Softwares de Sistemas
Especificação do Formato .class

Software Básico, turma A

Prof. Marcelo Ladeira
CIC/UnB

Baseado no livro "The Java Virtual Machine Specification", Second Edition, Tim Lindholm & Frank Yellin.

Sumário

- **Especificação do formato ponto** class
  - **Introdução**
  - **Estrutura interna de arquivo .class**
  - **Pool de constantes**
  - **Campos (**fields**)**
  - **Métodos**
  - **Atributos**

Links

- http://www.javaworld.com/javaworld/jw-09-1996/jw-09-bytecodes.html
- http://www.cis.nctu.edu.tw/~wuuyang/papers/bytecode2X86.BRIEF.pdf
- http://java.sun.com/docs/books/vmspec/2nd-edition/html/VMSpecTOC.doc.html
- http://www.classfileinspector.com/

Introdução

- **Arquivo .class**
  - **Definição de uma única classe ou interface**
  - **Stream de bytes de 8 bits**
    - **Itens multi-bytes armazenados em big-endian ordem**
  - **Notação com sintaxe similar a linguagem C**
  - **Tipos de dados**

u1	**typedef unsigned char;**
u2	**typedef unsigned short;**
u4	**typedef unsigned int;**

Introdução

- **Arquivo .class**
  - **Itens são sucessivos**
    - **Armazenados sequencialmente sem caracteres de preenchimento ou alinhamento**
  - **Tabelas**
    - **Consistem de zero ou mais itens de tamanho variável**
      - **índice não pode ser traduzido diretamente em um offset (deslocamento)**
  - **Arrays**
    - **Consistem de zero ou mais itens de tamanho fixo**
      - **Podem ser indexados como arrays em C**

Introdução

- **Nomes de classes e interfaces**
  - **Representação completa de nomes qualificados**
    - **Por exemplo, o nome da classe** Thread **é**

      java.lang.Thread
  - **São representados como constantes em UTF-8**
    - **O ponto qualificador é substituido pela barra de divisão**
      - **Por exemplo, o nome da classe Thread passa a ser**

        java/lang/Thread

Introdução

- **Descritores**
  - **Strings representando o tipo de** field **ou método**
    - **Representado em UTF-8**
    - **Gramática**
      - **Tipo de classe, instância ou variável local**

FieldDescriptor:

FieldType

ComponentType:

FieldType

FieldType:

BaseType

ObjectType

ArrayType

BaseType:

B

C

D

F

I

J

S

Z

ObjectType:

L <classname> ;

ArrayType:

[ComponentType

Introdução
Descritores de Campo (*field*)

Caracter Tipo Base	Tipo	Interpretação
B	byte	Byte com sinal
C	char	Caracter Unicode
D	double	Ponto flutuante (dupla precisão)
F	float	Ponto flutuante (precisão simples)
I	int	Inteiro
J	long	Inteiro longo
L<nome_classe>;	referência	Instância da classe <nome_classe>
S	short	Inteiro curto com sinal
Z	boolean	*true* ou *false*
[	referência	Uma dimensão de array

I, Ljava/lang/Object;, [[[D <-> variável de instância do tipo int, variável de instância do tipo Object, array multidimensional de doubles

Introdução
Descritores de Métodos

- **Representam tipos dos parâmetros passados para o método e do valor que ele retorna:**

  MethodDescriptor:

  (ParameterDescriptor*) ReturnDescriptor

  ParameterDescriptor:

  FieldType

  ReturnDescriptor:

  FieldType

  V

  – **Por exemplo, para o método cujo protótipo é:**

  Object mymethod(int i, double d, Thread t)

  o descritor é dado por:

  (IDLjava/lang/Thread;)Ljava/lang/Object;

V representa o tipo void ou seja método que não retorna nenhum valor.

Estrutura Interna de Arquivo .class
Estrutura ClassFile

```
ClassFile {
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];
}
```

Estrutura Interna de Arquivo .class
Magic e Versão

- u4 magic
  - Assinatura do arquivo .class
    - valor 0xCAFEBABE
- u2 minor_version (m)
- u2 major_version (M)
  - Indicam a versão do formato na forma M.m
    - Versões podem ser ordenadas léxicograficamente
      - Por exemplo, 1.5 < 2.0 < 2.1
    - São definidas pela Sun

Estrutura Interna de Arquivo .class
Pool de Constantes

- u2 constant_pool_count
  - Número de entradas na tabela constant_pool + 1.
    - 1 ≤ índice constant_pool < constant_pool_count
      - Se n é um índice válido para uma constante do tipo long ou double, então o índice n+1 é inválido!
- cp_info constant_pool [ ]
  - Tabela de estruturas representando
    - string, nomes de classes ou interfaces, nomes de campos, ...
  - referidos dentro de estruturas do ClassFile e suas subestruturas.
    - O formato de cada entrada é indicado pelo byte de "tag".

Estrutura Interna de Arquivo .class
Controle de acesso

- u2 access_flags
  - Máscara de bits abaixo que especifica permissões de acesso e propriedades da classe ou interface

Nome do Flag	Valor	Interpretação
ACC_PUBLIC	0x0001	Declarada pública: pode ser acessada de fora do pacote.
ACC_FINAL	0x0010	Declarada final: não pode ter subclasses .
ACC_SUPER	0x0020	Chama métodos de superclasse via a instrução *invokespecial*.
ACC_INTERFACE	0x0200	É interface, não uma classe.
ACC_ABSTRACT	0x0400	Declarada abstrata: não pode ser instanciada.

  - Todos os demais bits são reservados para uso futuro
    - Devem ser definidos como zero.

Estrutura Interna de Arquivo .class
Definição da classe

- **u2 this_class**
  - **O valor desse item deve ser um índice válido da tabela** constant_pool
    - **Aponta para uma estutura** CONSTANT_Class_info
      - **Representa a classe ou interface definida por esse arquivo:**

```
CONSTANT_Class_info {
        u1 tag;
        u2 name_index;
}
```


Essa estrutura será detalhada na apresentação do pool de constantes.

Estrutura Interna de Arquivo .class
Definição da super classe

- **u2 super_class**
  - **O valor desse item deve ser um índice válido da tabela** constant_pool
    - **Aponta para uma estutura** CONSTANT_Class_info
      - **Representa a super classe direta (classe mãe) da classe definida nesse arquivo**
  - **0 (zero) se a classe não for derivada.**
    - **Se for 0 essa classe estende a classe** Object

Essa estrutura será detalhada na apresentação do pool de constantes.

Estrutura Interna de Arquivo .class
Interfaces

- **u2 interfaces_count**
  - **Número de entradas no array** interfaces[ ]**.**
    - **0 ≤ índice interfaces < interfaces_count**
  - **Número de superinterfaces diretas dessa classe ou interface.**
- **u2 interfaces [ ]**
  - **Cada valor no array** interfaces **deve ser um índice válido na tabela** constant_pool
    - **A entrada nesse índice deve ser uma estrutura do tipo** CONSTANT_Class_info
      - **Representa uma interface que é uma superinterface direta da classe ou interface representada nesse arquivo.**

Estrutura Interna de Arquivo .class
Campos

- **u2 fields_count**
  - **Número de variáveis de classe ou variáveis de instâncias declaradas nesta classe ou interface.**
  - **Número de estruturas** field_info **na tabela** fields **[ ]**
- **field_info fields [ ]**
  - **Cada entrada na tabela** fields **deve ser uma estrutura** field_info
    - **Descrição completa de um campo dessa classe ou interface.**
  - **A tabela inclui apenas os campos declarados na classe ou interface.**
    - **Não inclui campos herdados das superclasses ou superinterfaces.**

Essa estrutura será detalhada na apresentação da tabela fields.

Estrutura Interna de Arquivo .class
Métodos

- **u2 methods_count**
  - **Número de estruturas** method_info **na tabela** methods**[ ]**
- **method_info methods [ ]**
  - **Cada entrada na tabela** methods **deve ser uma estrutura** method_info
    - **Descrição completa de um método nessa classe ou interface.**
      - **Se o método é não nativo ou não abstrato, as instruções da JVM que o implementam também são fornecidas.**
      - **Todos os tipos de métodos:**
        - **declarados pela classe ou interface, de instância, estáticos, iniciação de instância, e qualquer método de iniciação de classe ou interface.**
    - **Essa tabela não inclui itens representando métodos herdados de superclasses ou superinterfaces.**

Essa estrutura será detalhada na apresentação da tabela methods.

Estrutura Interna de Arquivo .class
Atributos

- **u2 attributes_count**
  - **Número de estruturas** attributes_info **na tabela** attributes**[ ]**
- **attribute_info attributes [ ]**
  - **Cada entrada na tabela** attributes **deve ser uma estrutura** attribute_info
  - **A implementação da JVM deve ignorar em silêncio qualquer atributo que não reconheça.**

Essa estrutura será detalhada na apresentação da tabela attributes.

Pool de Constantes

- **Informações simbólicas estão armazenadas na tabela** constant_pool
- **Cada entrada em** constant_pool **tem a forma**

```
cp_info {
  u1 tag;
  u1 info[ ];
}
```

- **O byte de tag define o tipo da informação em** cp_info

Pool de Constantes
Tipos Válidos de Tags

Tipo de Constante	Valor
CONSTANT_Class	7
CONSTANT_Fieldref	9
CONSTANT_Methodref	10
CONSTANT_InterfaceMethodref	11
CONSTANT_String	8
CONSTANT_Integer	3
CONSTANT_Float	4
CONSTANT_Long	5
CONSTANT_Double	6
CONSTANT_NameAndType	12
CONSTANT_Utf8	1

Pool de Constantes
Estrutura CONSTANT_Class_info

- **Representa uma Classe ou Interface**

```
CONSTANT_Class_info {
   u1 tag;                                  // valor 7
   u2 name_index;
}
```

  - **name_index é índice válido para a tabela** constant_pool
    - **a entrada deve ser uma estrutura** CONSTANT_Utf8_info **representando um nome completo qualificado da classe ou interface nesse arquivo.**
    - **Exemplos**

      Ljava/lang/Thread;

Pool de Constantes
Estrutura CONSTANT_Fieldref_info

- **Representa um field**

```
CONSTANT_Fieldref_info {
    u1 tag;                                  // valor 9
    u2 class_index;
    u2 name_and_type_index;
}
```

  - **class_index é índice válido para a tabela** constant_pool
    - CONSTANT_Utf8_info **representando nome completo da classe ou interface que contem a declaração desse** field
  - **name_and_type_index é um índice válido para** constant_pool
    - CONSTANT_NameAndType_info **indicando o nome e o descritor do** field**.**

Pool de Constantes
Estrutura CONSTANT_NameAndType_info

- **Representa um** field **ou método sem indicar classe ou interface a que pertence**

```
CONSTANT_NameAndType_info {
    u1 tag;                                  // valor 12
    u2 name_index;
    u2 descriptor_index;
}
```

  - name_index **é índice válido para a tabela** constant_pool
    - CONSTANT_Utf8_info **representando um nome simples de** field **ou método ou ainda o nome do método especial** <init>
  - descriptor_index **é um índice válido para** constant_pool
    - CONSTANT_Utf8_info **representando um descritor válido de** field **ou de método.**

<init> instance initialization method - derivado do método construtor da classe, chamado via a instrução especial invokespecial para iniciar uma instância da classe em questão.

Pool de Constantes
Estrutura CONSTANT_Utf8_info

- **Representa valores strings constantes, inclusive Unicode**

```
CONSTANT_Utf8_info {
    u1 tag;                                    // valor 1
    u2 length;
    u1 bytes [length];
}
```

  - length **indica o número de bytes no array** bytes
    - **não indica o número de bytes da string**
      - **essa não finaliza com o caracter nulo.**
  - bytes **contêm os bytes da string**
    - **nenhum byte pode ter valor zero ou estar no intervalo 0xf0 a 0xff, isto é [240, 255].**

Pool de Constantes
Estrutura CONSTANT_Utf8_info

- Utiliza códigos de 1, 2 ou 3 bytes
  - Não utiliza códigos de 4 bytes do formato UTF-8
  - Um byte

    Caracteres no intervalo '\u0001' a '\u007F‘, isto é [1,127] são representados por 

  - Dois bytes
    - Zero (null) e caracteres no intervalo '\u0080' a '\u07FF‘, isto é [128, 2047] são representados por um par de bytes x e y:

      x: 

      y: 

      O caracter é formado por ((x & 0x1f) << 6) + (y & 0x3f).
  - Três bytes
    - Caracteres no intervalo '\ u0800' to '\uFFFF‘, isto é, [2048, 65535] são formados por três bytes x, y e z:

      x: 

      y: 

      z: 

      O caracter é formado por ((x & 0xf) << 12) + ((y & 0x3f) << 6) + (z & 0x3f)

Pool de Constantes
Estrutura CONSTANT_Methodref_info

- **Representa um método**

```
CONSTANT_Methodref_info {
    u1 tag;                                  // valor 10
    u2 class_index;
    u2 name_and_type_index;
}
```

  - **class_index é índice válido para a tabela** constant_pool
    - CONSTANT_Utf8_info **representando nome completo da classe que contem a declaração desse método.**
  - **name_and_type_index é um índice válido para** constant_pool
    - CONSTANT_NameAndType_info **indicando o nome e o descritor do método.**
      - **Se iniciar com '<' então o nome deve ser <init> representando um método de iniciação de instância.**

Pool de Constantes
Estrutura CONSTANT_InterfaceMethodref_info

- **Representa um**

```
CONSTANT_InterfaceMethodref_info {
    u1 tag;                                  // valor 11
    u2 class_index;
    u2 name_and_type_index;
}
```

  - **class_index é índice válido para a tabela** constant_pool
    - CONSTANT_Utf8_info **representando nome completo da interface que contem a declaração desse método.**
  - **name_and_type_index é um índice válido para** constant_pool
    - CONSTANT_NameAndType_info **indicando o nome e o descritor do método.**

Pool de Constantes
CONSTANT_String_info

- **Representa objetos constantes do tipo String**

```
CONSTANT_String_info {
    u1 tag;                          // valor 8
    u2 string_index;     }
```

  - **string_index é índice válido para a tabela** constant_pool
    - CONSTANT_Utf8_info **representando a seqüência de caracteres com a qual o objeto String será iniciado.**

Pool de Constantes
CONSTANT_Integer_info

- **Representa uma constante inteira de 4 bytes**

```
CONSTANT_Integer_info {
    u1 tag;                          // valor 3
    u4 bytes;
}
```

  - bytes
    - **Representa o valor da constante** int**, em big-endian.**

Pool de Constantes
CONSTANT_Float_info

- **Representa uma constante de ponto flutuante de 4 bytes**

```
CONSTANT_Float_info {
    u1 tag;                                  // valor 4
    u4 bytes;
}
```

  - bytes
    - **Representa o valor da constante** float**, em big-endian, no formato de precisão simples de ponto flutuante padrão IEEE 754.**

Pool de Constantes CONSTANT_Float_info

- **O valor representado é inicialmente convertido em uma constante inteira (**bits**):**
  - **se** bits **é 0x7f800000, o valor float value é** infinito positivo**.**
  - **se** bits **é 0xff800000, o valor float é** infinito negativo**.**
  - **se** bits **está na faixa de 0x7f800001 até 0x7fffffff ou na faixa de 0xff800001 até 0xffffffff, o valor float é** NaN**.**
  - **senão, sejam s, e, m três valores computados de** bits **como:**

```
int s = ((bits >> 31) == 0) ? 1 : -1;
int e = ((bits >> 23) & 0xff);
int m = (e == 0) ?
    (bits & 0x7fffff) << 1 :
    (bits & 0x7fffff) | 0x800000;
```

  - **O valor** float **é o resultado da expressão** $s \cdot m \cdot 2^{e-150}$**.**

O expoente apresentado na especificação é excedente a 150 mas o valor definido pelo IEEE é excedente a 127.

Pool de Constantes
CONSTANT_Long_info

- **Representa uma constante inteira de 8 bytes, armazenados em** big-endian **ordem. Ocupa dois índices na tabela** constant_pool**.**

```
CONSTANT_Long_info {
    u1 tag;                    // valor 5
    u4 high_bytes;             // unsigned
    u4 low_bytes;              // unsigned
}
```

  - **O valor** long **armazenado é pela expressão:**

    ((long) high_bytes << 32) + low_bytes

Pool de Constantes CONSTANT_Double_info

- **Representa constante de ponto flutuante de 8 bytes, armazenados em** big-endian **ordem, no formato de ponto flutuante de dupla precisão IEEE 754. Ocupa dois índices na tabela** constant_pool**.**

```
CONSTANT_Double_info {
    u1 tag;                 // valor 6
    u4 high_bytes;          // unsigned
    u4 low_bytes;           // unsigned
}
```

  - **O valor armazenado é inicialmente convertido em uma constante inteira** long **pela expressão:**

    (long bits) = ((long) high_bytes << 32) + low_bytes;

Pool de Constantes
CONSTANT_Double_info

- **se** bits **é 0x7ff0000000000000L, o valor float value é** infinito positivo**.**
- **se** bits **é 0xfff0000000000000L, o valor float é** infinito negativo**.**
- **se** bits **está na faixa de 0x7ff0000000000001L até 0x7fffffffffffffffL ou na faixa de 0xfff0000000000001L até 0xffffffffffffffffL, o valor float é** NaN**.**
- **senão, sejam s, e, m três valores computados de** bits **como:**

```
int s = ((bits >> 63) == 0) ? 1 : -1;
int e = ((bits >> 52) & 0x7ffL);
long m = (e == 0) ?
    (bits & 0xfffffffffffffL) << 1 :
    (bits & 0xfffffffffffffL) | 0x10000000000000L;
```

- **O valor** double **é o resultado da expressão** $s \cdot m \cdot 2^{e-1075}$**.**

O expoente apresentado na especificação é excedente a 1075 mas o valor definido pelo IEEE é excedente a 1023.

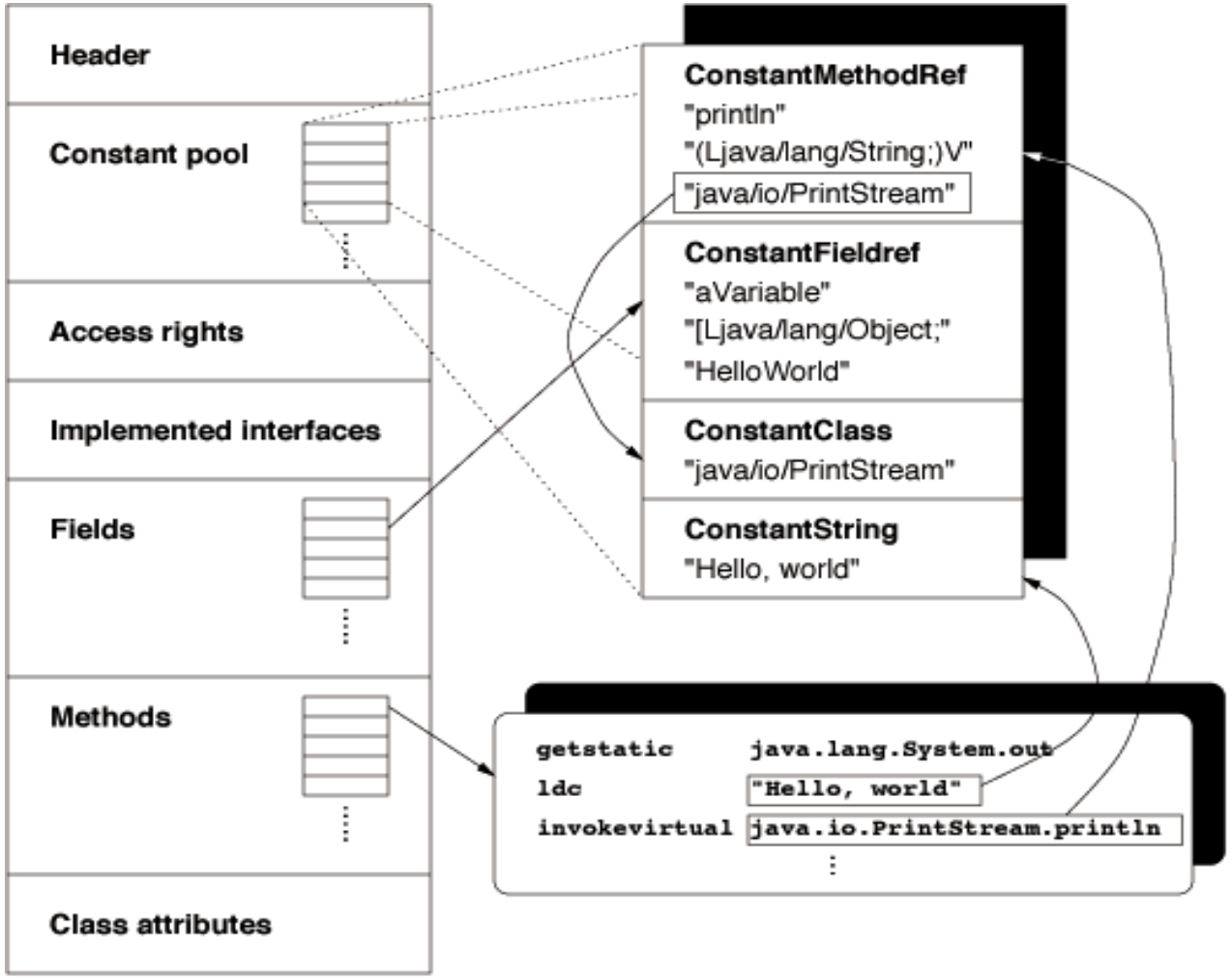
Pool de constantes
Exemplos

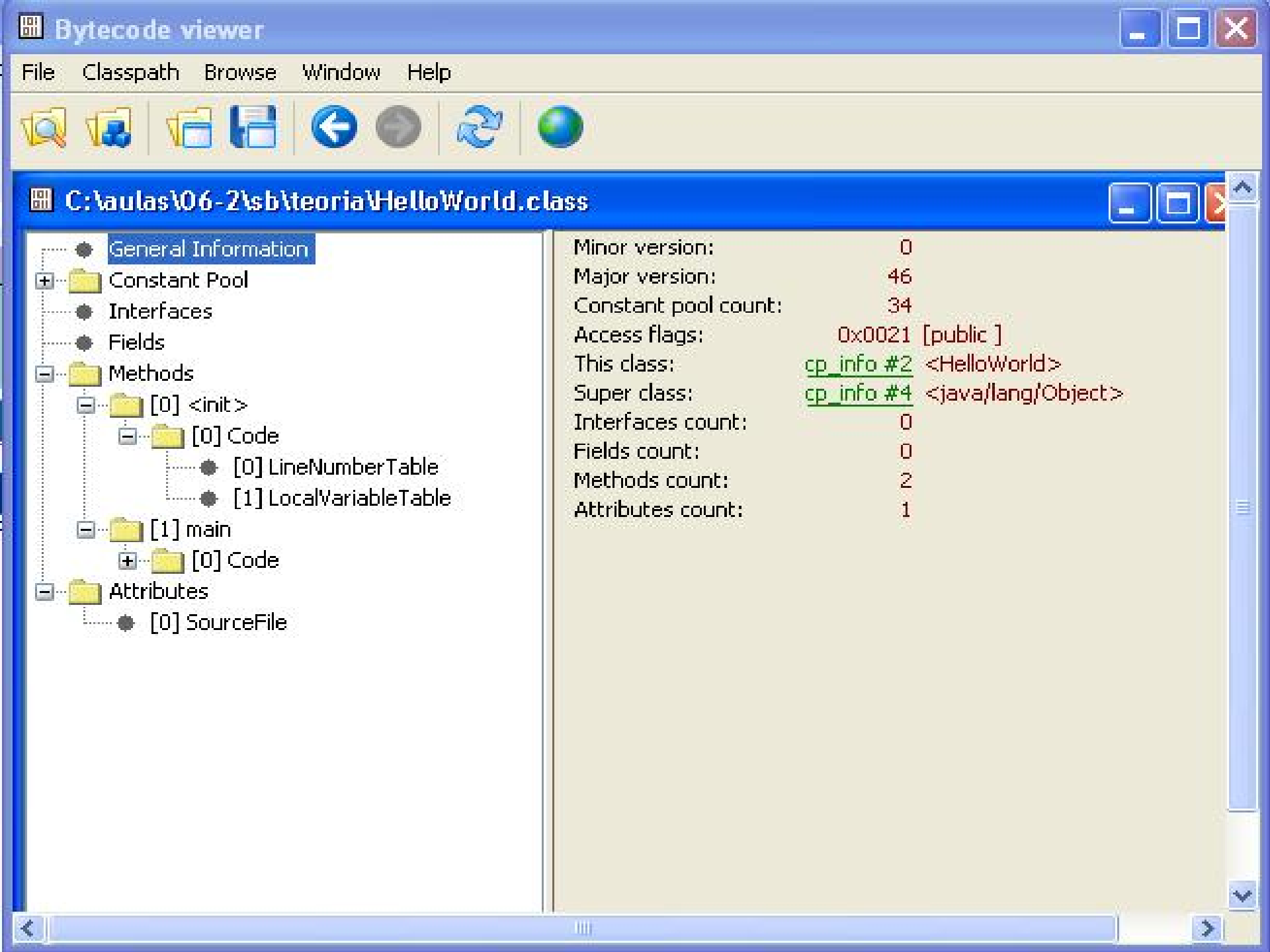
```
/*
    The HelloWorld class is an
     application that displays
   "Hello World!" to the standard
     output.
   */
   public class HelloWorld {


     // Display "Hello World!"
     public static void main (String
    args[ ]) {
        System.out.println ("Hello
    World!");
     }
   }
```

```
class Teste{
    public static int soma (int a, int b) {
            return a + b;
    }
    public static void main (String[ ] s)    {
            int i;
            float x = 100.f;
            double y = 1000.;
            int j = 20;
            for (i = 0; i < 10; i++){
                    j = soma(j, 10);
            }
            System.out.print (j);
    }
}
```

Pool de constantes
Exemplo: HelloWorld.class




Bytecode viewer
File
Classpath
Browse
Window
Help
C:\aulas\06-2\sb\teoria\HelloWorld.class
General Information
Constant Pool
Interfaces
Fields
Methods
[0] <init>
[0] Code
[0] LineNumberTable
[1] LocalVariableTable
[1] main
[0] Code
Attributes
[0] SourceFile
Minor version: 0
Major version: 46
Constant pool count: 34
Access flags: 0x0021 [public]
This class: cp_info #2 <HelloWorld>
Super class: cp_info #4 <java/lang/Object>
Interfaces count: 0
Fields count: 0
Methods count: 2
Attributes count: 1

Campos

- **Cada** field **é descrito por uma** field_info**. Dois campos na mesma classe não podem ter o mesmo nome.**

```
field_info {
    u2 access_flags;
    u2 name_index;
    u2 descriptor_index;
    u2 attributes_count;
    attribute_info attributes[attributes_count];
}
```

Campos
Controle de Acesso

- **u2 access_flags**
  - **Máscara de hexas abaixo especificando permissões de acesso e propriedades do campo.**

Nome do Flag	Valor	Interpretação
ACC_PUBLIC	0x0001	Declarada pública: pode ser acessada de fora do pacote.
ACC_PRIVATE	0x0002	Declarada privada: contexto restrito à definição da classe.
ACC_PROTECTED	0x0004	Declarada protegida: pode ser usada na classe e nas subclasses.
ACC_STATIC	0x0008	Declarada estática: variável de classe e não de instância.
ACC_FINAL	0x0010	Declarada final: não pode ter seu valor alterado após a iniciação.
ACC_VOLATILE	0x0040	Declarada volátil: não pode ser colocada em cache. A Thread que a usa deve conciliar sua cópia dessa variável com a mestra toda vez que for acessá-la.
ACC_TRANSIENT	0x0080	Declarada transiente: não pode ser lida ou gravada por um gerente de objetos persistente. (Reserva para uso futuro da Sun)

- **Todos os demais hexas são reservados para uso futuro**
  - **Devem ser definidos como zero.**

Campos
Nome e Descritor do Campo

- **u2 name_index**
  - name_index **é índice válido para a tabela** constant_pool
    - CONSTANT_Utf8_info **representando um nome simples de** field **(isto é, um identificador Java)**
- **u2 descriptor_index**
  - descriptor_index **é um índice válido para** constant_pool
    - CONSTANT_Utf8_info **representando um descritor de campo válido.**

Campos
Atributos do Campo

- **u2 attributes_count**
  - **Número de atributos do campo**
- **attribute_info attributes [attributes_count]**

```
attribute_info {
    u2 attribute_name_index;
    u4 attribute_length;
    u1 info [attribute_length];
}
```

  - **A implementação da JVM deve ignorar em silêncio qualquer atributo que não reconheça.**
    - **Toda implementação deve reconhecer e ler corretamente o atributo** ConstantValue.

A estrutura attribute_info será apresentada na descrição de atributos.

Métodos

- **Cada método, inclusive método de iniciação de instância, classe ou interface, é descrito por uma estrutura** method_info**.**
  - **métodos na mesma classe não podem ter mesmo nome e descritor**
- **u2 methods_count;**
  - **Número de estruturas** method_info **na tabela** methods
- **method_info methods [methods_count];**

```
method_info {
    u2 access_flags;
    u2 name_index;
    u2 descriptor_index;
    u2 attributes_count;
    attribute_info attributes[attributes_count];
}
```

Métodos
Controle de Acesso

- u2 access_flags
  - Máscara de hexas abaixo especificando permissões de acesso e propriedades do método.

Nome do Flag	Valor	Interpretação
ACC_PUBLIC	0x0001	Público: pode ser acessado de fora do pacote.
ACC_PRIVATE	0x0002	Privado: acesso restrito à definição da classe.
ACC_PROTECTED	0x0004	Protegido: pode ser chamado na classe e subclasses.
ACC_STATIC	0x0008	Estático: método de classe (chamado sem referir objeto)
ACC_FINAL	0x0010	Final: não pode ser sobre-escrito em subclasses.
ACC_SYNCHRONIZED	0x0020	Sincronizado: requer um *monitor* antes de ser executado (Thread)
ACC_NATIVE	0x0100	Nativo: implementado em linguagem não Java (C, C++, Assembly)
ACC_ABSTRACT	0x0400	Abstrato: sem definição, deve ser sobre-escrito em uma subclasse.
ACC_STRICT	0x0800	Strictfp: utiliza modo de ponto flutuante FP-strict (não normalizado)

- Todos os demais hexas são reservados para uso futuro
  - Devem ser definidos como zero.

Métodos
Nome e Descritor do Método

- **u2 name_index**
  - name_index **é índice válido para a tabela** constant_pool
    - CONSTANT_Utf8_info **representando um nome especial de método (<**init**> ou <**clinit**>) ou um nome simples, válido como nome de método.**
- **u2 descriptor_index**
  - descriptor_index **é um índice válido para** constant_pool
    - CONSTANT_Utf8_info **representando um descritor de método válido.**

Métodos
Atributos do Método

- **u2 attributes_count**
  - **Número de atributos do Método**
- **attribute_info attributes [attributes_count]**

```
attribute_info {
    u2 attribute_name_index;
   u4 attribute_length;
   u1 info [attribute_length];
}
```

  - **A implementação da JVM deve ignorar em silêncio qualquer atributo que não reconheça.**
    - **Toda implementação deve reconhecer e ler corretamente os atributos** Code **e** Exceptions.

A estrutura attribute_info será apresentada na descrição de atributos.

Atributos

- **Usados nas estruturas** ClassFile**,** field_info**,** method_info **e** code_attribute**.**
  - **Podem ser pré-definidos na especificação JVM ou definidos por compilador Java***
- **Uma classe pode conter um número qualquer de atributos.**
  - **Todos eles devem possuir o seguinte formato:**

```
attribute_info {
   u2 attribute_name_index;
   u4 attribute_length;
   u1 info [attribute_length];
}
```

* Por exemplo, para efeito de procedimento específico de depuração, provido pelo fornecedor do compilador.

Atributos

- **u2 attribute_name_index**
  - attribute_name_index **é índice válido para a tabela** constant_pool
    - CONSTANT_Utf8_info **representando o nome do atributo.**
- **u4 attribute_length**
  - attribute_length **indica o tamanho, em bytes, do restante do atributo**
    - **não inclui os 6 bytes que contêm o índice do nome e o comprimento do atributo.**

Atributos Predefinidos na Especificação .class

ConstantValue

Code

Deprecated (op)

Exceptions

InnerClasses

SourceFile (op)

Synthetic

LineNumberTable (op)

LocalVariableTable (op)

- JVM deve implementar
  - Code
  - ConstantValue
  - Exceptions
- JVM Java 2 e superior
  - InnerClasses
  - Synthetic
- Opcionais
  - Os demais; a JVM pode ler esses atributos ou ignorá-los.

Atributos
Atributo ConstantValue

- **Utilizado em estrutura** field_info **para iniciar variáveis (implícitas ou explícitas) estáticas**
  - **Somente um valor é possível por variável**
    - **Utilizado para iniciar a variável antes da chamada do método de iniciação de classe ou interface que contém a variável**
    - **Essa estrutura aponta para estrutura CONSTANT_<tipo>_info que contém a constante a ser utilizada na iniciação.**
  - **Se** field_info **contém um atributo** ConstantValue **associado a uma variável não estática, a JVM deve ignorá-lo em silêncio.**
  - **Toda JVM deve reconhecer atributos** ConstantValue

* variáveis declaradas em interfaces são (implicitamente) estáticas, final e públicas.

Atributos
Atributo ConstantValue

- **Estrutura** field_info **de variável estática**

```
field_info {
    u2 access_flags;
    u2 name_index;
    u2 descriptor_index;
    u2 attributes_count;
    attribute_info attributes

    [attributes_count];
```

Tipo constantValue

```
}
```

- **Item da tabela** attributes
  - **Tipo** ConstantValue

```
ConstantValue_attribute {
    u2 attribute_name_index;
    u4 attribute_length;
    u2 constantvalue_index;
```

  - **Índice para estrutura** CONSTANT_<tipo>_info **contendo o valor a ser atribuído na iniciação da variável estática**

```
}
```

Atributos
Atributo ConstantValue

- u2 attribute_name_index
  - attribute_name_index **é índice válido para a tabela** constant_pool
    - CONSTANT_Utf8_info **representando a string "**ConstantValue".
- u4 attribute_legth
  - **assume sempre o valor 2**
- u2 constantvalue_index
  - constantvalue_index **é índice válido para a tabela** constant_pool **com uma estrutura** CONSTANT_**<tipo>_info**
    - **representando o valor constante associado ao atributo.**

Atributos
Atributo ConstantValue

- u2 constantvalue_index
  - **índice de uma estrutura** CONSTANT_<tipo>_info **do tipo apropriado para a variável** estática **associada.**

Tipo campo	**Tipo da estrutura**
long	CONSTANT_Long
float	CONSTANT_Float
double	CONSTANT_Double
int, short, char, byte, boolean	CONSTANT_Integer
String	CONSTANT_String

Atributos
Atributo Code

- **Utilizado em estrutura** method_info
  - **Atributo de tamanho variável**
  - **Somente um atributo** code **é possível por método**
    - **Método não nativo**
      - **contém o código JVM e informações auxiliares para o método, método de iniciação de instância, classe ou interface.**
    - **Método nativo ou abstrato**
      - **Não possui esse atributo de código**
  - **Toda JVM deve reconhecer o atributo** Code

Atributos
Atributo Code

```
Code_attribute {
        u2 attribute_name_index;
        u4 attribute_length;
        u2 max_stack;
        u2 max_locals;
        u4 code_length;
        u1 code[code_length];
        u2 exception_table_length;
        {
            u2 start_pc;
            u2 end_pc;
            u2 handler_pc;
            u2 catch_type;  } exception_table [exception_table_length];
        u2 attributes_count;
        attribute_info attributes[attributes_count];
}
```

Atributos
Atributo Code

- **u2 attribute_name_index**
  - attribute_name_index **é índice válido para a tabela** constant_pool
    - CONSTANT_Utf8_info **representando a string "**Code".
- **u4 attribute_length**
  - **número de bytes desse atributo, exceto esses 6 bytes iniciais.**
- **u2 max_stack**
  - **profundidade máxima da pilha de operandos durante a execução desse método**
- **u2 max_locals**
  - **número de variáveis locais (incluindo os parâmetros) do seu vetor de variáveis locais**
- **u4 code_length**
  - **número de bytes no seu** array code **(deve ser maior que zero)**
- **u1 code [ ]**
  - **bytecodes da JVM que implementam o código desse método.**

Atributos
Atributo Code

- **u2 exception_table_length**
  - **número de entradas na tabela** exception_table
- **exception_table [ ]**
  - **cada entrada descreve um manipulador das exceções que podem ocorrer no código JVM contido no array** code

  u2 start_pc

  u2 end_pc
    - **manipulador ativo para os índices [**start_pc**,** end_pc**) para** code

  u2 handler_pc
    - **índice para** code **indicando o bytecode inicial do manipulador**

  u2 catch_type
  - **Se não nulo (cláusula** catch **de um comando** try**)**
    - **índice válido para a tabela** constant_pool
      - CONSTANT_Class_info **representando a classe de exceções a ser capturada pelo manipulador (**Throwable **ou uma de suas subclasses)**
  - **Se nulo (cláusula** finally **de um comando** try**)**
    - **manipulador é chamado para todo tipo de exceção que pode ser lançado no comando** try **em questão.**

A cláusula finally é sempre executada antes de se transferir o controle (normal ou abruptamente) para fora do comando try.

Atributos
Atributo Code

- **u2 attributes_count**
  - **Número de atributos associados ao atributo** code **de um método**
- **attribute_info attributes [attributes_count]**
  - **Pode existir um número qualquer de atributos opcionais (debug) associados ao atributo** code
    - **A JVM pode ignorá-los em silêncio**
  - **Atributo** LineNumberTable
    - **associa posições no array** code **com linhas do arquivo fonte**
  - **Atributo** LocalVariableTable
    - **Utilizado por debuggers para determinar o valor de uma variável local durante a execução**
  - **Atributos proprietários**
    - **Não podem afetar a semântica do arquivo .class**
      - **Fornecem informação adicional de descrição do arquivo**

Atributos
Atributo Code

- **Localização do manipulador de exceções pela JVM**
  - **busca no método corrente**
    - **Se localizado, desvia a execução para** handler_pc
  - **senão método corrente é terminado abruptamente**
    - **pilha de operandos e vetor de variáveis locais são descartados**
      - **frame é desempilhado e o controle é passado para o método chamador do método corrente**
  - **exceção é relançada para o método chamador que se torna o corrente**
    - **esse processo continua até encontrar um manipulador ou o final da cadeia dos métodos chamadores**
      - **Se nenhum manipulador adequado for encontrado, a execução da** thread **onde a exceção foi lançada é terminada**

Atributos
Atributo Deprecated

- **Opcional, tamanho fixo: tabela** attributes **de estrutura** ClassFile**,** field_info **ou** method_info
  - **informa ao usuário que a classe, interface, campo ou método está superado**
    - **não altera a semântica da classe ou interface**

```
Deprecated_attribute {
    u2 attribute_name_index;
    u4 attribute_length;
}
```

    - attribute_name_index **é índice válido para a tabela** constant_pool
      - CONSTANT_Utf8_info **representando a string "**Deprecated".
    - attribute_length **valor fixo em zero.**

Atributos
Atributo Exceptions

- **Utilizado em estrutura** method_info
  - **Atributo de tamanho variável**
  - **No máximo, um atributo** Exceptions **por método**
  - **Indica quais exceções verificadas o método pode lançar**
  - **Formato**

```
Exceptions_attribute {
    u2 attribute_name_index;
    u4 attribute_length;
    u2 number_of_exceptions;
    u2 exception_index_table[number_of_exceptions];
}
```

Atributos
Atributo Exceptions

- **u2 attribute_name_index**
  - attribute_name_index **é índice válido para a tabela** constant_pool
    - CONSTANT_Utf8_info **representando a string "**Exceptions".
- **u4 attribute_length**
  - **número de bytes desse atributo, exceto esses 6 bytes iniciais.**
- **u2 number_of_exceptions**
  - **Número de entradas na tabela** exception_index_table
- **u2 exception_index_table [ ]**
  - **índice válido para a tabela** constant_pool
    - CONSTANT_Class_info **representando um tipo de classe de exceção que o método pode lançar**
      - **Por exemplo, classe ou subclasse de** RuntimeException**,** Error **ou** Throwable

Atributos
Atributo InnerClasses

- **Atributo de tamanho variável utilizado na tabela** attributes **de estrutura** ClassFile
  - **Pool de constantes de uma classe ou interface refere a classe ou interface** C **que <u>não</u> é membro de um pacote**
    - **sua estrutura** ClassFile **deve conter exatamente um atributo** InnerClasses **na sua tabela** attributes
      - **Formato**

```
InnerClasses_attribute {
    u2 attribute_name_index;
    u4 attribute_length;
    u2 number_of_classes;
    { u2 inner_class_info_index;
            u2 outer_class_info_index;
            u2 inner_name_index;
            u2 inner_class_access_flags;
    } classes [number_of_classes];
}
```

InnerClasses suporta o aninhamento de classes.

Atributos
Atributo InnerClasses

- **u2 attribute_name_index**
  - attribute_name_index **é índice válido para a tabela** constant_pool
    - CONSTANT_Utf8_info **representando a string "**InnerClasses".
- **u4 attribute_length**
  - **número de bytes desse atributo, exceto esses 6 bytes iniciais.**
- **u2 number_of_classes**
  - **Número de entradas na tabela** classes
- **classes [ ]**
  - **um membro de uma classe ou interface aninhada terá o atributo** InnerClasses **para toda classe envolvente e para cada membro imediato.**

Atributos
Atributo InnerClasses

- **Os itens do array** classes **são**
  - **u2 inner_class_info_index**
    - **índice válido para a tabela** constant_pool
      - CONSTANT_Class_info **representando a classe** C**. Os outros itens dão informação sobre a classe ou interface** C**.**
  - **u2 outer_class_info_index**
    - **Zero (se** C **não é um membro) ou índice válido da tabela** constant_pool
      - CONSTANT_Class_info **representando a classe ou interface da qual** C **é um membro.**
  - **u2 inner_name_index**
    - **Zero (se C is anônima) ou índice válido da tabela** constant_pool
      - CONSTANT_Utf8_info **representando nome simples original de** C**, como no fonte do qual esse arquivo foi compilado.**
  - **u2 inner_class_access_flags**
    - **Máscara de bits especificando permissões de acesso e propriedades da classe ou interface** C **declaradas no fonte.**

Atributos
Atributo InnerClasses

Nome do Flag	Valor	Interpretação
ACC_PUBLIC	0x0001	**Marcada ou implicitamente** public **no fonte.**
ACC_PRIVATE	0x0002	**Marcada** private **no fonte.**
ACC_PROTECTED	0x0004	**Marcada** protected **no fonte.**
ACC_STATIC	0x0008	**Marcada ou implicitamente** static **no fonte.**
ACC_FINAL	0x0010	**Marcada** final **no fonte. Não pode ser estendida.**
ACC_INTERFACE	0x0200	**É uma interface no fonte.**
ACC_ABSTRACT	0x0400	**Marcada** abstract **no fonte. Possui apenas métodos abstratos. Não pode ser instanciada.**

- **Todos os demais bits são reservados para uso futuro**
  - **Devem ser definidos como zero.**

Atributos
Atributo LineNumberTable

- **Opcional, tamanho variável: tabela** attributes **do atributo** Code
  - **permite a** debugger **determinar que posições no array** code **correspondem a uma dada linha do arquivo fonte**
    - **relação 1-1 entre um atributo** LineNumberTable **e um linha no fonte original não é requerida.**
      - **múltiplos atributos** LineNumberTable **juntos podem representar uma linha**
  - **Formato**

```
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];
}
```

Atributos
Atributo LineNumberTable

- **u2 attribute_name_index**
  - attribute_name_index **é índice válido para a tabela** constant_pool
    - CONSTANT_Utf8_info **representando a string "**LineNumberTable".
- **u4 attribute_length**
  - **número de bytes desse atributo, exceto esses 6 bytes iniciais.**
- **u2 line_number_table_length**
  - **número de entradas no array** line_number_table
- **line_number_table [ ]**
  - **u2 start_pc**
    - **índice para o array** code **correspondendo ao código que inicia uma nova linha no arquivo fonte original**
  - **u2 line_number**
    - **número dessa linha no arquivo fonte**

Atributos
Atributo LocalVariableTable

- **Opcional, tamanho variável: tabela** attributes **do atributo** Code
  - **permite a** debugger **determinar o valor de uma dada variável local, durante a execução de um método**
    - **No máximo, um atributo** LocalVariableTable **por variável local em** Code
  - **Formato**

```
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];
}
```

Atributos
Atributo LocalVariableTable

- **u2 attribute_name_index**
  - attribute_name_index **é índice válido para a tabela** constant_pool
    - CONSTANT_Utf8_info **representando a string "**LocalVariableTable".
- **u4 attribute_legth**
  - **número de bytes desse atributo, exceto esses 6 bytes iniciais.**
- **u2 local_variable_table_length**
  - **número de entradas no array** local_variable_table
- **local_variable_table [ ]**
  - **cada entrada em** local_variable_table **indica:**
    - **uma faixa de índices no array** code **na qual uma dada variável local mantém o mesmo valor.**
    - **o índice dessa variável local no array de variáveis locais do frame corrente no qual ela pode ser encontrada.**

Atributos
Atributo LocalVariableTable

- **os itens do array** local_variable_table **são:**
  - **u2 start_pc e u2 length**
    - **a variável local possui o mesmo valor no intervalo [**start_pc**,** start_pc+length**] de offsets de** code
      - **esses offsets correspondem a índices válidos em** code **que apontam para** opcode **da JVM**
  - **u2 name_index**
    - name_index **é índice válido para a tabela** constant_pool
      - CONSTANT_Utf8_info **representando um nome válido de variável local armazenado como um nome simples**
  - **u2 descriptor_index**
    - descriptor_index **é índice válido para a tabela** constant_pool
      - CONSTANT_Utf8_info **representando um descritor de campo válido com o tipo da variável local no programa fonte**
  - **u2 index**
    - **índice no array de variáveis locais do frame corrente correspondendo à variável local em questão**
      - **se do tipo** double **ou** long **a variável ocupa as posições index e index+1.**

Atributos
Atributo SourceFile

- **Opcional, tamanho fixo: tabela** attributes **de estrutura** ClassFile
  - **nome (relativo) do fonte a partir do qual a classe foi compilada.**
    - **apenas um atributo** SourceFile **pode aparecer por** ClassFile.
- **Formato**

```
SourceFile_attribute {
    u2 attribute_name_index;
    u4 attribute_length;
    u2 sourcefile_index;
}
```

    - attribute_name_index **é índice válido para a tabela** constant_pool
      - CONSTANT_Utf8_info **representando a string "SourceFile**".
    - attribute_length **assume sempre o valor 2**
    - sourcefile_index **é índice válido para a tabela** constant_pool
      - CONSTANT_Utf8_info **representando uma string com o nome do fonte**.

fopen

FILE* fopen(const char* filename, const char* mode);

"r" text reading

"w“ text writing

"a" text append

"r+“ text update (reading and writing)

"w+" text update, discarding previous content (if any)

"a+“ text append, reading, and writing at end

“b” after the first character for binary files.

Lendo .class

- Formato big-endian

```
static u2 u2Read(FILE *fd) {
   u2 toReturn = getc(fd);
   toReturn = (toReturn << 8) | (getc(fd));
   return toReturn;
}
```


Não use nessa forma: transforme em uma macro

Estrutura ClassFile

```
ClassFile {
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];
}
```

Lendo .class

```
ClassFile *cf = (ClassFile *)
   malloc(sizeof(Class));
cf->magic = u4Read(fd);
cf->minor_version = u2Read(fd);
cf->major_version = u2Read(fd);
cf->constant_pool_count = u2Read(fd);
```

Pool de Constantes

- **Cada entrada em** constant_pool **tem a forma**

```
cp_info {
  u1 tag;
  u1 info[ ];
}
```

- **O byte de tag define o tipo da informação em** cp_info

Pool de Constantes
Tipos Válidos de Tags

Tipo de Constante	Valor
CONSTANT_Class	7
CONSTANT_Fieldref	9
CONSTANT_Methodref	10
CONSTANT_InterfaceMethodref	11
CONSTANT_String	8
CONSTANT_Integer	3
CONSTANT_Float	4
CONSTANT_Long	5
CONSTANT_Double	6
CONSTANT_NameAndType	12
CONSTANT_Utf8	1

Pool de Constantes
Exemplos de estruturas CONSTANT

```
CONSTANT_Class_info {
    u1 tag;                                  // valor 7
    u2 name_index;
}
CONSTANT_Fieldref_info {
    u1 tag;                                  // valor 9
    u2 class_index;
    u2 name_and_type_index;
}
CONSTANT_NameAndType_info {
    u1 tag;                                  // valor 12
    u2 name_index;
    u2 descriptor_index;
}
```

Lendo constant_pool

```
typedef struct {
    u1 tag;
    union {
        struct {
            u2 name_index;
        } Class;
        struct {
            u2 class_index;
            u2 name_and_type_index;
        } Fieldref;
        ...
```

Lendo constant_pool

```
Constant *constantPool = (Constant*) malloc(…
Constant *cp;
for (cp = constantPool; cp < constantPool + count - 1; cp++) {
        cp->tag = u1Read(cf);
        switch (cp->tag) {
                case CONSTANT_Class:
                  cp->u.Class.name_index = u2Read(fd);
                  break;
                case CONSTANT_Fieldref:
                  cp->u.Fieldref.class_index = u2Read(fd);
                  cp->u.Fieldref.name_and_type_index =
    u2Read(fd);
                  break;
```