

一、Class 文件结构

第一章 概述

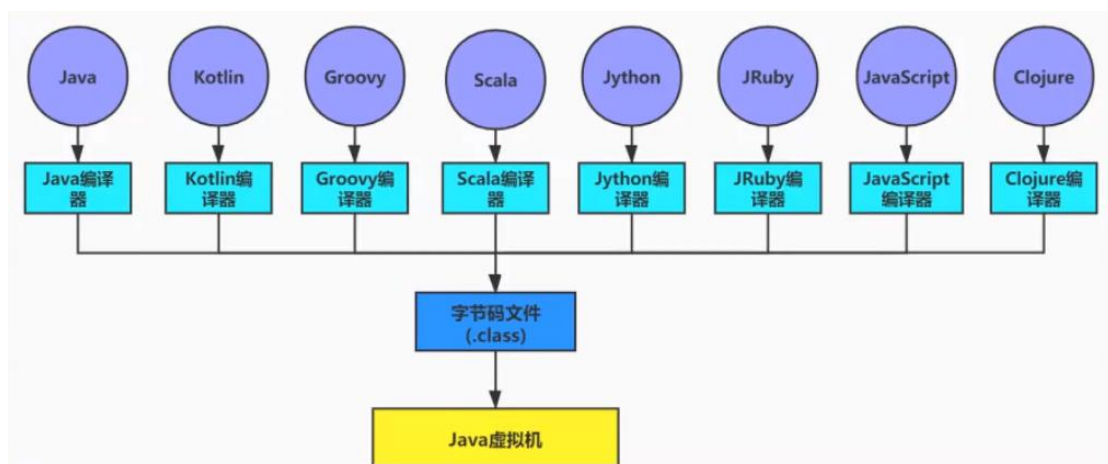
1. 字节码文件的跨平台性

1. Java 语言，跨平台的(write once, run anywhere)

- 当 Java 源代码成功编译成字节码后，如果想在不同的平台上面运行，则无须再次编译
- 这个优势不再那么吸引人了。Python、PHP、Perl、Ruby、Lisp 等有强大的解释器
- 跨平台似乎已经快称为一门语言必选的特性

2. Java 虚拟机：跨语言的平台

Java 虚拟机不和包括 Java 在内的任何语言绑定，它只与"Class 文件"这种特定的二进制文件格式所关联。无论使用何种语言进行软件开发，只要能将源文件编译为正确的 Class 文件，那么这种语言就可以在 Java 虚拟机上执行，可以说，统一而强大的 Class 文件结构，就是 Java 虚拟机的基石、桥梁。

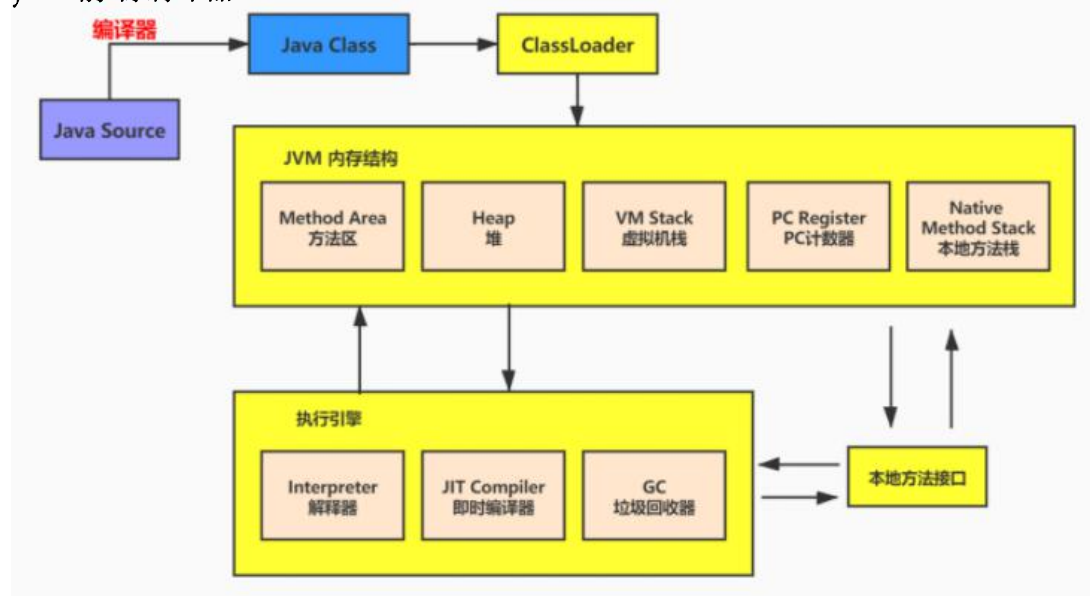


<https://docs.oracle.com/javase/specs/index.html>, 所有的 JVM 全部遵守 Java 虚拟机规范, 也就是说所有的 JVM 环境都是一样的, 这样一来字节码文件可以在各种 JVM 上进行。

3. 想要让一个 Java 程序正确地运行在 JVM 中, Java 源码就是必须要被编译为符合 JVM 规范的字节码

- 前端编译器的主要任务就是负责将符合 Java 语法规范的 Java 代码转换为符合 JVM 规范的字节码文件
- javac 是一种能够将 Java 源码编译为字节码的前端编译器
- javac 编译器在将 Java 源码编译为一个有效的字节码文件过程中经历了 4 个步骤, 分别是词法分析、语法分析、语义分析以及生成字节码。

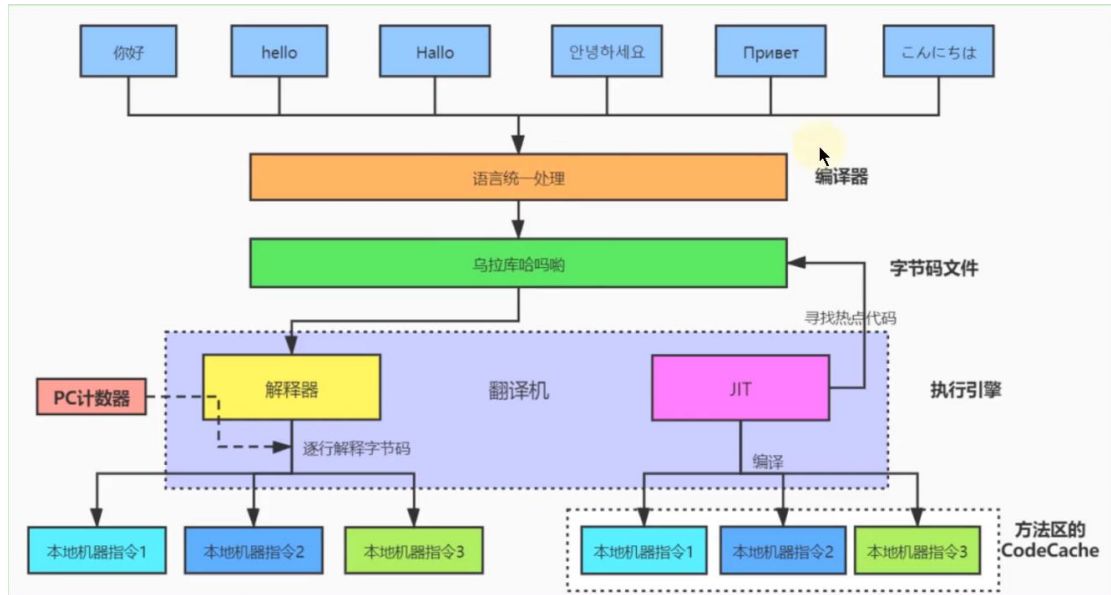
javac 前端编译器



Oracle 的 JDK 软件包括两部分内容:

- 一部分是将 Java 源代码编译成 Java 虚拟机的指令集的编译器
- 另一部分是用于实现 Java 虚拟机的运行时环境

2. Java 的前端编译器



前端编译器 VS 后端编译器

Java 源代码的编译结果是字节码，那么肯定需要有一种编译器能够将 Java 源码编译为字节码，承担这个重要责任的就是配置在 `path` 环境变量中的 `javac` 编译器。`javac` 是一种能够将 Java 源码编译为字节码的前端编译器。

HotSpot VM 并没有强制要求前端编译器只能使用 `javac` 来编译字节码，其实只要编译结果符合 JVM 规范都可以被 JVM 所识别即可。在 Java 的前端编译器领域，除了 `javac` 之外，还有一种被大家经常用到的前端编译器，那就是内置在 Eclipse 中的 ECJ (Eclipse Compiler for Java) 编译器。和 `javac` 的全量式编译不同，ECJ 是一种增量式编译器。

- 在 Eclipse 中，当开发人员编写完代码后，使用 "Ctrl + S" 快捷键时，ECJ 编译器所采取的编译方案是把未编译部分的源码逐行进行编译，而非每次都全量编译。因此 ECJ 的编译效率会比 `javac` 更加迅速和高效，当然编译质量和 `javac` 相比大致还是一样的

-
- ECJ 不仅是 Eclipse 的默认内置前端编译器，在 Tomcat 中同样也是使用 ECJ 编译器来编译 jsp 文件。由于 ECJ 编译器是采用 GPLv2 的开源协议进行源代码公开，所以，大家可以登录 Eclipse 官网下载 ECJ 编译器的源码进行二次开发
 - 默认情况下，IntelliJ IDEA 使用 javac 编译器（还可以自己设置为 AspectJ 编译器 ajc）

前端编译器并不会直接涉及编译优化等方面的技术，而是将这些具体优化细节移交给 HotSpot 的 JIT 编译器负责

3. 透过字节码指令看代码细节

- BAT 面试题
 - 类文件结构有几个部分？
 - 知道字节码吗？字节码都有哪些？Integer x = 5; int y = 5; 比较 x == y 都经过哪些步骤？
- 代码举例

```
public class IntegerTest {  
  
    public static void main(String[] args) {  
  
        透过字节码可以看出,当Integer的范围在-128 - +127 之间会在数组  
        中直接拿取数值超过这个范围会重新new对象  
  
        Integer i1 = 10;  
        Integer i2 = 10;  
        System.out.println(i1 == i2); //true  
        Integer i3 = 128;  
        Integer i4 = 128;  
        System.out.println(i3 == i4); //false  
  
    }  
}
```

```
}
```

```
public class StringTest {  
  
    public static void main(String[] args) {  
  
        String str = new String("hello") + new String("world");  
  
        String str1 = "helloworld";  
  
        System.out.println(str == str1);  
  
    }  
  
}
```

```
public class SonTest {  
  
    public static void main(String[] args) {  
  
        Father f = new Son();  
  
        System.out.println(f.x);  
  
    }  
  
}  
  
class Father {  
  
    int x = 10;  
  
    public Father() {  
  
        this.print();  
  
        x = 20;  
  
    }  
  
    public void print() {  
  
        System.out.println("Father.x = " + x);  
  
    }  
  
}
```

```
    }  
}  
  
class Son extends Father {  
    int x = 30;  
    public Son() {  
        this.print();  
        x = 40;  
    }  
    public void print() {  
        System.out.println("Son.x = " + x);  
    }  
}
```

第二章 虚拟机的基石：Class 文件

字节码文件里是什么？

源代码经过编译器编译之后便会生成一个字节码文件，字节码是一种二进制的类文件，它的内容是 JVM 的指令，而不像 C、C++ 经由编译器直接生成机器码

什么事字节码指令(byte code)?

Java 虚拟机的指令由一个字节长度的、代表着某种特定操作含义的**操作码(opcode)以及跟随其后的零至多个代表此操作所需参数的操作数(operand)**所构成。虚拟机中许多指令并不包含操作数，只有一个操作码

比如：

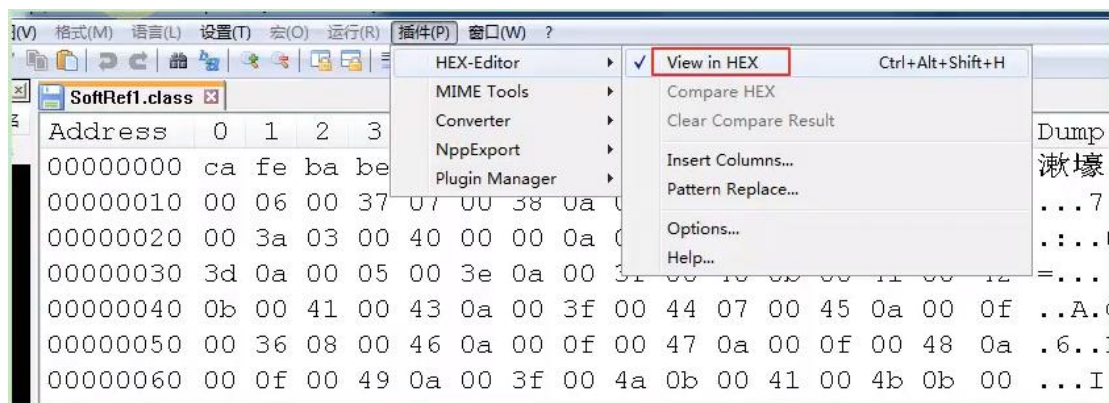
```

1  0 aload_0
2  1 invokespecial #1 <com/atguigu/java/Father.<init>>
3  4 aload_0
4  5 bipush 30
5  7 putfield #2 <com/atguigu/java/Son.x>
6 10 aload_0
7 11 invokevirtual #3 <com/atguigu/java/Son.print>
8 14 aload_0
9 15 bipush 40
10 17 putfield #2 <com/atguigu/java/Son.x>
11 20 return

```

如何解读供虚拟机解释执行的二进制字节码？

方式一：一个一个二进制的看，这里用到的是 Notepad++，需要安装一个 HEX-Editor 插件，或者使用 Binary Viewer



方式二：使用 javap 指令，JDK 自带的反解析工具

方式三：使用 IDEA 插件，jclasslib 或 jclasslib bytecode viewer 客户端工具

第三章 Class 文件结构

- 官方文档位置

<https://docs.oracle.com/javase/specs/jvms/se8/html/jvms-4.html>

- Class 类的本质

任何一个 Class 文件都对应着唯一一个类或接口的定义信息，但反过来说，Class 文件实际上它并不一定以磁盘文件形式存在。Class 文件是一组以 8 位字节为基础单位的二进制流

- Class 文件格式

Class 的结构不像 XML 等描述语言，由于它没有任何分隔符号。所以在其中的数据项，无论是字节顺序还是数量，都是被严格限定的，哪个字节代表什么含义，长度是多少，先后顺序如何，都不允许改变

Class 文件格式采用一种类似于 C 语言结构体的方式进行数据存储，这种结构中只有两种数据类型：**无符号数和表**

- 1) **无符号数属于基本的数据类型**，以 u1、u2、u4、u8 来分别代表 1 个字节、2 个字节、4 个字节、8 个字节的无符号数，无符号数可以用来描述数字、索引引用、数量值或者按照 UTF-8 编码构成字符串值
- 2) **表是由多个无符号数或者其他表作为数据项构成的复合数据类型**，所有表都习惯性地以"_info"结尾。表用于描述有层次关系的复合结构的数据，整个 Class 文件本质上就是一张表。由于表没有固定长度，所以通常会在其前面加上个数说明

代码举例

```
public class Demo {  
    private int num = 1;  
  
    public int add() {
```



```
        num = num + 2;

        return num;

    }
}
```

对应的字节码文件：

```
ClassFile { //官方文档Class文件结构
    u4          magic;
    u2          minor_version;
    u2          major_version;
    u2          constant_pool_count;
    cp_info     constant_pool[constant_pool_count-1];
    u2          access_flags;
    u2          this_class;
    u2          super_class;
    u2          interfaces_count;
    u2          interfaces[interfaces_count];
    u2          fields_count;
    field_info  fields[fields_count];
    u2          methods_count;
    method_info methods[methods_count];
    u2          attributes_count;
    attribute_info attributes[attributes_count];
}
```

换句话说，充分理解了每一个字节码文件的细节，自己也可以反编译出 **Java** 源文件来

● **Class** 文件结构概述

Class 文件的结构并不是一成不变的，随着 **Java** 虚拟机的不断发展，总是不可避免地会对 **Class** 文件结构做出一些调整，但是其基本结构和框架是非常稳定的

Class 文件的总体结构如下：

- 1) 魔数
- 2) Class 文件版本
- 3) 常量池
- 4) 访问标志
- 5) 类索引、父类索引、接口索引集合
- 6) 字段表集合
- 7) 方法表集合
- 8) 属性表集合

类型	名称	说明	长度	数量
u4	magic	魔数,识别Class文件格式	4个字节	1
u2	minor_version	副版本号(小版本)	2个字节	1
u2	major_version	主版本号(大版本)	2个字节	1
u2	constant_pool_count	常量池计数器	2个字节	1
cp_info	constant_pool	常量池表	n个字节	constant_pool_count-1
u2	access_flags	访问标识	2个字节	1
u2	this_class	类索引	2个字节	1
u2	super_class	父类索引	2个字节	1
u2	interfaces_count	接口计数器	2个字节	1
u2	interfaces	接口索引集合	2个字节	interfaces_count
u2	fields_count	字段计数器	2个字节	1
field_info	fields	字段表	n个字节	fields_count
u2	methods_count	方法计数器	2个字节	1
method_info	methods	方法表	n个字节	methods_count
u2	attributes_count	属性计数器	2个字节	1
attribute_info	attributes	属性表	n个字节	attributes_count

1. 魔数：Class 文件的标志

Magic Number(魔数)

-
- 每个 Class 文件开头的 4 个字节的无符号整数称为魔数(Magic Number)
 - 它的唯一作用是确定这个文件是否为一个能被虚拟机接受的有效合法的 Class 文件。即：魔数是 Class 文件的标识符
 - 魔数值固定为 0xCAFEBAE。不会改变
 - 如果一个 Class 文件不以 0xCAFEBAE 开头，虚拟机在进行文件校验的时候就会直接抛出以下错误：

Error: A JNI error has occurred, please check your installation and try again

Exception in thread "main" java.lang.ClassFormatError: Incompatible magic value 1885430635 in class file StringTest

2. Class 文件版本号

- 紧接着魔数的 4 个字节存储的是 Class 文件的版本号。同样也是 4 个字节。第 5 个和第 6 个字节所代表的含义就是编译的副版本号 `minor_version`，而第 7 个和第 8 个字节就是编译的主版本号 `major_version`
- 它们共同构成了 Class 文件的格式版本号。譬如某个 Class 文件的主版本号为 M，副版本号为 m，那么这个 Class 文件的格式版本号就确定为 M.m
- 版本号和 Java 编译器的对应关系如下表：

主版本 (十进制)	副版本 (十进制)	编译器版本
45	3	1.1
46	0	1.2
47	0	1.3
48	0	1.4
49	0	1.5
50	0	1.6
51	0	1.7
52	0	1.8
53	0	1.9
54	0	1.10
55	0	1.11

- Java 的版本号是从 45 开始的，JDK 1.1 之后的每个 JDK 大版本发布主版本号向上加 1
- 不同版本的 Java 编译器编译的 Class 文件对应的版本是不一样的。目前，高版本的 Java 虚拟机可以执行由低版本编译器生成的 Class 文件，但是低版本的 Java 虚拟机不能执行由高版本编译器生成的 Class 文件。否则 JVM 会抛出 `java.lang.UnsupportedClassVersionError` 异常(向下兼容)
- 在实际应用中，由于开发环境和生产环境的不同，可能会导致该问题的发生。因此，需要我们在开发时，特别注意开发编译的 JDK 版本和生产环境的 JDK 版本是否一致
 - 虚拟机 JDK 版本为 1.k ($k \geq 2$)时，对应的 Class 文件格式版本号的范围为 45.0 - 44 + k.0(含两端)

3. 常量池：存放所有常量

- 常量池是 Class 文件中内容最为丰富的区域之一。常量池对于 Class 文件中的字段和方法解析也有着至关重要的作用
- 随着 Java 虚拟机的不断发展，常量池的内容也日渐丰富，可以说，常量池

是整个 Class 文件的基石

- 在版本号之后，紧跟着的是常量池的数量，以及若干个常量池表项
- 常量池中常量的数量是不固定的，所以在常量池的入口需要放置一项 u2 类型的无符号数，代表常量池容量计数值(constant_pool_count)，与 Java 中语言习惯不一样的是，这个容量计数是从 1 而不是 0 开始的

类型	名称	数量
u2 (无符号数)	constant_pool_count	1
cp_info (表)	constant_pool	constant_pool_count-1

由上表可见，Class 文件使用了一个前置的容量计数器(constant_pool_count)加若干个连续的数据项(constant_pool)的形式来描述常量池内容，我们把这一系列连续常量池数据称为常量池集合

- 常量池表项中，用于存放编译时期生成的各种字面量和符号引用，这部分内容将在类加载后进入方法区的运行时常量池中存放

(1) 常量池计数器

- 由于常量池的数量不固定，时长时短，所以需要放置两个字节来表示常量池容量计数值
- 常量池容量计数值(u2 类型)：从 1 开始，表示常量池中有多少项常量。即 $\text{constant_pool_count} = 1$ 表示常量池中有 0 个常量项
- Demo 的值为：

Address	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	a	b	c	d	e	f	Dump
00000000	ca	fe	ba	be	00	00	00	34	00	16	0a	00	04	00	12	09	漱壕..

其值为 0x0016，对应的十进制值为 22

需要注意的是，这实际上只有 21 项常量。索引为范围是 1-21。为什么呢？

通常我们写代码时都是从 0 开始的，但是这里的常量池却是从 1 开始，因为它把第 0 项常量空出来了。这是为了满足后面某些指向常量池的索引值的数据在特定情况下需要表达"不引用任何一个常量池项目"的含义，这种情况可用索引值 0 来表示

(2) 常量池表

- `constant_pool` 是一种表结构，以 `1 ~ constant_pool_count - 1` 为索引。表明了后面有多少个常量项
- 常量池主要存放两大类常量：字面量 (Literal) 和符号引用 (Symbolic References)
- 它包含了 Class 文件结构及其子结构中引用的所有字符串常量、类或接口名、字段名和其他常量。常量池中的每一项都具备相同的特征。第 1 个字节作为类型标记，用于确定该项的格式，这个字节称为 tag byte(标记字节、标签字节)

类型	标志(或标识)	描述
CONSTANT_utf8_info	1	UTF-8 编码的字符串
CONSTANT_Integer_info	3	整型字面量
CONSTANT_Float_info	4	浮点型字面量
CONSTANT_Long_info	5	长整型字面量
CONSTANT_Double_info	6	双精度浮点型字面量

CONSTANT_Class_info	7	类或接口的符号引用
CONSTANT_String_info	8	字符串类型字面量
CONSTANT_Fieldref_info	9	字段的符号引用
CONSTANT_Methodref_info	10	类中方法的符号引用
CONSTANT_InterfaceMethodref_info	11	接口中方法的符号引用
CONSTANT_NameAndType_info	12	字段或方法的符号引用
CONSTANT_MethodHandle_info	15	表示方法句柄
CONSTANT_MethodType_info	16	标志方法类型
CONSTANT_InvokeDynamic_info	18	表示一个动态方法调用点

① 字面量和符号引用

在对这些常量解读前，需要搞清楚几个概念

常量池主要存放两大类常量：**字面量 (Literal)** 和 **符号引用 (Symbolic References)**。如下表：

常量	具体的常量
字面量	文本字符串
	声明为final的常量值
符号引用	类和接口的全限定名
	字段的名称和描述符
	方法的名称和描述符

全限定名

`com/atguigu/test/Demo` 这个就是类的全限定名，仅仅是把包的`"."`替换成`"/"`，为了使连续的多个全限定名之间不产生混淆，在使用时最后一般会加入一个`;"`表示全限定名结束

简单名称

简单名称是指没有类型和参数修饰的方法或者字段名称，上面例子中的类的 `add()` 方法和 `num` 字段的简单名称分别是 `add` 和 `num`

描述符

****描述符的作用是用来描述字段的数据类型、方法的参数列表(包括数量、类型以及顺序)和返回值。根据描述符规则，基本数据类型(byte、char、double、float、int、long、short、boolean)以及代表无返回值的 void 类型都用一个大写字符来表示，而对象类型则用字符 L 加对象的全限定名表示，详见下表：**

标志符	含义
B	基本数据类型byte
C	基本数据类型char
D	基本数据类型double
F	基本数据类型float
I	基本数据类型int
J	基本数据类型long
S	基本数据类型short
Z	基本数据类型boolean
V	代表void类型
L	对象类型，比如：Ljava/lang/Object;
[数组类型，代表一维数组。比如：double[][][] is [[[D

用描述符来藐视方法时，按照先参数列表，后返回值的顺序描述，参数列表按照参数的严格顺序放在一组小括号"()"之内，如方法 `java.lang.String toString()` 的描述符为 `()Ljava/lang/String;`，方法 `int abc(int[] x,int y)`描述符为`([II)I`

虚拟机在加载 Class 文件时才会进行动态链接，也就是说，Class 文件中不会保存各个方法和字段的最终内存布局信息，因此，这些字段和方法的符号引用不经过转换是无法直接被虚拟机使用的。当虚拟机运行时，需要从常量池中获得对应的符号引用，再在类加载过程中的解析阶段将其替换为直接引用，并翻译到具体的内存地址中。

这里说明下符号引用和直接引用的区别与关联：

- 符号引用：符号引用以一组符号来描述所引用的目标，符号可以是任何形式的字面量，只要使用时能无歧义地定位到目标即可。符号引用与虚拟机实现的内存布局无关，引用的目标并不一定已经加载到内存中
- 直接引用：直接引用可以是直接指向目标的指针、相对偏移量或是一个能间接定位到目标的句柄。直接引用是与虚拟机实现的内存布局相关的，**同一个符号引用在不同虚拟机实例上翻译出来的直接引用一般不会相同。如果

有了直接引用，那说明引用的目标必定已经存在于内存之中了。

② 常量类型和结构

常量池中每一项常量都是一个表，JDK 1.7 之后共 14 种不同的表结构数据。如下表格所示：

标志	常量	描述	细节	长度	细节描述
1	CONSTANT_utf8_info	UTF-8编码的字符串	tag	u1	值为1
			length	u2	UTF-8编码的字符串占用的字符数
			bytes	u1	长度为length的UTF-8编码的字符串
3	CONSTANT_Integer_info	整型字面量	tag	u1	值为3
4	CONSTANT_Float_info	浮点型字面量	bytes	u4	按照高位在前存储的int值
			tag	u1	值为4
5	CONSTANT_Long_info	长整型字面量	bytes	u4	按照高位在前存储的float值
			tag	u1	值为5
6	CONSTANT_Double_info	双精度浮点型字面量	bytes	u8	按照高位在前存储的long值
			tag	u1	值为6
7	CONSTANT_Class_info	类或接口的符号引用	bytes	u8	按照高位在前存储的double值
			tag	u1	值为7
8	CONSTANT_String_info	字符串类型字面量	index	u2	指向全限定名常量项的索引
			tag	u1	值为8
9	CONSTANT_Fieldref_info	字段的符号引用	index	u2	指向字符串字面量的索引
			tag	u1	值为9
			index	u2	指向声明字段的类或接口描述符 CONSTANT_Class_info的索引项
10	CONSTANT_Methodref_info	类中方法的符号引用	index	u2	指向字段描述符 CONSTANT_NameAndType的索引项
			tag	u1	值为10
			index	u2	指向声明方法的类描述符 CONSTANT_Class_info的索引项

11	CONSTANT_InterfaceMethodref_info	接口中方法的符号引用	tag	u1	值为11
			index	u2	指向声明方法的接口描述符 CONSTANT_Class_info的索引项
			index	u2	指向名称及类型描述符 CONSTANT_NameAndType的索引项
12	CONSTANT_NameAndType_info	字段或方法的符号引用	tag	u1	值为12
			index	u2	指向该字段或方法名称常量项的索引
			index	u2	指向该字段或方法描述符常量项的索引
15	CONSTANT_MethodHandle_info	表示方法句柄	tag	u1	值为15
			reference_kind	u1	值必须在1-9之间，它决定了方法句柄的类型方法句柄类型的值表示方法句柄的字节码行为
			reference_index	u2	值必须是对常量池的有效索引
16	CONSTANT_MethodType_info	标志方法类型	tag	u1	值为16
			descriptor_index	u2	值必须是对常量池的有效索引，常量池在该索引处的项必须是CONSTANT_utf8_info结构，表示方法的描述符
18	CONSTANT_InvokeDynamic_info	表示一个动态方法调用点	tag	u1	值为18
			bootstrap_method_attr	u2	值必须是对当前Class文件中引导方法表的bootstrap_methods[]数组的有效索引
			name_and_type_index	u2	值必须是对当前常量池的有效索引，常量池在该索引处的项必须是CONSTANT_NameAndType_Info结构，表示方法名和方法描述符

-
- 根据上图每个类型的描述我们也可以知道每个类型是用来描述常量池中那些内容(主要是字面量、符号引用)的。比如： `CONSTANT_Integer_info` 是用来描述常量池中字面量信息的，而且只是整型字面量信息
 - 标志为 15、16、18 的常量项类型是用来支持动态语言调用的(JDK 1.7 时才加入)
 - 细节说明
 - `CONSTANT_Class_info` 结构用于表示类或接口
 - `CONSTANT_Fieldref_info` 、 `CONSTANT_Methodref_info` 和 `CONSTANT_InterfaceMethodref_info` 结构表示字段、方法和接口方法
 - `CONSTANT_String_info` 结构用于表示 `String` 类型的常量对象
 - `CONSTANT_Integer_info` 和 `CONSTANT_Float_info` 表示 4 字节(int 和 float)的数值常量
 - `CONSTANT_Long_info` 和 `CONSTANT_Double_info` 结构表示 8 字节(long 和 double)的数值常量
 - ✓ 在 `Class` 文件的常量池中，所有的 8 字节常量均占两个表成员(项)的空间，如果一个 `CONSTANT_Long_info` 或 `CONSTANT_Double_info` 结构的项在常量池表中的索引位 `n`，则常量池表中下一个可用项的索引位 `n + 2`，此时常量池表中索引为 `n + 1`，的项仍然有效但必须视为不可用的
 - `CONSTANT_NameAndType_info` 结构用于表示字段或方法，但是和之前的 3 个结构不同，`CONSTANT_NameAndType_info` 结构没有知名该字段或方法所属的类或接口
 - `CONSTANT_Utf8_info` 用于表示字符常量的值
 - `CONSTANT_MethodHandle_info` 结构用于表示方法句柄
 - `CONSTANT_MethodType_info` 结构表示方法类型
 - `CONSTANT_InvokeDynamic_info` 结构用于表示 `invokedynamic` 指令所

用到的引导方法(bootstrap method)、引导方法所用到的动态调用名称(dynamic invocation name)、参数和返回类型，并可以给引导方法传入一系列称为静态参数(static argument)的常量

- 解析方式

- 一个字节一个字节的解析
- 使用 javap 命令解析：javap -verbose Demo.class 或 jclasslib 工具会更方便

总结：

- 这 14 种表(或者常量项结构)的共同点是：表开始的第一位是一个 u1 类型的标志位(tag)，代表当前这个常量项使用的是哪种表结构，即哪种常量类型
- 在常量池列表中，CONSTANT_Utf8_info 常量项是一种使用改进过的 UTF-8 编码格式来存储诸如文字字符串、类或者接口的全限定名、字段或者方法的简单名称以及描述符等常量字符串信息
- 这 14 种常量项结构还有一个特点是，其中 13 个常量项占用的字节固定，只有 CONSTANT_Utf8_info 占用字节不固定，其大小由 length 决定。为什么？**因为从常量池存放的内容可知，其存放的是字面量和符号引用，最终这些内容都会是一个字符串，这些字符串的大小是在编写程序时才确定，**比如你定义一个类，类名可以取长去短，所以在没编译前，大小不固定，编译后，通过 UTF-8 编码，就可以知道其长度
- 常量池：可以理解为 Class 文件之中的资源仓库，它是 Class 文件结构中与其他项目关联最多的数据类型(后面的很多数据类型都会指向此处)，也是占用 Class 文件空间最大的数据项目之一
- 常量池中为什么包含这些内容

Java 代码在进行 javac 编译的时候，并不像 C 和 C++ 那样有"连接"这一步骤，而是在虚拟机加载 Class 文件的时候进行动态链接。也就是说，**在 Class 文件中不会保存各个方法、字段的最终内存布局信息，因此这些字段、方法的符

号引用不经过运行期转换的话无法得到真正的内存入口地址，也就无法直接被虚拟机使用。******当虚拟机运行时，需要从常量池获得对应的符号引用，再在类创建时或运行时解析、翻译到具体的内存地址之中。

4. 访问标识

- 在常量池后，紧跟着访问标记。该标记使用两个字节表示，用于识别一些类或者接口层次的访问信息，包括：这个 Class 是类还是接口；是否定义为 public 类型；是否定义为 abstract 类型；如果是类的话，是否被声明为 final 等。各种访问标记如下所示：

标志名称	标志值	含义
ACC_PUBLIC	0x0001	标志为public类型
ACC_FINAL	0x0010	标志被声明为final，只有类可以设置
ACC_SUPER	0x0020	标志允许使用invokespecial字节码指令的新语义，JDK1.0.2之后编译出来的类的这个标志默认为真。（使用增强的方法调用父类方法）
ACC_INTERFACE	0x0200	标志这是一个接口
ACC_ABSTRACT	0x0400	是否为abstract类型，对于接口或者抽象类来说，次标志值为真，其他类型为假
ACC_SYNTHETIC	0x1000	标志此类并非由用户代码产生（即：由编译器产生的类，没有源码对应）
ACC_ANNOTATION	0x2000	标志这是一个注解
ACC_ENUM	0x4000	标志这是一个枚举

- 类的访问权限通常为 ACC_ 开头的常量
- 每一个种类型的表示都是通过设置访问标记的 32 位中的特定位来实现的。
比如，若是 public final 的类，则该标记为 ACC_PUBLIC | ACC_FINAL
- 使用 ACC_SUPER 可以让类更准确地定位到父类的方法 super.method()，现代编译器都会设置并且使用这个标记

补充说明

-
- 1) 带有 ACC_INTERFACE 标志的 Class 文件表示的是接口而不是类，反之则表示的是类而不是接口
 1. 如果一个 Class 文件被设置了 ACC_INTERFACE 标志，那么同时也得设置 ACC_ABSTRACT 标志。同时它不能再设置 ACC_FINAL、ACC_SUPER 或 ACC_ENUM 标志
 2. 如果没有设置 ACC_INTERFACE 标志，那么这个 Class 文件可以具有上表中除 ACC_ANNOTATION 外的其他所有标志。当然，ACC_FINAL 和 ACC_ABSTRACT 这类互斥的标志除外。这两个标志不能同时设置
 - 2) ACC_SUPER 标志用于确定类或接口里面的 invokespecial 指令使用的是哪一种执行语义。****针对 Java 虚拟机指令集的编译器都应当设置这个标志。**
****对于 Java SE 8 及后续版本来说，无论 Class 文件中这个标志的实际值是什么，也不管 Class 文件的版本**
 - 3) ACC_SYNTHETIC 标志意味着该类或接口是由编译器生成的，而不是由源代码生成的
 - 4) 注解类型必须设置 ACC_ANNOTATION 标志。如果设置了 ACC_ANNOTATION 标志，那么也必须设置 ACC_INTERFACE 标志
 - 5) ACC_ENUM 标志标明该类或其父类为枚举类型
 - 6) 表中没有使用的 access_flags 标志是为未来扩充而预留的，这些预留的标志在编译器中应该设置为 0，Java 虚拟机实现也应该忽略他们

5. 类索引、父类索引、接口索引集合

在访问标记后，会指定该类的类别、父类类别以及实现的接口，格式如下：

长度	含义
u2	this_class
u2	super_class
u2	interfaces_count
u2	interfaces[interfaces_count]

- 这三项数据来确定这个类的继承关系

- 类索引用于确定这个类的全限定名
- 父类索引用于确定这个类的父类的全限定名。由于 Java 语言不允许多重继承，所以父类索引只有一个，除了 `java.lang.Object` 之外，所有的 Java 类都有父类，因此除了 `java.lang.Object` 外，所有 Java 类的父类索引都不为 0
- 接口索引集合就用来描述这个类实现了哪些接口，这些被实现的接口将按 `implements` 语句(如果这个类本身是一个接口，则应当是 `extends` 语句)后的接口顺序从左到右排列在接口索引集合中

1. `this_class`(类索引)

2 字节无符号整数，指向常量池的索引。它提供了类的全限定名，如 `com/atguigu/java1/Demo`。`this_class` 的值必须是对常量池表中某项的一个有效索引值。常量池在这个索引处的成员必须为 `CONSTANT_Class_info` 类型结构体，该结构体表示这个 `Class` 文件所定义类或接口

2. `super_class`(父类索引)

- ◆ 2 字节无符号整数，指向常量池的索引。它提供了当前类的父类的全限定名。如果我们没有继承任何类，其默认继承的是 `java/lang/Object` 类。同时，由于 Java 不支持多继承，所以其父类只有一个
- ◆ `superclass` 指向的父类不能是 `final`

3. interfaces

- 指向常量池索引集合，它提供了一个符号引用到所有已实现的接口
- 由于一个类可以实现多个接口，因此需要以数组形式保存多个接口的索引，表示接口的每个索引也是一个指向常量池的 `CONSTANT_Class`(当然这里就必须是接口，而不是类)

3.1 interfaces_count(接口计数器)

`interfaces_count` 项的值表示当前类或接口的直接超接口数量

3.2 interface[] (接口索引集合)

`interfaces[]` 中每个成员的值必须是对常量池表中某项的有效索引值，它的长度为 `interfaces_count`。每个成员 `interfaces[i]` 必须为 `CONSTANT_Class_info` 结构，其中 $0 \leq i < \text{interfaces_count}$ 。在 `interfaces[]` 中，各成员所表示的接口顺序和对应的源代码中给定的接口顺序(从左至右)一样，即 `interfaces[0]` 对应的是源代码中最左边的接口

6. 字段表集合

- 用于描述接口或类中声明的变量。**字段(field)**包括类级变量以及实例级变量，但是不包括方法内部、代码块内部声明的局部变量
- 字段叫什么名字、字段被定义为什么数据类型，这些都是无法固定的，只能引用常量池中的常量来描述
- 它指向常量池索引集合，它描述了每个字段的完整信息。比如**字段的标识符、访问修饰符(`public`、`private` 或 `protected`)、是类变量还是实例变量(`static` 修饰符)、是否是常量(`final` 修饰符)**等。

注意事项:

- 字段表集合中不会列出从父类或者实现的接口中继承而来的字段，但有可能列出原 `Java` 代码中不存在的字段，譬如在内部类中为了保持对外部类的方文星，会自动添加指向外部类实例的字段

-
- 在 Java 语言中字段是无法重载的，两个字段的数据类型、修饰符不管是否相同，都必须使用不一样的名称，但是对于字节码来讲，如果两个字段的描述符不一致，那字段重名就是合法的

(1) 字段计数器

`fields_count` 的值表示当前 Class 文件 `fields` 表的成员个数。使用两个字节来表示

`fields` 表中每个成员都是一个 `field_info` 结构，用于表示该类或接口所声明的所有类字段或者实例字段，不包括方法内部声明的变量，也不包括从父类或父接口继承的那些字段

(2) 字段表

`fields` 表中的每个成员都必须是一个 `fields_info` 结构的数据项，用于表示当前类或接口中某个字段的完整描述

一个字段的完整信息包括如下这些信息，这些信息中，各个修饰符都是布尔值，要么有，要么没有

- 作用域(`public`、`private`、`protected` 修饰符)
- 是实例变量还是类变量(`static` 修饰符)
- 可变性(`final`)
- 并发可见性(`volatile` 修饰符，是否强制从主内存读写)
- 可否序列化(`transient` 修饰符)
- 字段数据类型(基本数据类型、对象、数组)
- 字段名称

字段表结构：

类型	名称	含义	数量
u2	access_flags	访问标志	1
u2	name_index	字段名索引	1
u2	descriptor_index	描述符索引	1
u2	attributes_count	属性计数器	1
attribute_info	attributes	属性集合	attributes_count

字段表访问标识

我们知道，一个字段可以被各种关键字去修饰，比如：作用域修饰符(public、private、protected)、static 修饰符、final 修饰符、volatile 修饰符等等。因此，其可像类的访问标志那样，使用一些标志来标记字段。字段的访问标志有如下这些：

标志名称	标志值	含义
ACC_PUBLIC	0x0001	字段是否为public
ACC_PRIVATE	0x0002	字段是否为private
ACC_PROTECTED	0x0004	字段是否为protected
ACC_STATIC	0x0008	字段是否为static
ACC_FINAL	0x0010	字段是否为final
ACC_VOLATILE	0x0040	字段是否为volatile
ACC_TRANSIENT	0x0080	字段是否为transient
ACC_SYNCHETIC	0x1000	字段是否为由编译器自动产生
ACC_ENUM	0x4000	字段是否为enum

字段名索引

根据字段名索引的值，查询常量池中的指定索引项即可

描述符索引

描述符的作用是用来描述字段的数据类型、方法的参数列表(包括数量、类型以及顺序)和返回值。根据描述符规则，基本数据类型(byte、char、double、float、int、long、short、boolean)及代表无返回值的 void 类型都用一个大写字符来表示，而对象则用字符 L 加对象的全限定名来表示，如下所示：

字符	类型	含义
B	byte	有符号字节型数
C	char	Unicode 字符， UTF-16 编码
D	double	双精度浮点数
F	float	单精度浮点数
I	int	整型数
J	long	长整数
S	short	有符号短整数
Z	boolean	布尔值 true/false
L Classname;	reference	一个名为Classname的实例
[reference	一个一维数组

属性表集合 区分字段和属性之间的关系（字段内可以包含属性）

一个字段还可能拥有一些属性，用于存储更多的额外信息。比如初始化值、一些注释信息等。属性个数存放在 attribute_count 中，属性具体内容存放在 attributes 数组中

以常量属性为例，结构为：

```
ConstantValue_attribute {
```

```
u2 attribute_name_index;

u4 attribute_length;

u2 constantvalue_index;

}
```

说明：对于常量属性而言，attribute_length 值恒为 2

7. 方法表集合

methods: 指向常量池索引集合，它完整描述了每个方法的签名

- 在字节码文件中，每一个 method_info 项都对应着一个类或者接口中的方法信息。比如方法的访问修饰符(public、private 或 protected)，方法的返回值类型以及方法的参数信息等
- 如果这个方法不是抽象的或者不是 native 的，那么字节码中会体现出来
- 一方面，methods 表只描述当前类或接口中声明的方法，不包括从父类或父接口继承的方法。另一方面，methods 表有可能会由编译器自动添加的方法，最典型的便是编译器产生的方法信息(比如：类(接口)初始化方法 () 和实例初始化方法 ())

使用注意事项：**面试聊方法重载时候可以拓展
class文件中方法特殊的重载方式**

在 Java 语言中，要重载(Overload)一个方法，除了要与原方法具有相同的简单名称之外，还要求必须拥有一个与原方法不同的特征签名，特征签名就是一个方法中各个参数在常量池中的字段符号引用的集合，也就是因为返回值不会包含在特征签名之中，因此 Java 语言里无法仅仅依靠返回值的不同来对一个已有方法进行重载。但在 Class 文件格式中，特征签名的范围更大一些，只要描述符不是完全一致的两个方法就可以共存。也就是说，如果两个方法有相同的名称和特征签名，但返回值不同，那么也是可以合法共存于同一个 Class 文件中。

也就是说，尽管 Java 语法规则并不允许在一个类或者接口中声明多个方法签名相同的方法，但是和 Java 语法规则相反，字节码文件中却恰恰允许存放多个方法签名相同的方法，唯一的条件就是这些方法之间的返回值不能相同。

(1) 方法计数器

`methods_count` 的值表示当前 Class 文件 `methods` 表的成员个数，使用两个字节来表示

`methods` 表中每个成员都是一个 `method_info` 结构

(2) 方法表

- `methods` 表中的每个成员都必须是一个 `method_info` 结构，用于表示当前类或接口中某个方法的完整描述。如果某个 `method_info` 结构的 `access_flags` 项既没有设置 `ACC_NATIVE` 标志也没有设置 `ACC_ABSTRACT` 标志，那么该结构中也应包含实现这个方法所有的 Java 虚拟机指令
- `method_info` 结构可以表示类和接口中定义的所有方法，包括实例方法、类方法、实例初始化方法和类或接口初始化方法
- 方法表的结构实际跟字段表是一样的，方法表结构如下：

类型	名称	含义	数量
u2	access_flags	访问标志	1
u2	name_index	方法名索引	1
u2	descriptor_index	描述符索引	1
u2	attributes_count	属性计数器	1
attribute_info	attributes	属性集合	attributes_count

方法表访问标志

跟字段表一样，方法表也有访问标志，而且他们的标志有部分相同，部分则

标记名	值	说明
ACC_PUBLIC	0x0001	public, 方法可以从包外访问
ACC_PRIVATE	0x0002	private, 方法只能本类中访问
ACC_PROTECTED	0x0004	protected, 方法在自身和子类可以访问
ACC_STATIC	0x0008	static, 静态方法

不同，方法表的具体访问标志如下：

8. 属性表结合

方法表集合之后的属性表集合，指的是 Class 文件所携带的辅助信息，比如该 Class 文件的源文件的名称。以及任何带有 `RetentionPolicy.CLASS` 或者 `RetentionPolicy.RUNTIME` 的注解。这类信息通常被用于 Java 虚拟机的验证和运行，以及 Java 程序的调试，一般无需深入了解

此外，**字段表、方法表都可以有自己的属性表。用于描述某些场景专有的信息**

属性表集合的限制没有那么严格，不再要求各个属性表具有严格的顺序，并且只要不与已有的属性名重复，任何人实现的编译器都可以向属性表中写入自己定义的属性信息，但 Java 虚拟机运行时忽略掉它不认识的属性

1. 属性计数器

`attributes_count` 的值表示当前 `Class` 文件属性表的成员个数。属性表中每一项都是一个 `attribute_info` 结构

2. 属性表

属性表的每个项的值必须是 `attribute_info` 结构。属性表的结构比较灵活，各种不同的属性只要满足以下结构即可

属性的通用格式

类型	名称	数量	含义
u2	<code>attribute_name_index</code>	1	属性名索引
u4	<code>attribute_length</code>	1	属性长度
u1	<code>info</code>	<code>attribute_length</code>	属性表

即只需说明属性的名称以及占用位数的长度即可，属性表具体的结构可以去自定义

属性类型

属性表实际上可以有很多类型，上面看到的 `Code` 属性只是其中一种，`Java 8` 里面定义了 23 种属性

下面这些是虚拟机中预定义的属性：

属性名称	使用位置	含义
Code	方法表	Java代码编译成的字节码指令
ConstantValue	字段表	final关键字定义的常量池
Deprecated	类，方法，字段表	被声明为deprecated的方法和字段
Exceptions	方法表	方法抛出的异常
EnclosingMethod	类文件	仅当一个类为局部类或者匿名类是才能拥有这个属性，这个属性用于标识这个类所在的外围方法
InnerClass	类文件	内部类列表
LineNumberTable	Code属性	Java源码的行号与字节码指令的对应关系
LocalVariableTable	Code属性	方法的局部变量描述
StackMapTable	Code属性	JDK1.6中新增的属性，供新的类型检查检验器检查和处理目标方法的局部变量和操作数有所需要的类是否匹配

Signature	类，方法表，字段表	用于支持泛型情况下的方法签名
SourceFile	类文件	记录源文件名称
SourceDebugExtension	类文件	用于存储额外的调试信息
Synthetic	类，方法表，字段表	标志方法或字段为编译器自动生成的
LocalVariableTypeTable	类	使用特征签名代替描述符，是为了引入泛型语法之后能描述泛型参数化类型而添加
RuntimeVisibleAnnotations	类，方法表，字段表	为动态注解提供支持
RuntimeInvisibleAnnotations	表，方法表，字段表	用于指明哪些注解是运行时不可见的

RuntimeVisibleParameterAnnotation	方法表	作用与RuntimeVisibleAnnotations属性类似，只不过作用对象为方法
RuntimeInvisibleParameterAnnotation	方法表	作用与RuntimeInvisibleAnnotations属性类似，作用对象哪个为方法参数
AnnotationDefault	方法表	用于记录注解类元素的默认值
BootstrapMethods	类文件	用于保存invokedynamic指令引用的引导方式限定符

部分属性详解

1. ConstantValue 属性

ConstantValue 属性表示一个常量字段的值。位于 field_info 结构的属性表中

```
ConstantValue_attribute {
    u2 attribute_name_index;

    u4 attribute_length;

    u2 constantvalue_index; //字段值在常量池中的索引，常量池在该索引处的项
    给出该属性表示的常量值。(例如，值是 long 型的，在常量池中便是
    CONSTANT_Long)
}
```

2. Deprecated 属性

```
Deprecated_attribute {
    u2 attribute_name_index;

    u4 attribute_length;

}
```

3. Code 属性

Code 属性就是存放方法体里面的代码，但是，并非所有方法表都有 Code 属性，像接口或者抽象方法，他们没有具体的方法体，因此也就不会有 Code 属性了

Code 属性表的结构，如下：

类型	名称	数量	含义
u2	attribute_name_index	1	属性名索引
u4	attribute_length	1	属性长度
u2	max_stack	1	操作数栈深度的最大值
u2	max_locals	1	局部变量表所需的存储空间
u4	code_length	1	字节码指令的长度
u1	code	code_length	存储字节码指令
u2	exception_table_length	1	异常表长度
exception_info	exception_table	exception_length	异常表
u2	attributes_count	1	属性集计数器
attribute_info	attributes	attributes_count	属性集合

可以看到：Code 属性表的前两项跟属性表是一致的，即 Code 属性表遵循属性表的结构，后面那些则是他自定义的结构

4. InnerClasses 属性

为了方便说明特别定义一个表示类或接口的 Class 格式为 C。如果 C 的常量池中包含某个 CONSTANT_Class_info 成员，且这个成员所表示的类或接口不属于任何一个包，那么 C 的 ClassFile 结构的属性表中就必须含有对应的 InnerClasses 属性。InnerClasses 属性是在 JDK 1.1 中为了支持内部类和内部接口而引入的，位于 ClassFile 结构的属性表

5. LineNumberTable 属性

LineNumberTable 属性是可选变长属性，位于 Code 结构的属性表

LineNumberTable 属性是用来描述 Java 源码行号与字节码行号之间的对应关系，这个属性可以用来在调试的时候定位代码执行的行数

`start_pc`，即字节码行号；`line_number`，即 `Java` 源代码行号

在 `Code` 属性的属性表中，`LineNumberTable` 属性可以按照任意顺序出现，此外，多个 `LineNumberTable` 属性可以共同表示一个行号在源文件中表示的内容，即 `LineNumberTable` 属性不需要与源文件的行一一对应

`LineNumberTable` 属性表结构：

```
LineNumberTable_attribute {
    u2 attribute_name_index;
    u4 attribute_length;
    u2 line_number_table_length;
    {   u2 start_pc;
        u2 line_number;
    } line_number_table[line_number_table_length];
}
```

6. `LocalVariableTable` 属性

`LocalVariableTable` 是可选变长属性，位于 `Code` 属性的属性表中。它被调试器**用于确定方法在执行过程中局部变量的信息。**在 `Code` 属性的属性中，`LocalVariableTable` 属性可以按照任意顺序出现。`Code` 属性中的每个局部变量最多只能有一个 `LocalVariableTable` 属性。

- 1) `start_pc + length` 表示这个变量在字节码中的生命周期起始和结束的偏移位置(this 生命周期从头 0 到结尾 10)
- 2) `index` 就是这个变量在局部变量表中的槽位(槽位可复用)
- 3) `name` 就是变量名称
- 4) `Descriptor` 表示局部变量类型描述

`LocalVariableTable` 属性表结构：

```

LocalVariableTable_attribute {
    u2 attribute_name_index;
    u4 attribute_length;
    u2 local_variable_table_length;
    {
        u2 start_pc;
        u2 length;
        u2 name_index;
        u2 descriptor_index;
        u2 index;
    } local_variable_table[local_variable_table_length];
}

```

7. Signature 属性

Signature 属性是可选的定长属性，位于 ClassFile, field_info 或 method_info 结构的属性表中。在 Java 语言中，任何类、接口、初始化方法或成员的泛型签名如果包含了类型变量(Type Variables)或参数化类型(Parameterized Types)，则 Signature 属性会为它记录泛型签名信息

8. SourceFile 属性

SourceFile 属性结构

u2	attribute_name_index	1	属性名索引
u4	attribute_length	1	属性长度
u2	sourcefile_index	1	源码文件索引

可以看到，其长度总是固定的 8 个字节

9. 其他属性

Java 虚拟机中预定义的属性有 20 多个，这里就不一一介绍了，通过上面几个属性的介绍，只要领会其精髓，其他属性的解读也是易如反掌

总结

通过手动去解读字节码文件，终于大概了解到其构成和原理了

实际上，我们可以使用各种工具来帮我们去解读字节码文件，而不用直接去看这些 16 进制，太繁琐了

9. 小结

本章主要介绍了 Class 文件的基本格式

随着 Java 平台的不断发展，在将来，Class 文件的内容也一定会做进一步的扩充，但是其基本的格式和结构不会做重大调整

从 Java 虚拟机的角度看，通过 Class 文件，可以让更多的计算机语言支持 Java 虚拟机平台。因此，Class 文件结构不仅仅是 Java 虚拟机的执行入口，更是 Java 生态圈的基础和核心

第四章 使用 javap 指令解析 Class 文件

自己分析类文件结构太麻烦了！Oracle 提供了 javap 工具

当然这些信息中，有些信息(如本地变量表、指令和代码行偏移量映射表、常量池中方法的参数名称等等)需要在使用 javac 编译成 Class 文件时，指定参数才能输出，比如，你直接 `javac xx.java`，就不会再生成对应的局部变量表等信息，如果你使用 `javac -g xx.java` 就可以生成所有相关信息了。如果你使用的是 Eclipse，则默认情况下，Eclipse 在编译时会帮你生成局部变量表、指令和代码行盘一辆映射表等信息

通过反编译生成的汇编代码，我们可以深入的了解 Java 代码的工作机制。比如我们看到的 `i++`，这行代码实际运行时是先获取变量 `i` 的值，然后将这个值加 1，最后再将加 1 后的值赋值给变量 `i`

(1) 解析字节码的作用

通过反编译生成的字节码文件，我们可以深入的了解 Java 代码的工作机制。

但是，自己分析类文件结构太麻烦了，除了使用第三方的 `jclasslib` 工具之外，Oracle 官方也提供了工具：`javap`

`javap` 是 JDK 自带的反解析工具。它的作用就是根据 `Class` 字节码文件，反解析出当前类对应的 `Code` 区(字节码指令)、局部变量表、异常表和代码行偏移量映射表、常量池等信息

通过局部变量表，我们可以查看局部变量的作用域范围、所在槽位等信息，甚至可以看到槽位复用等信息

(2) `javac -g` 操作

解析字节码文件得到的信息中，有些信息(如局部变量表、指令和代码行偏移量映射表、常量池中方法的参数名称等等)需要在使用 `javac` 编译成 `Class` 文件时，指定参数才能输出

比如，你直接 `javac xx.java`，就不会在生成对应的局部变量表等信息，如果你使用 `javac -g xx.java` 就可以生成所有相关信息了。如果你使用的 Eclipse 或 IDEA，则默认情况下，Eclipse、IDEA 在编译时会帮你生成局部变量表、指令和代码行偏移量映射表等信息

(3) `javap` 的用法

`javap` 的用法格式：`javap`

其中，`classes` 就是你要反编译的 `Class` 文件

在命令行中直接输入 `javap` 或 `javap -help` 可以看到 `javap` 的 `options` 有如下选项：

```

C:\Users\songhk\Desktop\1>javap
用法: javap <options> <classes>
其中, 可能的选项包括:
    -help  --help  -?      输出此用法消息
    -version                版本信息
    -v  -verbose            输出附加信息
    -l                     输出行号和本地变量表
    -public                仅显示公共类和成员
    -protected             显示受保护的/公共类和成员
    -package                显示程序包/受保护的/公共类
                           和成员 (默认)
    -p  -private            显示所有类和成员
    -c                     对代码进行反汇编
    -s                     输出内部类型签名
    -sysinfo                显示正在处理的类的
                           系统信息 (路径, 大小, 日期, MD5 散列)
    -constants              显示最终常量
    -classpath <path>       指定查找用户类文件的位置
    -cp <path>              指定查找用户类文件的位置
    -bootclasspath <path>  覆盖引导类文件的位置

```

一般常用的是 -v -l -c 三个选项

- javap -l 会输出行号和本地变量表信息
- javap -c 会对当前 Class 字节码进行反编译生成汇编代码
- javap -v classxx 除了包含 -c 内容外, 还会输出行号、局部变量表信息、常量池等信息

(4) 总结

1. 通过 javap 命令可以查看一个 Java 类反汇编得到的 Class 文件版本号、常量池、访问标识、变量表、指令代码行号表等信息。不显式类索引、父类索引、接口索引集合、()、()等结构
2. 通过对前面的例子代码反汇编文件的简单分析, 可以发现, 一个方法的执行通常会涉及下面几块内存的操作
 - Java 栈中: 局部变量表、操作数栈
 - Java 堆: 通过对象的地址引用去操作

-
- 常量池
 - 其他如帧数据区、方法区的剩余部分等情况，测试中没有显示出来，这里说明一下
3. 平常，我们比较关注的是 **Java** 类中每个方法的反汇编中的指令操作过程，这些指令都是顺序执行的，可以参考官方文档查看每个指令含义