Java Memory Model

Happens-before

В Java Memory Model введена такая абстракция как happens-before. Она обозначает, что если операция X связана отношением happens-before с операцией Y, то весь код следуемый за операцией Y, выполняемый в одном потоке, видит все изменения, сделанные другим потоком, до операции X.

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

Happens-before

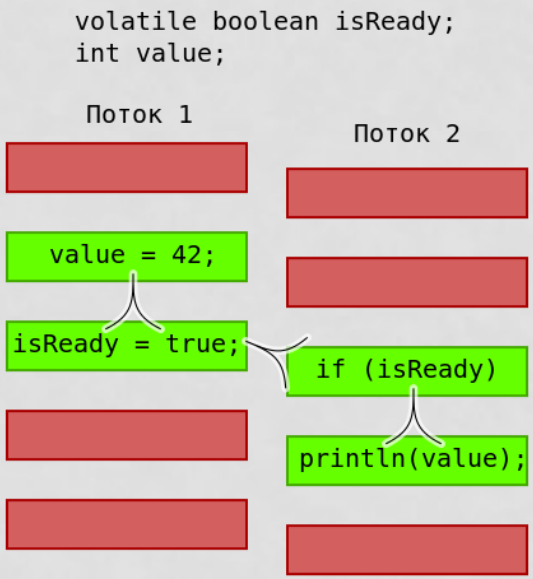
Синхронизация и мониторы:

- Захват монитора (начало synchronized, метод lock) и всё, что после него в том же потоке.
- Возврат монитора (конец synchronized, метод unlock) и всё, что перед ним в том же потоке.
  - Таким образом, оптимизатор может заносить строки в синхроблок, но не наружу.
- Возврат монитора и последующий захват другим потоком.

Happens-before

Запись и чтение:

- Любые зависимости по данным (то есть запись в любую переменную и последующее чтение её же) в одном потоке.
- В одном потоке перед записью в volatile-переменную, и сама запись.
- volatile-чтение и всё, что после него в том же потоке.
- Запись в volatile-переменную и последующее считывание её же.
  - Для объектных переменных (например, volatile List x;) столь сильные гарантии выполняются для ссылки на объект, но не для его содержимого.



Happens-before

Обслуживание объекта:

- Статическая инициализация и любые действия с любыми экземплярами объектов.
- Запись в final-поля в конструкторе и всё, что после конструктора.
  - Как исключение из всеобщей транзитивности, это соотношение happens-before не соединяется транзитивно с другими правилами и поэтому может вызвать межпоточную гонку.
- Любая работа с объектом и finalize().

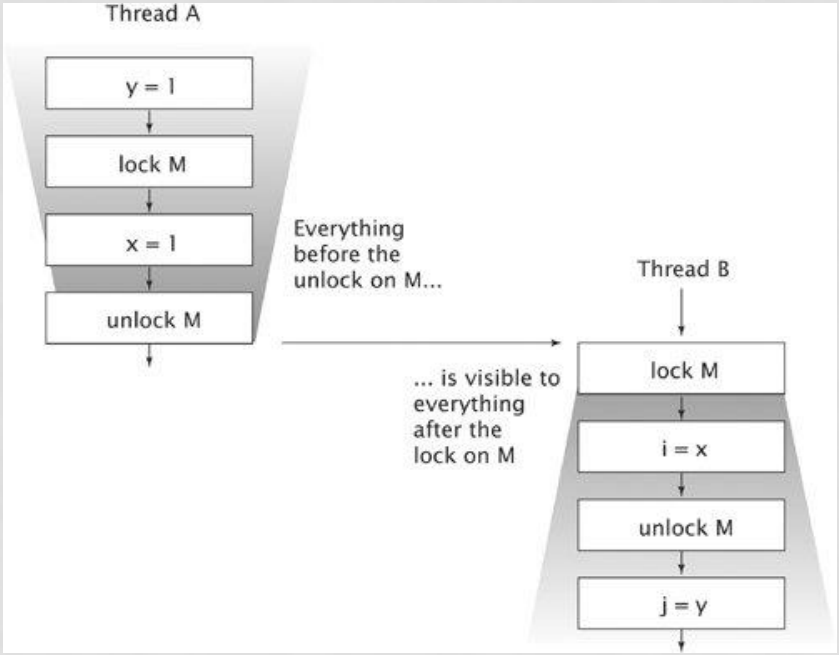
Happens-before

Обслуживание потока:

- Запуск потока и любой код в потоке.
- Зануление переменных, относящихся к потоку, и любой код в потоке.
- Код в потоке и join(); код в потоке и isAlive() == false.
- interrupt() потока и обнаружение факта останова.

Happens-before

В отношении happens-before есть очень большой дополнительный бонус: данное отношение дает не только видимость volatile полей или результатов операций защищенных монитором или локом, но и видимость вообще всего, что делалось до события hapens-before.



Synchronized VS volatile

synchronized

```
class B<T> {
  T x;

  public void set(T v) {
    synchronized (this) {
      x = v;
    } // "release" on unlock
  }

  public T get() {
    synchronized (this) { // "acquire" on lock
      return x;
    }
  }
}
```

volatile

```
class B<T> {
  volatile T x;

  public void set(T v) {
    x = v; // "release" on volatile store
  }

  public T get() {
    return x; // "acquire" on volatile load
  }
}
```

Соответственно

```
int a, b, x;

synchronized (lock) {
      a = x;
      b = 1;
}
```

```
int x;
volatile boolean busyFlag;

while (!compareAndSet(busyFlag, false, true));
a = x;
b = 1;
busyFlag = false;
```

Volatile => можно не думать?

```
@JCStressTest
@State
public class VolatileCounters {
volatile int x;

@Actor
void actor1() {
      for (int i = 0; i < 10; i++) {
            x++;
      }
}

@Actor
void actor2() {
      for (int i = 0; i < 10; i++) {
            x++;
      }
}

@Arbiter
public void arbiter(IntResult1 r) {
      r.r1 = x;
}
}
```

Магия

(fork: #1, iteration #1, JVM args: [-server])

Observed state	Occurrences	Expectation	Interpretation
10	153,217	ACCEPTABLE	$x $y
11	273,440	ACCEPTABLE	$x $y
12	465,262	ACCEPTABLE	$x $y
13	611,123	ACCEPTABLE	$x $y
14	810,790	ACCEPTABLE	$x $y
15	1,139,737	ACCEPTABLE	$x $y
16	1,189,164	ACCEPTABLE	$x $y
17	1,163,565	ACCEPTABLE	$x $y
18	1,149,772	ACCEPTABLE	$x $y
19	986,010	ACCEPTABLE	$x $y
20	7,449,917	ACCEPTABLE	$x $y
6	4	ACCEPTABLE	$x $y
7	6,442	ACCEPTABLE	$x $y
8	23,762	ACCEPTABLE	$x $y
9	66,175	ACCEPTABLE	$x $y

Полу-синхронизация

```
class Box {
        int x;
        public Box(int v) {
                x = v;
        }
}
class RacyBoxy {
        Box box;
        public synchronized void set(Box v) {
                box = v;
        }

        public Box get() {
                return box;
        }
}
```

```
@JCStressTest
@State
public class SynchronizedPublish {
  RacyBoxy boxie = new RacyBoxy();

  @Actor
  void actor() {
    boxie.set(new Box(42)); // set is synchronized
  }

  @Actor
  void observer(IntResult1 r) {
    Box t = boxie.get(); // get is not synchronized
    if (t != null) {
      r.r1 = t.x;
    } else {
      r.r1 = -1;
    }
  }
}
```

x86

(fork: #1, iteration #1, JVM args: [-server])

Observed state	Occurrences	Expectation	Interpretation
-1	43,265,036	ACCEPTABLE	Not ready yet
0	0	ACCEPTABLE	Field is not visible yet
42	1,233,714	ACCEPTABLE	Everything is visible

x86

(fork: #1, iteration #1, JVM args: [-server])

Observed state	Occurrences	Expectation	Interpretation
-1	43,265,036	ACCEPTABLE	Not ready yet
0	0	ACCEPTABLE	Field is not visible yet
42	1,233,714	ACCEPTABLE	Everything is visible

POWER-PC

(fork: #1, iteration #1, JVM args: [-server])

Observed state	Occurrences	Expectation	Interpretation
-1	362,286,539	ACCEPTABLE	Not ready yet
0	2341	ACCEPTABLE	Field is not visible yet
42	616,150	ACCEPTABLE	Everything is visible

Volatile нас (не) спасет!

```
@JCStressTest
@State
public class SynchronizedPublish_VolatileMeh {
  volatile RacyBoxy boxie = new RacyBoxy();

  @Actor
  void actor() {
    boxie.set(new Box(42));
  }

  @Actor
  void observer(IntResult1 r) {
    Box t = boxie.get();
    if (t != null) {
      r.r1 = t.x;
    } else {
      r.r1 = -1;
    }
  }
}
```

Volatile array?

```
@JCStressTest
@State
class VolatileArray {
  volatile int[] arr = new int[2];
  @Actor
  void actor() {
    int[] a = arr;
    a[0] = 1;
    a[1] = 1;
  }
  @Actor
  void observer(IntResult2 r) {
    int[] a = arr;
    r.r1 = a[1];
    r.r2 = a[0];
  }
}
```

Ha **POWER-PC**

(fork: #1, iteration #1, JVM args: [-server])

Observed state	Occurrences	Expectation	Interpretation
0, 0	704,015	ACCEPTABLE	Everything else is acceptable too.
0, 1	1,291	ACCEPTABLE	Everything else is acceptable too.
1, 0	118	ACCEPTABLE_INTERESTING	Ordering? You wish.
1, 1	37,136,486	ACCEPTABLE	Everything else is acceptable too.

Volatile from (not) experts

A

```
@JCStressTest
@State
public class ReleaseOrderWrong {
    int x;
    volatile int g;
    @Actor
    public void actor1() {
        g = 1;
        x = 1;
    }
    @Actor
    public void actor2(IntResult2 r) {
        r.r1 = g;
        r.r2 = x;
    }
}
```

B

```
public class MyList {

  private volatile List<Integer> list;

  void prepareList() {
     list = new ArrayList();
     list.add(1);
     list.add(2);
  }

  List<Integer> getMyList() {
     return list;
  }
}
```

```
@JCStressTest
@State
public class ReleaseOrder2Wrong {
    volatile List<Integer> list;
    @Actor
    public void actor1() {
        list = new ArrayList<>();
        list.add(42);
    }
    @Actor
    public void actor2(IntResult1 r) {
        List<Integer> l = list;
        if (l != null) {
            if (l.isEmpty()) {
                r.r1 = 0;
            } else
                r.r1 = l.get(0);
        } else
            r.r1 = -1;
    }
}
```

(fork: #1, iteration #1, JVM args: [-server])

Observed state	Occurrences	Expectation	Interpretation
-1	65,119,848	ACCEPTABLE	Reading null list
0	252,169	ACCEPTABLE_INTERESTING	List is not fully populated
42	1,980,313	ACCEPTABLE	Reading a fully populated list

C

```
@JCStressTest
@State
public class AcquireOrderWrong {
    int x;
    volatile int g;

    @Actor
    public void actor1() {
        x = 1;
        g = 1;
    }
    @Actor
    public void actor2(IntResult2 r) {
        r.r1 = x;
        r.r2 = g;
    }
}
```

(fork: #1, iteration #1, JVM args: [-server])

Observed state	Occurrences	Expectation	Interpretation
0, 0	60,839,389	ACCEPTABLE	All other cases are acceptable.
0, 1	579	ACCEPTABLE	All other cases are acceptable.
1, 0	41,053	ACCEPTABLE	All other cases are acceptable.
1, 1	40,122,239	ACCEPTABLE	All other cases are acceptable.

D

```
@JCStressTest
@State
public class AcquireOrderWrong {
    int x;
    volatile int g;

    @Actor
    public void actor1() {
        g = 1;
        x = 1;
    }
    @Actor
    public void actor2(IntResult2 r) {
        r.r1 = x;
        r.r2 = g;
    }
}
```

(fork: #1, iteration #1, JVM args: [-server])

Observed state	Occurrences	Expectation	Interpretation
0, 0	108,771,152	ACCEPTABLE	All other cases are acceptable.
0, 1	1,137,881	ACCEPTABLE	All other cases are acceptable.
1, 0	15,218	ACCEPTABLE	All other cases are acceptable.
1, 1	29,451,719	ACCEPTABLE	All other cases are acceptable.

E

```
@JCStressTest
@State
public class SafePublication {

    int x;
    volatile int ready;

    @Actor
    public void actor1() {
        x = 1;
        ready = 1;
    }

    @Actor
    public void actor2(IntResult2 r) {
        r.r1 = ready;
        r.r2 = x;
    }
}
```

(fork: #1, iteration #1, JVM args: [-server])

Observed state	Occurrences	Expectation	Interpretation
0, 0	69,358,115	ACCEPTABLE	All other cases are acceptable.
0, 1	2,402,453	ACCEPTABLE	All other cases are acceptable.
1, 0	0	FORBIDDEN	Happens-before violation
1, 1	44,989,512	ACCEPTABLE	All other cases are acceptable.

Mirror magic

```
@JCStressTest
@State
public class ReadAfterReadTest {
  int a;

  @Actor
  void actor1() {
    a = 1;
  }

  @Actor
  void actor2(IntResult2 r) {
    r.r1 = a;
    r.r2 = a;
  }
}
```

(fork: #1, iteration #1, JVM args: [-server])

Observed state	Occurrences	Expectation	Interpretation
0, 0	16,736,450	ACCEPTABLE	Doing both reads early.
0, 1	3,941	ACCEPTABLE	Doing first read early, not surprising.
1, 0	84,477	ACCEPTABLE_INTERESTING	First read seen racy value early, and second … WTF?
1, 1	108,816,262	ACCEPTABLE	Doing both reads late.

Следствие

```
//есть у нас такой класс
public class T {
 public int field1;

 public T( final int field1 ){
    this.field1 = field1;
 }
}

//...где-то в дебрях кода...
public T sharedRef;

//Thread 1
sharedRef = new T( 10 );

//Thread 2
System.out.println( "sharedRef.field1 = " +
sharedRef.field1 );
```

```
//есть у нас такой класс
public class T {
 public int field1;

 public T( final int field1 ){
    this.field1 = field1;
 }
}

//...где-то в дебрях кода...
public T sharedRef;

//Thread 1
sharedRef = new T( 10 );

//Thread 2
System.out.println( "sharedRef.field1 = " +
sharedRef.field1 );
```

NPE!

```
//Thread 2
if( sharedRef != null ){
   System.out.println("sharedRef.field1 = "
                      + sharedRef.field1 );
} else {
   //...
}
```

```
//Thread 2
if( sharedRef != null ){
   System.out.println("sharedRef.field1 = "
                      + sharedRef.field1 );
} else {
   //...
}
```

NPE!

```
//Thread 2
final T localRef = sharedRef;
if( localRef != null ){
   System.out.println("sharedRef.field1 = "
                      + localRef.field1 );
} else {
   //...
}
```

```
//Thread 2
final T localRef = sharedRef;
if( localRef != null ){
   System.out.println("sharedRef.field1 = "
                      + localRef.field1 );
} else {
   //...
}
```

0!

Safe publication & TSO

```
@JCStressTest
@State
public class UnsafePublication {
    int x = 1;
    MyObject o; // non-volatile, race
    @Actor
    public void publish() {
        o = new MyObject(x);
    }
    @Actor
    public void consume(IntResult1 res) {
        MyObject lo = o;
        if (lo != null) {
            res.r1 = lo.x00 + lo.x01 + lo.x02 + lo.x03;
        } else
            res.r1 = -1;
    }
    static class MyObject {
        int x00, x01, x02, x03;
        public MyObject(int x) {
            x00 = x; x01 = x; x02 = x; x03 = x;
        }
    }
}
```

ДАЖЕ НА x86!

(fork: #1, iteration #1, JVM args: [-server])

Observed state	Occurrences	Expectation	Interpretation
-1	86,515,664	ACCEPTABLE	The object is not yet published
0	751	ACCEPTABLE	Object is published, but all fields are 0.
1	297	ACCEPTABLE	Object is published, at least 1 field is visible.
2	211	ACCEPTABLE	Object is published, at least 2 fields are visible.
3	953	ACCEPTABLE	Object is published, at least 3 fields are visible.
4	4,057,524	ACCEPTABLE	Object is published, all fields are visible.