

第29讲 | Java内存模型中的happen-before是什么？

2018-07-12 杨晓峰





第29讲 | Java内存模型中的happen-before是什么？

杨晓峰

- 00:19 / 10:17

Java语言在设计之初就引入了线程的概念，以充分利用现代处理器的计算能力，这既带来了强大、灵活的多线程机制，也带来了线程安全等令人混淆的问题，而Java内存模型（Java Memory Model, JMM）为我们提供了一个在纷乱之中达成一致的指导准则。

今天我要问你的问题是，Java内存模型中的happen-before是什么？

典型回答

Happen-before关系，是Java内存模型中保证多线程操作可见性的机制，也是对早期语言规范中含糊的可见性概念的一个精确定义。

它的具体表现形式，包括但不限于是我们直觉中的synchronized、volatile、lock操作顺序等方面，例如：

- 线程内执行的每个操作，都保证happen-before后面的操作，这就保证了基本的程序顺序规则，这是开发者在书写程序时的基本约定。
- 对于volatile变量，对它的写操作，保证happen-before在随后对该变量的读取操作。
- 对于一个锁的解锁操作，保证happen-before加锁操作。
- 对象构建完成，保证happen-before于finalizer的开始动作。
- 甚至是类似线程内部操作的完成，保证happen-before其他Thread.join()的线程等。

这些happen-before关系是存在着传递性的，如果满足a happen-before b和b happen-before c，那么a happen-before c也成立。

前面我一直用happen-before，而不是简单说前后，是因为它不仅仅是对执行时间的保证，也包括对内存读、写操作顺序的保证。仅仅是时钟顺序上的先后，并不能保证线程交互的可见性。

考点分析

今天的问题是一个常见的考察Java内存模型基本概念的问题，我前面给出的回答尽量选择了和日常开发相关的规则。

JMM是面试的热点，可以看作是深入理解Java并发编程、编译器和JVM内部机制的必要条件，但这同时也是个容易让初学者无所适从的主题。对于学习JMM，我有一些个人建议：

- 明确目的，克制住技术的诱惑。除非你是编译器或者JVM工程师，否则我建议不要一头扎进各种CPU体系结构，纠结于不同的缓存、流水线、执行单元等。这些东西虽然很酷，但其复杂性是超乎想象的，很可能会无谓增加学习难度，也未必有实践价值。
- 克制住对“秘籍”的诱惑。有些时候，某些编程方式看起来能起到特定效果，但分不清是实现差异导致的“表现”，还是“规范”要求的行为，就不要依赖于这种“表现”去编程，尽量遵循语言规范进行，这样我们的应用行为才能更加可靠、可预计。

在这一讲中，兼顾面试和编程实践，我会结合例子梳理下面两点：

- 为什么需要JMM，它试图解决什么问题？
- JMM是如何解决可见性等各种问题的？类似volatile，体现在具体用例中有什么效果？

注意，专栏中Java内存模型就是特指JSR-133中重新定义的JMM规范。在特定的上下文里，也许会与JVM（Java）内存结构等混淆，并不存在绝对的对错，但一定要清楚面试官的本意，有的面试官也会特意考察是否清楚这两种概念的区别。

知识扩展

为什么需要JMM，它试图解决什么问题？

Java是最早尝试提供内存模型的语言，这是简化多线程编程、保证程序可移植性的一个飞跃。早期类似C、C++等语言，并不存在内存模型的概念（C++ 11中也引入了标准内存模

型)，其行为依赖于处理器本身的[内存一致性模型](#)，但不同的处理器可能差异很大，所以一段C++程序在处理器A上运行正常，并不能保证其在处理器B上也是一致的。

即使如此，最初的Java语言规范仍然是存在着缺陷的，当时的目标是，希望Java程序可以充分利用现代硬件的计算能力，同时保持“书写一次，到处执行”的能力。

但是，显然问题的复杂度被低估了，随着Java被运行在越来越多的平台上，人们发现，过于泛泛的内存模型定义，存在很多模棱两可之处，对synchronized或volatile等，类似指令重排序时的行为，并没有提供清晰规范。这里说的指令重排序，既可以是[编译器优化行为](#)，也可能是源自于现代处理器的[乱序执行](#)等。

换句话说：

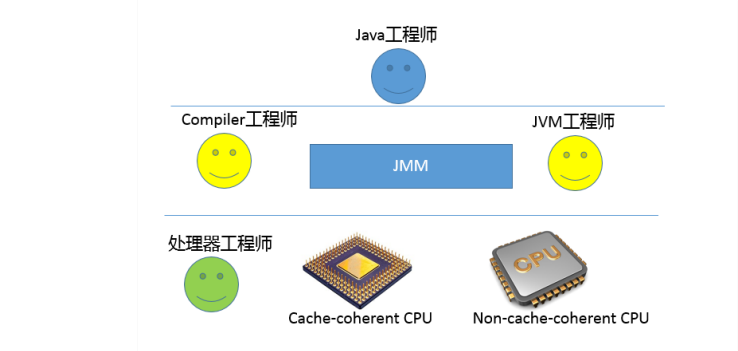
- 既不能保证一些多线程程序的正确性，例如最著名的就是双检锁（Double-Checked Locking, DCL）的失效问题，具体可以参考我在[第14讲](#)对单例模式的说明，双检锁可能导致未完整初始化的对象被访问，理论上这叫并发编程中的安全发布（Safe Publication）失败。
- 也不能保证同一段程序在不同的处理器架构上表现一致，例如有的处理器支持缓存一致性，有的不支持，各自都有自己的内存排序模型。

所以，Java迫切需要一个完善的JMM，能够让普通Java开发者和编译器、JVM工程师，能够清晰地达成共识。换句话说，可以相对简单并准确地判断出，多线程程序什么样的执行序列是符合规范的。

所以：

- 对于编译器、JVM开发者，关注点可能是如何使用类似[内存屏障](#)（Memory-Barrier）之类技术，保证执行结果符合JMM的推断。
- 对于Java应用开发者，则可能更加关注volatile、synchronized等语义，如何利用类似happen-before的规则，写出可靠的多线程应用，而不是利用一些“秘籍”去糊弄编译器、JVM。

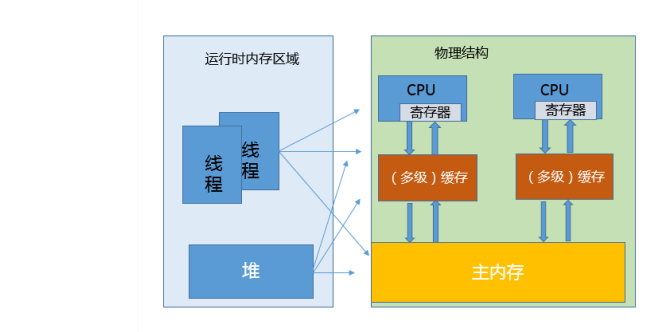
我画了一个简单的角色层次图，不同工程师分工合作，其实所处的层面是有区别的。JMM为Java工程师隔离了不同处理器内存排序的区别，这也是为什么我通常不建议过早深入处理器体系结构，某种意义上来说，这样本就违背了JMM的初衷。



JMM是怎么解决可见性等问题的呢？

在这里，我有必要简要介绍一下典型的问题场景。

我在[第25讲](#)里介绍了JVM内部的运行时数据区，但是真正程序执行，实际是要跑在具体的处理器内核上。你可以简单理解为，把本地变量等数据从内存加载到缓存、寄存器，然后运算结束写回主内存。你可以从下面示意图，看这两种模型的对应。



看上去很美好，但是当多线程共享变量时，情况就复杂了。试想，如果处理器对某个共享变量进行了修改，可能只是体现在该内核的缓存里，这是个本地状态，而运行在其他内核上的线程，可能还是加载的旧状态，这很可能导致一致性的问题。从理论上来说，多线程共享引入了复杂的数据依赖性，不管编译器、处理器怎么做重排序，都必须尊重数据依赖性的要求，否则就打破了正确性！这就是JMM所要解决的问题。

JMM内部的实现通常是依赖于所谓的内存屏障，通过禁止某些重排序的方式，提供内存可见性保证，也就是实现了各种happen-before规则。与此同时，更多复杂度在于，需要尽量确保各种编译器、各种体系结构的处理器，都能够提供一致的行为。

我以volatile为例，看看如何利用内存屏障实现JMM定义的可见性？

对于一个volatile变量：

- 对该变量的写操作之后，编译器会插入一个写屏障。
- 对该变量的读操作之前，编译器会插入一个读屏障。

内存屏障能够在类似变量读、写操作之后，保证其他线程对volatile变量的修改对当前线程可见，或者本地修改对其他线程提供可见性。换句话说，线程写入，写屏障会通过类似强迫刷出处理器缓存的方式，让其他线程能够拿到最新数值。

如果你对更多内存屏障的细节感兴趣，或者想了解不同体系结构的处理器模型，建议参考JSR-133[相关文章](#)，我个人认为这些都是和特定硬件相关的，内存屏障之类只是实现JMM规范的技术手段，并不是规范的要求。

从应用开发者的角度，JMM提供的可见性，体现在类似volatile上，具体行为是什么样呢？

我这里循序渐进的举两个例子。

首先，前几天有同学问我一个问题，请看下面的代码片段，希望达到的效果是，当condition被赋值为false时，线程A能够从循环中退出。

```
// Thread A
while (condition) {
}

// Thread B
condition = false;
```

这里就需要condition被定义为volatile变量，不然其数值变化，往往并不能被线程A感知，进而无法退出。当然，也可以在while中，添加能够直接或间接起到类似效果的代码。

第二，我想举Brian Goetz提供的一个经典用例，使用volatile作为守卫对象，实现某种程度上轻量级的同步，请看代码片段：

```
Map configOptions;
char[] configText;
volatile boolean initialized = false;

// Thread A
configOptions = new HashMap();
configText = readConfigFile(fileName);
processConfigOptions(configText, configOptions);
initialized = true;

// Thread B
while (!initialized)
    sleep();
// use configOptions
```

JSR-133重新定义的JMM模型，能够保证线程B获取的configOptions是更新后的数值。

也就是说volatile变量的可见性发生了增强，能够起到守护其上下文的作用。线程A对volatile变量的赋值，会强制将该变量自己和当时其他变量的状态都刷出缓存，为线程B提供可见性。当然，这也是以一定的性能开销作为代价的，但毕竟带来了更加简单的多线程行为。

我们经常会说volatile比synchronized之类更加轻量，但轻量也仅仅是相对的，volatile的读、写仍然要比普通的读写要开销更大，所以如果你是在性能高度敏感的场景，除非你确定需要它的语义，不然慎用。

今天，我从happen-before关系开始，帮你理解什么是Java内存模型。为了更方便理解，我作了简化，从不同工程师的角色划分等角度，阐述了问题的由来，以及JMM是如何通过类似内存屏障等技术实现的。最后，我以volatile为例，分析了可见性在多线程场景中的典型用例。

一课一练

关于今天我们讨论的题目你做到心中有数了吗？今天留给你的思考题是，给定一段代码，如何验证所有符合JMM执行可能？有什么工具可以辅助吗？

请在留言区写写你对这个问题的思考，我会选出经过认真思考的留言，送给你一份学习奖励礼券，欢迎你与我一起讨论。

你的朋友是不是也在准备面试呢？你可以“请朋友读”，把今天的题目分享给好友，或许你能帮到他。



公号-Java大后端	2018-07-12
可以从四个维度去理解JMM	
1 从JVM运行时视角来看，JVM内存可分为JVM栈、本地方法栈、PC计数器、方法区、堆；其中前三区是线程所私有的，后两者则是所有线程共有的	
2 从JVM内存功能视角来看，JVM可分为堆内存、非堆内存与其他。其中堆内存对应于上述的堆区；非堆内存对应于上述的JVM栈、本地方法栈、PC计数器、方法区；其他则对应于直接内存	
3 从线程运行视角来看，JVM可分为主内存与线程工作内存。Java内存模型规定了所有的变量都存储在主内存中；每个线程的工作内存保存了被该线程使用到的变量，这些变量是主内存的副本拷贝，线程对变量的所有操作（读取、赋值等）都必须在工作内存中进行，而不能直接读写主内存中的变量	
4 从垃圾回收视角来看，JVM中的堆区=新生代+老年代。新生代主要用于存放新创建的对象与存活时短小的对象，新生代=E+S1+S2；老年代则用于存放存活时间长的对象	
三木子	2018-07-12
刚看完文章，在看了下《深入JAVA虚拟机》的java内存模型章节， 又加深点印象。这本书真不能像小说一样读！	
不瘦十斤不换名字	2018-07-18
jmm可以从两个方面理解。第一个方面是jmm规范了一个抽象的内存结构，jmm运行时内存进行简化抽象得到了主内存和本地内存两块内存区域。在线程运行时，从主内存中加载数据到本地内存，在本地内存中完成计算后，在刷新到主内存。第二个方面是jmm可以理解我一组保证数据内存可见性和程序正确性的规则，由于这种内存模型存在很明显的数据一致性问题，再加上编译器的指令重排序和cpu乱序执行优化，使问题更加复杂了，而jmm就是通过类似内存屏障等手段保证了内存可见性问题以及在多线程环境下乱序优化和指令重排序带来的线程安全性问题。从使用者的角度理解，jmm实际上平衡了java程序员对简单性的渴望和jvm工程师cpu工程师对性能的追求的平衡。面向底层时，jmm在保证正确性的同时最大限度的放宽了对指令重排序和乱序执行优化的限制，面向上层jmm通过内存屏障实现了volatile和synchronized等内存语意，使程序员可以简单方便的应用这些特性来保证程序的程序的正确性。	
不瘦十斤不换名字	2018-07-18
jmm可以从两个方面理解。一是抽象内存结构，jmm把内存结构抽象成主内存和线程本地内存两种。在计算时，从主内存中加载数据，在本地内存计算，然后在刷新到主内存，但这种模型有明显的一致性问题，二是jmm可以理解我一组保证内存可见性及正确性的规范，因为这种模型存在明显的一致性问题，同时，由于java编译器指令重排序优化和cpu乱序执行优化的存在，使问题变得更加复杂，所以jmm基于内存屏障提供了类似sa if serial以及happens before的保障。从使用者的角度理解，jmm平衡了jvm工程师以及cpu工程师在性能上的需求和java程序员在简单性上的渴望，所以jmm在保证正确性的同时会最大限度的放宽对指令重排和乱序执行的限制。对于java程序员，jmm提供了如volatile和synchronized这样的顶层机制为程序员提供简单的编程模型。（参考老师的文章及java开发编程艺术 理解）	
mao	2018-07-17
java虚拟机规范中对对普通变量的赋值是不是也强制刷新到主内存	
刘杰	2018-07-13
您又说到单例模式中的那个其他线程访问到未初始完成对象的问题，忍不住再问下，是否可以先用一个局部变量初始化对象，再把局部变量赋值给类成员？这样可以解决吗？	
作者回复	
不清楚。这个我没想到规范中哪一条可以保证； 建议看看比较权威的文章 <a href="https://shipilev.net/blog/2014/safe-public-construction/#_safe_initialization">https://shipilev.net/blog/2014/safe-public-construction/#_safe_initialization</a>	2018-07-14
3W1H	2018-07-12
老师的例子里面的thread a,b的逻辑是在一个方法里面吗？	
作者回复	
和几个方法没关系	2018-07-14
Seven4X	2018-07-12
老师💎💎：我有个问题： 有一个全局的ConcurrentHashMap<String,Set<Foo>>> Key是Foo的一个字符串属性 然后有一个方法 通过Foo.getStr() 以此为key判断是否存在map 中如果不存在就创建一个set添加到map 现在这个方法并发情况下第一次创建Set时会出现替换Set的问题，我想如何通过volatile解决？原谅学生愚钝。	



