенные потоком 1

Синхронизация потоков

Исходный код

```
private static int result = 0;
private static boolean ready = false;

public static void main(String[] args) {
    Object lock = new Object();
    Runnable producer = () -> {
        sleep(100);
        synchronized (lock) {
            result = 42; ready = true;
        }
    };
    Runnable reader = () -> {
        while (true) {
            synchronized (lock) {
                if (ready) {
                    System.out.println(result);
                    break;
                }
            }
        }
    };
    new Thread(reader).start(); new Thread(producer).start();
}
```

Важно, что и у producer, и у reader используется один и тот же объект lock в блоке synchronized. При использовании разных объектов никаких гарантий синхронизации нет.

Гарантируется, что значение поля ready внутри блока synchronized будет прочитано то, которое было записано потоком producer

Синхронизация потоков

<table>
<tr><th>Поток producer</th><th>Поток reader</th></tr>
<tr><td colspan="2">result = 0, ready = false</td></tr>
<tr><td>result = 42</td><td rowspan="2">(параллельное выполнение невозможно в блоке synchronized)</td></tr>
<tr><td>ready = true</td></tr>
<tr><td colspan="2">result = 42, ready = true</td></tr>
<tr><td rowspan="3">(параллельное выполнение невозможно в блоке synchronized)</td><td>if (ready)</td></tr>
<tr><td>if (true)</td></tr>
<tr><td>System.out.println(result);</td></tr>
</table>

Visibility: Поток reader гарантированно увидит изменения, внесенные потоком producer

Синхронизация потоков

Важны оба свойства блока synchronized – и исключение параллельного выполнения, и обеспечение visibility.

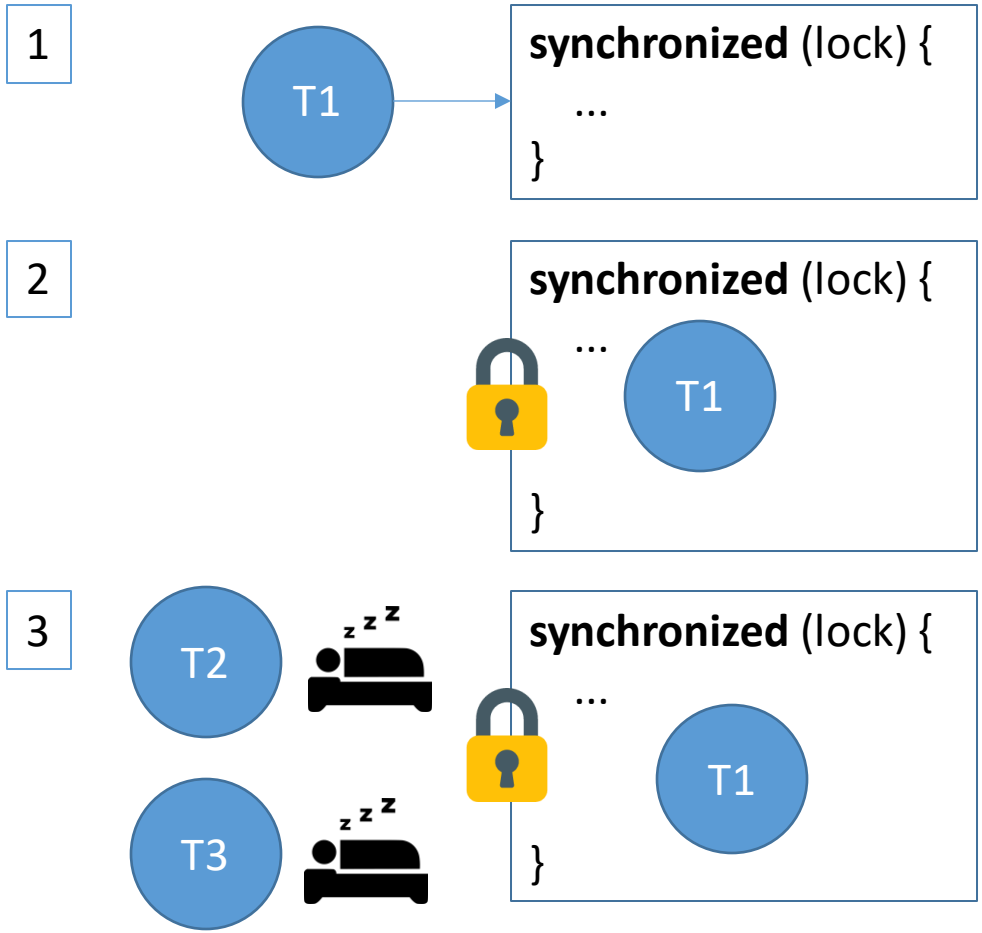
В примере producer/reader нам более важна visibility. Для этого мы можем использовать вместо блоков synchronized поля с модификатором volatile (см. далее)

Синхронизация потоков

Блок synchronized реализован на основе мониторов:

- Монитор может быть в двух состояниях: свободен (released) и захвачен (acquired)
- При входе в блок synchronized происходит попытка захвата монитора:
  - Если монитор свободен, то он становится захвачен
  - Если монитор уже захвачен другим потоком, то текущий поток останавливается и ждет, пока другой поток не освободит монитор
  - Если монитор захвачен текущим потоком, то он остается захвачен
- При выходе из блока synchronized монитор освобождается
  - Если при этом другие потоки ждали освобождения этого монитора, то выбирается один из этих потоков, который захватывает монитор и входит в свой блок synchronized.

Синхронизация потоков

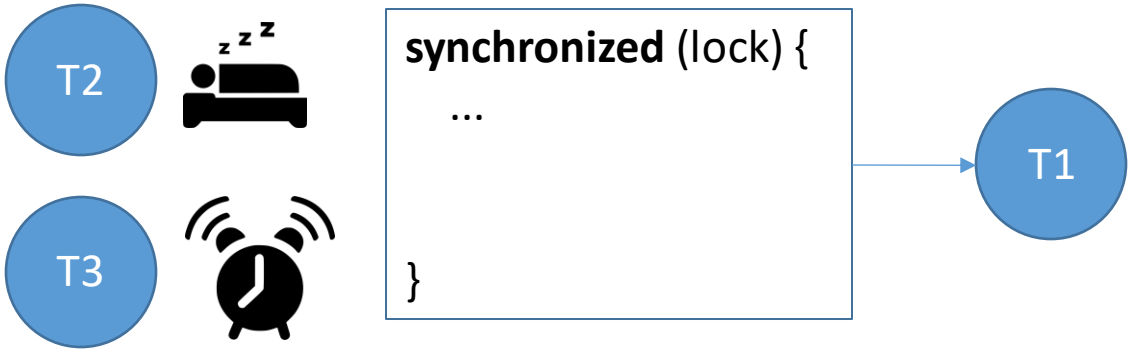


Монитор принадлежит объекту lock, а не конкретному блоку synchronized. Если два или более блока synchronized используют один и тот же lock, то они используют один монитор для блокировки.

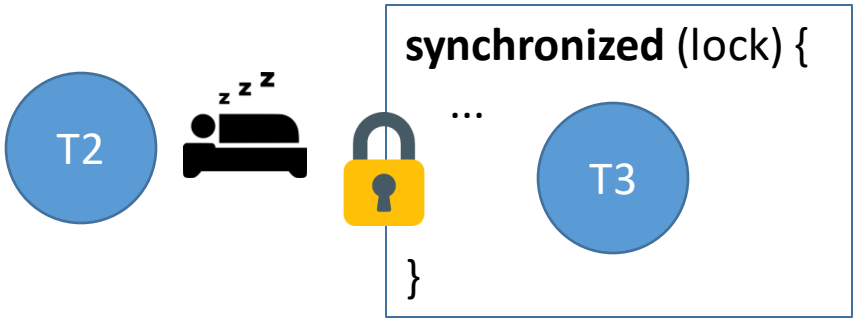
Потоки T2 и T3 находятся в состоянии BLOCKED

Синхронизация потоков

4



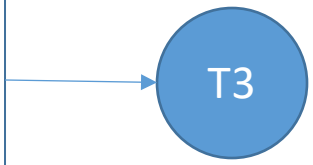
5



Синхронизация потоков

6


```
synchronized (lock) {
    ...


}
```

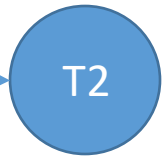


7

```
synchronized (lock) {
    ...

}
```

8

```
synchronized (lock) {
    ...


}
```



Синхронизация потоков

```
public class Account {
    private int amount = 100; // Остаток на счете – всегда >= 0
    // Снятие sum со счета:
    public void withdraw(int sum) {
        if (amount >= sum) {
            amount -= sum;
        }
    }
}
```

Что будет, если 2 потока вызовут withdraw(80)?

Синхронизация потоков

Поток 1	Поток 2
amount = 100	
withdraw(80)	withdraw(80)
if (amount >= 80)	if (amount >= 80)
amount -= 80	
amount = 20	
	amount -= 80
	amount = -60

https://en.wikipedia.org/wiki/Time-of-check_to_time-of-use

Синхронизация потоков

```
public class Account {
    private int amount = 100; // Остаток на счете – всегда >= 0
    private final Object lock = new Object();
    public void withdraw(int sum) {
        synchronized (lock) { // гарантирует атомарность выполнения
            if (amount >= sum) {
                amount -= sum;
            }
        }
    }
}
```

Синхронизация потоков

Метод является потокобезопасным (thread-safe), если его можно вызывать из нескольких потоков одновременно. Потокобезопасность достигается либо с помощью использования неизменяемых объектов, либо с помощью синхронизации, как в примере Account.

Обычно у класса либо все методы потокобезопасные, либо нет.

Стандартные классы коллекций (ArrayList, LinkedList, HashSet, TreeSet, HashMap, TreeMap) не являются потокобезопасными.

Синхронизация потоков

```
public static void main(String[] args) {
    Collection<Integer> c = new TreeSet<>();
    Runnable code = () -> {
        for (int i = 0; i < 5000; i++) {
            c.add(i);
        }
    };
    for (int j = 0; j < 100; j++) {
        Thread t = new Thread(code);
        t.start();
    }
}
```

Исходный код

Этот код выдает NullPointerException и иногда зацикливается. Это происходит из-за нарушений инвариантов класса, по аналогии с классом Account.

Синхронизация потоков

Правила happens-before (hb):

1. В рамках одного потока любая операция happens-before любой операцией следующей за ней в исходном коде
2. Выход из synhronized блока happens-before входа в synhronized блок на том же мониторе
3. Запись volatile поля happens-before чтение того же самого volatile поля
4. Завершение метода run экземпляра класса Thread happens-before выхода из метода join()
5. Вызов метода start() экземпляра класса Thread happens-before начало метода run() экземпляра того же треда

Синхронизация потоков

Связь happens-before транзитивна, т.е. если X happens-before Y, а Y happens-before Z, то X happens-before Z.

Если X happens-before Y, то все изменения, внесенные до операции X, будут видны в коде, следующем за операцией Y.

Семантика многопоточной работы в Java (Java Memory Model) описывается именно в терминах happens-before.

Синхронизация потоков

Упрощенно можно считать, что при входе в synchronized все переменные считываются из памяти, а при выходе – записываются в память.

На нижнем уровне visibility гарантируется:

- генерацией компилятором кода, записывающего в память содержимого регистров
- инструкцией процессора вида “барьер памяти” (в Intel – MFENCE), которая гарантирует порядок записи данных процессором в память

Синхронизация потоков

Но даже при отсутствии отношения happens-before Java гарантирует, что при чтении поля мы всегда прочитаем значение, записанное одним из потоков, а не мусор.

При этом не гарантируется “свежесть” значения или порядок, в котором мы видим изменения значения. Если сначала поток 1 установил значение поля x=1, а потом поток 2 установил значение x=2, то поток, который не использует синхронизацию для доступа к полю x, может увидеть любую последовательность значений: только 1; только 2; сначала 1, потом 2; сначала 2, потом 1.

Синхронизация потоков

Модификатор полей volatile:

private static volatile boolean ready = **false**;

Правила happens-before гарантируют, что при чтении volatile поля мы читаем последнее записанное значение.

Упрощенно можно представить, что любое обращение к volatile полю завернуто в блок synchronized. Но это не гарантирует атомарности операций! “counter++” все равно подвержено проблеме параллельности даже при наличии volatile. Но для примера producer/reader можно использовать volatile:

Синхронизация потоков

```
private static int result = 0;
private static volatile boolean ready = false;

public static void main(String[] args) {
    Runnable producer = () -> {
        sleep(100);
        result = 42;
        ready = true;
    };
    Runnable reader = () -> {
        while (!ready);
        System.out.println(result);
    };
    new Thread(reader).start();
    new Thread(producer).start();
}
```

Исходный код

- “result=42” hb “ready=true” (п.1)
- “ready=true” hb “while (!ready)” (п.3; гарантирует, что условие цикла видит изменение поля)
- “while (!ready)” hb “println(result)” (п.1)

Следовательно,
“result=42” hb “println(result)” (из транзитивности; гарантирует, что в reader мы увидим присвоенное в producer значение result)

Синхронизация потоков

Пример отсутствия happens-before:

Пример 1

```
// Поток 1:
int result = 0;
volatile boolean ready = false;

result = 42;
ready = true;
```

```
// Поток 2:
while (true) {
   // Не гарантируется visibility
   // для result, так как нет
   // чтения volatile ready
   System.out.println(result);
}
```

Пример 2

```
// Поток 1:
int result = 0;
boolean ready = false; // не volatile
// Компилятор вправе переставить:
result = 42;
ready = true;
```

```
// Поток 2:
while (!ready);
// Возможные значения:
// зацикливание, 42, 0
System.out.println(result);
```

Атомарные операции

Для некоторых случаев удобно использовать классы

AtomicInteger counter = new AtomicInteger(0);

// И его аналоги AtomicLong, AtomicBoolean

Это аналоги volatile полей, но кроме того они добавляют методы, которые выполняются атомарно:

int newValue = counter.addAndGet(delta); **// Аналог “counter += delta”**

int oldValue = counter.getAndAdd(delta); **// Аналог “counter += delta”**

int newValue = counter.incrementAndGet(); **// Аналог “++counter”**

int oldValue = counter.getAndIncrement(); **// Аналог “counter++”**

В частности, вместо “volatile boolean ready” можно использовать “AtomicBoolean ready” (см. пример)

Механизмы синхронизации

	synchronized	AtomicXXX	volatile
Атомарность	Наиболее универсальный механизм синхронизации. Можно задать любой код для атомарного выполнения.	Ограниченный набор атомарных операций	Нет атомарных операций
Эффективность	Наименее эффективный из всех трех. При этом неэффективность проявляется только в случае, когда блок synchronized пытаются выполнить несколько потоков (thread contention).	Промежуточный по эффективности	Наиболее эффективный из трех

Атомарные операции

Вернемся к примеру producer/reader:

```
Object lock = new Object();
Runnable producer = () -> {
   sleep(100);
   synchronized (lock) {
      result = 42;
      ready = true;
   }
};
Runnable reader = () -> {
   while (true) {
      synchronized (lock) {
         if (ready) {
            System.out.println(result);
            break;
         }
      }
   }
};
```

Цикл while будет использовать 100% ядра процессора, не производя полезной работы

Wait/notify

Для подобного кода можно использовать механизм wait/notify:

producer	reader

synchronized (lock) {
  ...
  ready = true;
  lock.notifyAll();
}
	synchronized (lock) {
	  lock.wait();
	  if (ready) {
	  ...
	  }
	}

Методы lock.wait(), lock.notify() и lock.notifyAll() можно вызывать только внутри блока “synchronized (lock)”.

См. пример producer/reader с wait/notifyAll.

Wait/notify

- Метод lock.wait() освобождает монитор lock и переводит текущий поток в режим ожидания монитора (состояние WAITING). Так как монитор освобожден, другие потоки могут выполнять блоки “synchronized (lock)”, пока этот поток находится в режиме ожидания (“спит”).
- Метод lock.notifyAll() будит все ожидающие этот монитор потоки. Все эти потоки начинают пытаться захватить монитор (это получится не сразу после вызова notifyAll, а только когда вызвавший notifyAll поток выйдет из блока synchronized). После этого все спавшие потоки по очереди захватят монитор и выполнят блок synchronized.

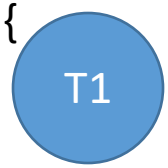
Wait/notify

1


```
synchronized (lock) {
    ...
    lock.await();
    ...
}
```

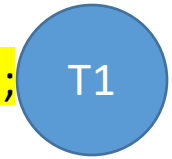
2

```
synchronized (lock) {
    ...
    lock.await();
    ...
}
```



3

```
synchronized (lock) {
    ...
    lock.await();
    ...
}
```



Wait/notify

4

```
synchronized (lock) {
    ...
    lock.await();
    ...
}
```

T1

T2

```
synchronized (lock) {
    ...
    lock.notifyAll();
    ...
}
```

5

```
synchronized (lock) {
    ...
    lock.await();
    ...
}
```

T1

```
synchronized (lock) {
    ...
    lock.notifyAll();
    ...
}
```

T2

6

```
synchronized (lock) {
    ...
    lock.await();
    ...
}
```

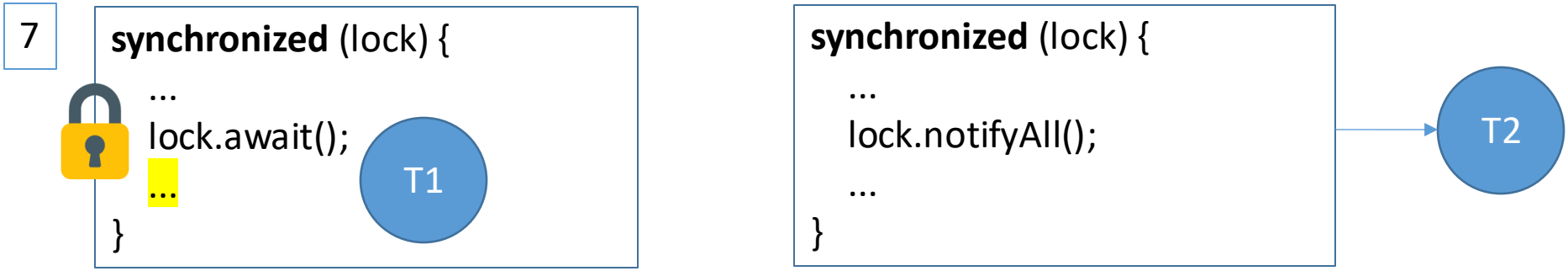
T1

Ожидание освобождения монитора

```
synchronized (lock) {
    ...
    lock.notifyAll();
    ...
}
```

T2

Wait/notify



Метод lock.notify(), в отличие от lock.notifyAll(), будит только один поток. В нашем случае (и в подавляющем большинстве случаев) нужно использовать notifyAll, так как результата producer могут ждать несколько потоков reader, и их все нужно уведомить о доступности результата.

Wait/notify

Есть модификция метода wait с заданием максимального времени ожидания:

```
lock.wait(1000); // Ждем notify, но не более 1 секунды
```

При этом поток оказывается в состоянии TIMED_WAITING.

Wait/notify

Как правило, блок с wait проверяет наступление некоторого условия, а блок с notifyAll меняет статус этого условия:

```
synchronized (lock) {
   while (!someCondition()) {
      lock.wait();
   }
   // Условие someCondition выполнено
}
```

```
synchronized (lock) {
   setSomeCondition();
   lock.notifyAll();
}
```

lock.wait() должен вызываться в цикле, так как wait может ”просыпаться” не обязательно при наступлении условия someCondition, так что его нужно перепроверять при каждом пробуждении.

Синхронизация потоков

В пакете java.util.concurrent.locks есть классы для расширенной поддержки синхронизации.

Класс ReentrantLock является аналогом блока synchronized с некоторыми дополнительными функциями. В новых версиях Java рекомендуется использовать его вместо synchronized.

Класс ReentrantReadWriteLock позволяет блокировать потоки только в случае, когда идет изменение данных, а в случае чтения данных блокировки потоков не происходит.

См. пример использования ReentrantLock и Condition вместо synchronized.

Синхронизация потоков

До сих пор в примерах мы использовали только один объект для блокировки. В больших программах, как правило, их много. Для чего их нужно много?

```
public class Account {
    private static final Object GLOBAL_LOCK = new Object();
    public void withdraw(int sum) {
        synchronized (GLOBAL_LOCK) { ... }
    }
}
Account a1 = new Account();
Account a2 = new Account();
```

Синхронизация потоков

Если в одном потоке будет вызван a1.withdraw(80), а в другом – a2.withdraw(80), то второй поток будет ждать, пока первый поток выполнит блок synchronized, т.к. они используют один объект для блокировки – GLOBAL_LOCK.

Но это не нужно (в простейшем случае), так как счета независимы друг от друга; для того, чтобы проверить достаточность средств для снятия со счета a1, нам не нужно блокировать счет a2 – их данные никак не пересекаются.

Поэтому в данном случае можно использовать отдельный объект для блокировки для каждого объекта Account (т.е. использовать не статическое поле).

Синхронизация потоков

Как правило, выбирается группа полей, доступ к которым защищается блокировкой. Обычно эта группа полей связана каким-либо инвариантом класса. После этого добавляется поле (либо типа Object либо типа ReentrantLock) для синхронизации доступа к этой группе полей.

Крайне желательно, чтобы поле для объекта синхронизации было с модификатором final.

Синхронизация потоков

К сожалению, потокобезопасность методов не работает в композиции:

```
public void transfer(Account from, Account to, int sum) {
    if (from.withdraw(sum)) {
        to.deposit(sum);
    }
}
```

Даже если методы withdraw и deposit потокобезопасны, метод transfer уже не является таковым! Здесь проявятся те же проблемы, что и с методом withdraw – time to check vs time to use.

Синхронизация потоков

Для корректной работы нам нужно будет заблокировать оба счета перед переводом денег:

```
public void transfer(Account from, Account to, int sum) {
    synchronized (from.lock) {
        synchronized (to.lock) {
            if (from.withdraw(sum))
                to.deposit(sum);
        }
    }
}
```

Синхронизация потоков

Но если теперь мы выполним в двух потоках:

transfer(a1, a2, 10);

transfer(a2, a1, 10);

Поток 1 transfer(a1, a2, 10)	Поток 2 transfer(a2, a1, 10)
synchronized (a1.lock)	synchronized (a2.lock)
монитор a1.lock захвачен потоком 1	монитор a2.lock захвачен потоком 2
synchronized (a2.lock) – ждем освобождения a2	synchronized (a1.lock) – ждем освобождения a1
Взаимная блокировка – deadlock!	

Исходный код примера

Синхронизация потоков

Возможные решения:

- Использовать одну глобальную блокировку. Неэффективно – потоки блокируются, даже если операция с непересекающимися счетами
- Сортировать счета по какому-либо принципу (если мы берем блокировки все время в одном порядке, deadlock не происходит). Сложно и не всегда возможно.
- Использовать ReentrantLock и взятие блокировки с таймаутом. Нет гарантии, что операция когда-нибудь будет выполнена.

Многопоточное программирование

Итог: многопоточное программирование – это сложно, и по возможности лучше использовать существующие библиотеки и фреймворки для работы с ним.

К счастью, для стандартных приложений потоки напрямую использовать практически не приходится.

Многопоточное программирование

Следующая лекция:

- Прерывание потоков
- Executors и Futures
- Коллекции java.util.concurrent
- Дополнительные примитивы синхронизации: Semaphore, CountDownLatch
- Project Loom