

## 09-面向对象：实现数据和方法的封装

在现代计算机语言中，面向对象是非常重要的特性，似乎常用的语言都支持面向对象特性，比如Swift、C++、Java……不支持的反倒是异类了。

而它重要的特点就是封装。也就是说，对象可以把数据和对数据的操作封装在一起，构成一个不可分割的整体，尽可能地隐藏内部的细节，只保留一些接口与外部发生联系。在对象的外部只能通过这些接口与对象进行交互，无需知道对象内部的细节。这样能降低系统的耦合，实现内部机制的隐藏，不用担心对外界的影响。那么它们是怎样实现的呢？

本节课，我将从语义设计和运行时机制的角度剖析面向对象的特性，带你深入理解面向对象的实现机制，让你能在日常编程工作中更好地运用面向对象的特性。比如，在学完这讲之后，你会对对象的作用域和生存期、对象初始化过程等有更清晰的了解。而且你不会因为学习了Java或C++的面向对象机制，在学习JavaScript和Ruby的面向对象机制时觉得别扭，因为它们的本质是一样的。

接下来，我们先简单地聊一下什么是面向对象。

### 面向对象的语义特征

我的一个朋友，在10多年前做过培训师，为了吸引学员的注意力，他在讲“什么是面向对象”时说：“面向对象是世界观，是方法论。”

虽然有点儿语不惊人死不休的意思，但我必须承认，所有的计算机语言都是对世界进行建模的方式，只不过建模的视角不同罢了。面向对象的设计思想，在上世纪90年代被推崇，几乎被视为最好的编程模式。实际上，各种不同的编程思想，都会表现为这门语言的语义特征，所以，我就从语义角度，利用类型、作用域、生存期这样的概念带你深入剖析一下面向对象的封装特性，其他特性在后面的课程中再去讨论。

#### • 从类型角度

类型处理是语义分析时的重要工作。现代计算机语言可以用自定义的类来声明变量，这是一个巨大的进步。因为早期的计算机语言只支持一些基础的数据类型，比如各种长短不一的整型和浮点型，像字符串这种我们编程时离不开的类型，往往是在基础数据类型上封装和抽象出来的。所以，我们要扩展语言的类型机制，让程序员可以创建自己的类型。

#### • 从作用域角度

首先是类的可见性。作为一种类型，它通常在整个程序的范围内都是可见的，可以用它声明变量。当然，一些像Java的语言，也能限制某些类型的使用范围，比如只能在某个命名空间内，或者在某个类内部。

对象的成员的作用域是怎样的呢？我们知道，对象的属性（“属性”这里指的是类的成员变量）可以在整个对象内部访问，无论在哪个位置声明。也就是说，对象属性的作用域是整个对象的内部，方法也是一样。这跟函数和块中的本地变量不一样，它们对声明顺序有要求，像C和Java这样的语言，在使用变量之前必须声明它。

#### • 从生存期的角度

对象的成员变量的生存期，一般跟对象的生存期是一样的。在创建对象的时候，就对所有成员变量做初始

化，在销毁对象的时候，所有成员变量也随着一起销毁。当然，如果某个成员引用了从堆中申请的内存，这些内存需要手动释放，或者由垃圾收集机制释放。

但还有一些成员，不是与对象绑定的，而是与类型绑定的，比如Java中的静态成员。静态成员跟普通成员的区别，就是作用域和生存期不同，它的作用域是类型的所有对象实例，被所有实例共享。生存期是在任何一个对象实例创建之前就存在，在最后一个对象销毁之前不会消失。

你看，我们用这三个语义概念，就把面向对象的封装特性解释清楚了，无论语言在顶层怎么设计，在底层都是这么实现的。

了解了面向对象在语义上的原理之后，我们来实际动手解析一下代码中的类，这样能更深刻地体会这些原理。

## 设计类的语法，并解析它

我们要在语言中支持类的定义，在PlayScript.g4中，可以这样定义类的语法规则：

```
classDeclaration
    : CLASS IDENTIFIER
      (EXTENDS typeType)?
      (IMPLEMENTS typeList)?
      classBody
    ;

classBody
    : '{' classBodyDeclaration* '}'
    ;

classBodyDeclaration
    : ';'
    | memberDeclaration
    ;

memberDeclaration
    : functionDeclaration
    | fieldDeclaration
    ;

functionDeclaration
    : typeTypeOrVoid IDENTIFIER formalParameters ('[' ' ']*)?
      (THROWS qualifiedNameList)?
      functionBody
    ;
```

我来简单地讲一下这个语法规则：

- 类声明以class关键字开头，有一个标识符是类型名称，后面跟着类的主体。
- 类的主体里要声明类的成员。在简化的情况下，可以只关注类的属性和方法两种成员。我们故意把类的方法也叫做function，而不是method，是想把对象方法和函数做一些统一的设计。
- 函数声明现在的角色是类的方法。

- 类的成员变量的声明和普通变量声明在语法上没什么区别。

你能看到，我们构造像class这样高级别的结构时，越来越得心应手了，之前形成的一些基础的语法模块都可以复用，比如变量声明、代码块（block）等。

用上面的语法写出来的playscript脚本的效果如下，在示例代码里也有，你可以运行它：

```
/*
ClassTest.play 简单的面向对象特性。
*/
class Mammal{
    //类属性
    string name = "";

    //构造方法
    Mammal(string str){
        name = str;
    }

    //方法
    void speak(){
        println("mammal " + name + " speaking...");
    }
}

Mammal mammal = Mammal("dog"); //playscript特别的构造方法，不需要new关键字
mammal.speak();                //访问对象方法
println("mammal.name = " + mammal.name); //访问对象的属性

//没有构造方法，创建的时候用缺省构造方法
class Bird{
    int speed = 50;    //在缺省构造方法里初始化

    void fly(){
        println("bird flying...");
    }
}

Bird bird = Bird();    //采用缺省构造方法
println("bird.speed : " + bird.speed + "km/h");
bird.fly();
```

接下来，我们让playscript解释器处理这些看上去非常现代化的代码，怎么处理呢？

做完词法分析和语法分析之后，playscript会在语义分析阶段扫描AST，识别出所有自定义的类型，以便在其他地方引用这些类型来声明变量。因为类型的声明可以在代码中的任何位置，所以最好用单独的一次遍历来识别和记录类型（类型扫描的代码在TypeAndScopeScanner.java里）。

接着，我们在声明变量时，就可以引用这个类型了。语义分析的另一个工作，就是做变量类型的消解。当我们声明“Bird bird = Bird();”时，需要知道Bird对象的定义在哪里，以便正确地访问它的成员（变量类型的消解在TypeResolver.java里）。

在做语义分析时，要把类型的定义保存在一个数据结构中，我们来实现一下：

```

public class Class extends Scope implements Type{
    ...
}

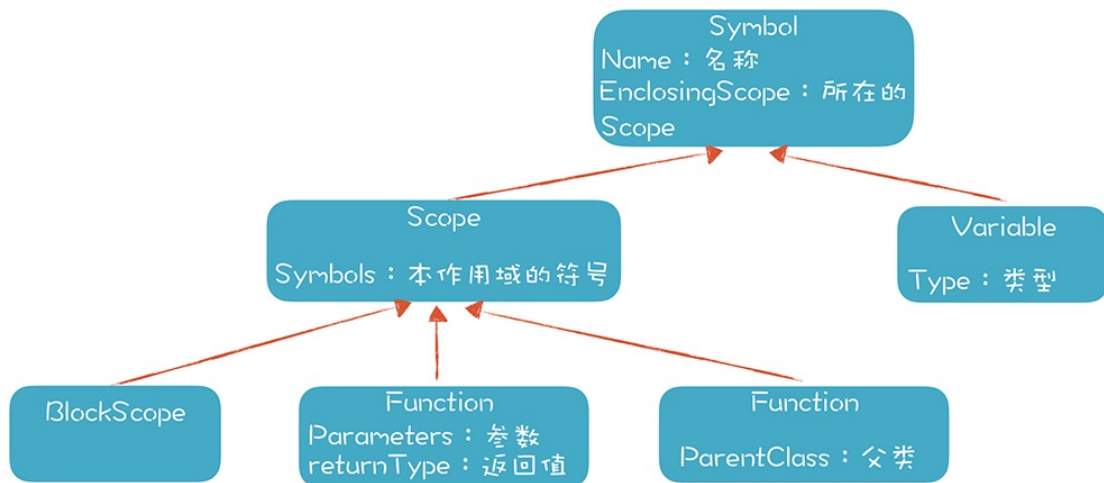
public abstract class Scope extends Symbol{
    // 该Scope中的成员，包括变量、方法、类等。
    protected List<Symbol> symbols = new LinkedList<Symbol>()
}

public interface Type {
    public String getName();    //类型名称

    public Scope getEnclosingScope();
}

```

在这个设计中，我们看到Class就是一个Scope，Scope里面原来就能保存各种成员，现在可以直接复用，用来保存类的属性和方法，画成类图如下：



图里有几个类，比如Symbol、Variable、Scope、Function和BlockScope，它们是我们的符号体系的主要成员。在做词法分析时，我们会解析出很多标识符，这些标识符出现在不同的语法规则里，包括变量声明、表达式，以及作为类名、方法名等出现。

在语义分析阶段，我们要把这些标识符一一识别出来，这个是一个变量，指的是一个本地变量；那个是一个方法名等。

变量、类和函数的名称，我们都叫做符号，比如示例程序中的Mammal、Bird、mammal、bird、name、speed等。编译过程中的一项重要工作就是建立符号表，它帮助我们进一步地编译或执行程序，而符号表就用上面几个类来保存信息。

在符号表里，我们保存它的名称、类型、作用域等信息。对于类和函数，我们也有相应的地方来保存类变量、方法、参数、返回值等信息。你可以看一看示例代码里面是如何解析和记录这些符号的。

解析完这些语义信息以后，我们来看运行期如何执行具有面向对象特征的程序，比如如何实例化一个对象？如何在内存里管理对象的数据？以及如何访问对象的属性和方法？

## 对象是怎么实例化的

首先通过构造方法来创建对象。

在语法中，我们没有用new这个关键字来表示对象的创建，而是省略掉了new，直接调用一个跟类名称相同的函数，这是我们独特的设计，示例代码如下：

```
Mammal mammal = Mammal("dog"); //playscript特别的构造方法，不需要new关键字
Bird bird = Bird();           //采用缺省构造方法
```

但在语义检查的时候，在当前作用域中是肯定找不到这样一个函数的，因为类的初始化方法是在类的内部定义的，我们只要检查一下，Mammal和Bird是不是一个类名就可以了。

再进一步，Mammal类中确实有个构造方法Mammal()，而Bird类中其实没有一个显式定义的构造方法，但这并不意味着变量成员不会被初始化。我们借鉴了Java的初始化机制，就是提供缺省初始化方法，在缺省初始化方法里，会执行对象成员声明时所做的初始化工作。所以，上面的代码里，我们调用Bird()，实际上就是调用了这个缺省的初始化方法。无论有没有显式声明的构造方法，声明对象的成员变量时的初始化部分，一定会执行。对于Bird类，实际上就会执行“int speed = 50;”这个语句。

在RefResolver.java中做语义分析的时候，下面的代码能够检测出某个函数调用其实是类的构造方法，或者是缺省构造方法：

```
// 看看是不是类的构造函数，用相同的名称查找一个class
Class theClass = at.lookupClass(scope, idName);
if (theClass != null) {
    function = theClass.findConstructor(paramTypes);
    if (function != null) {
        at.symbolOfNode.put(ctx, function);
    }
    //如果是与类名相同的方法，并且没有参数，那么就是缺省构造方法
    else if (ctx.expressionList() == null){
        at.symbolOfNode.put(ctx, theClass); // TODO 直接赋予class
    }
    else{
        at.log("unknown class constructor: " + ctx.getText(), ctx);
    }

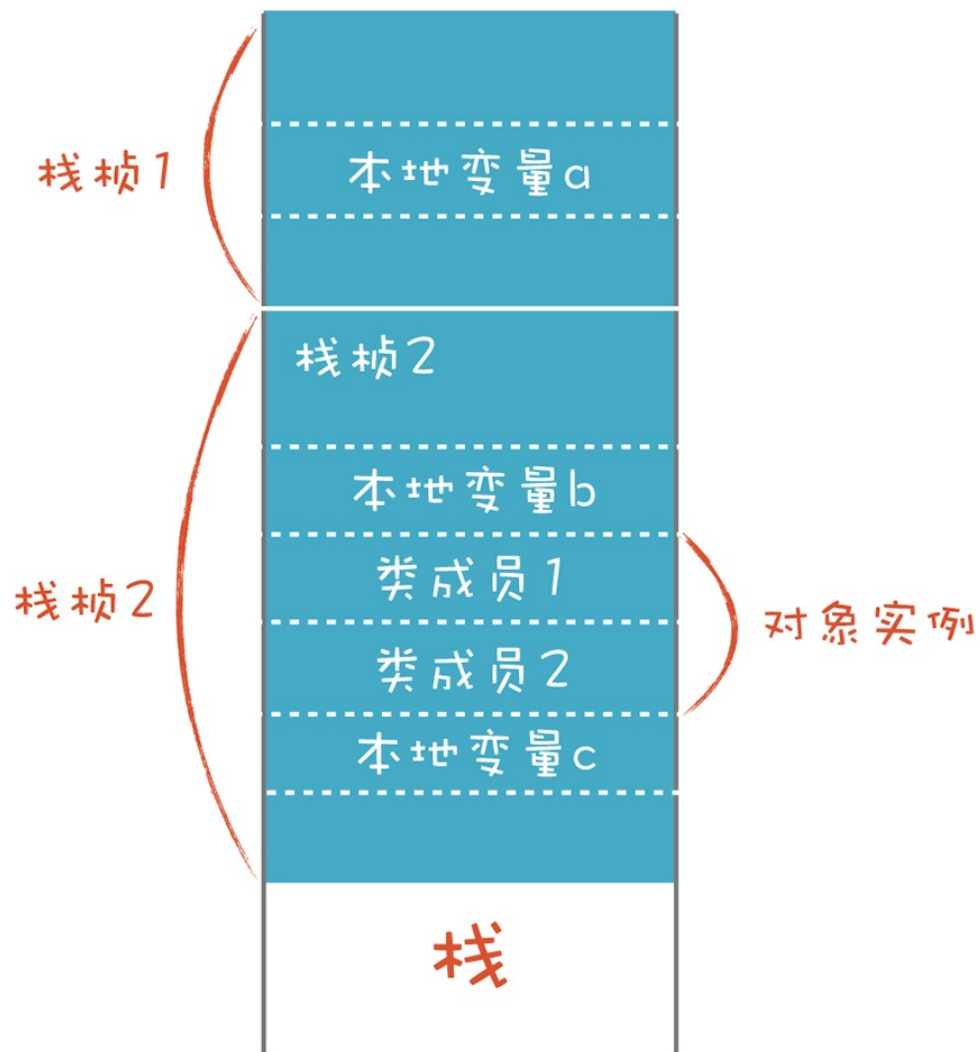
    at.typeOfNode.put(ctx, theClass); // 这次函数调用是返回一个对象
}
}
```

当然，类的构造方法跟普通函数还是有所不同的，例如我们不允许构造方法定义返回值，因为它的返回值一定是这个类的一个实例对象。

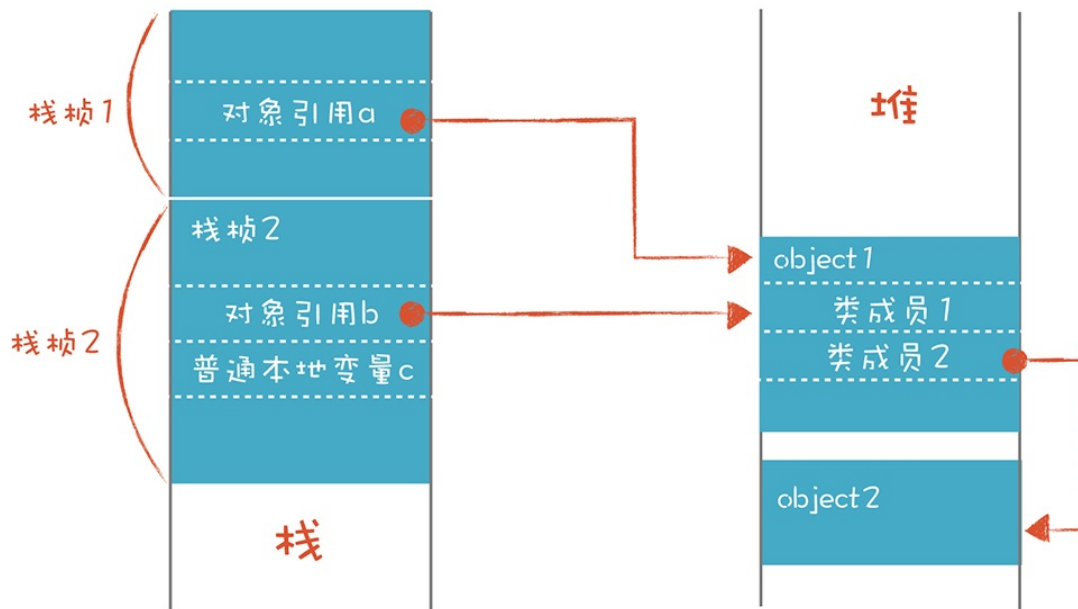
对象做了缺省初始化以后，再去调用显式定义的构造方法，这样才能完善整个对象实例化的过程。不过问题来了，我们可以把普通的本地变量的数据保存在栈里，那么如何保存对象的数据呢？

## 如何在内存里管理对象的数据

其实，我们也可以把对象的数据像其他数据一样，保存在栈里。



C语言的结构体struct和C++语言的对象，都可以保存在栈里。保存在栈里的对象是直接声明并实例化的，而不是用new关键字来创建的。如果用new关键字来创建，实际上是在堆里申请了一块内存，并赋值给一个指针变量，如下图所示：



当对象保存在堆里的时候，可以有多个变量都引用同一个对象，比如图中的变量a和变量b就可以引用同一个对象object1。类的成员变量也可以引用别的对象，比如object1中的类成员引用了object2对象。对象的生存期可以超越创建它的栈帧的生存期。

我们可以对比一下这两种方式的优缺点。如果对象保存在栈里，那么它的生存期与作用域是一样的，可以自动的创建和销毁，因此不需要额外的内存管理。缺点是对象没办法长期存在并共享。而在堆里创建的对象虽然可以被共享使用，却增加了内存管理的负担。

所以在C语言和C++语言中，要小心管理从堆中申请的内存，在合适的时候释放掉这些内存。在Java语言和其他一些语言中，采用的是垃圾收集机制，也就是说当一个对象不再被引用时，就把内存收集回来。

分析到这儿的时候，我们其实可以帮Java语言优化一下内存管理。比如我们在分析代码时，如果发现某个对象的创建和使用都局限在某个块作用域中，并没有跟其他作用域共享，那么这个对象的生存期与当前栈帧是一致的，可以在栈里申请内存，而不是在堆里。这样可以免除后期的垃圾收集工作。

分析完对象的内存管理方式之后，回到playscrip的实现。在playscrip的Java版本里，我们用一个ClassObject对象来保存对象数据，而ClassObject是PlayObject的子类。上一讲，我们已经讲过PlayObject，它被栈帧用来保存本地变量，可以通过传入Variable来访问对象的属性值：

```
//类的实例
public class ClassObject extends PlayObject{
    //类型
    protected Class type = null;
    ...
}

//保存对象数据
public class PlayObject {
    //成员变量
    protected Map<Variable, Object> fields = new HashMap<Variable, Object>();

    public Object getValue(Variable variable){
```



```

        Object rtn = fields.get(variable);
        return rtn;
    }

    public void setValue(Variable variable, Object value){
        fields.put(variable, value);
    }
}

```

在运行期，当需要访问一个对象时，我们也会用ClassObject来做一个栈帧，这样就可以像访问本地变量一样访问对象的属性了。而不需要访问这个对象的时候，就把它从栈中移除，如果没有其他对象引用这个对象，那么它会被Java的垃圾收集机制回收。

## 访问对象的属性和方法

在示例代码中，我们用点操作符来访问对象的属性和方法，比如：

```

mammal.speak(); //访问对象方法
println("mammal.name = " + mammal.name); //访问对象的属性

```

属性和方法的引用也是一种表达式，语法定义如下：

```

expression
: ...
| expression bop='.'
  ( IDENTIFIER      //对象属性
  | functionCall    //对象方法
  )
...
;

```

注意，点符号的操作可以是级联的，比如：

```

obj1.obj2.field1;
obj1.getObject2().field1;

```

所以，对表达式的求值，要能够获得正确的对象引用，你可以运行一下ClassTest.play脚本，或者去看看我的参考实现。

另外，对象成员还可以设置可见性。也就是说，有些成员只有对象内部才能用，有些可以由外部访问。这个怎么实现呢？这只是个语义问题，是在编译阶段做语义检查的时候，不允许私有的成员被外部访问，报编译错误就可以了，在其他方面，并没有什么不同。



## 课程小结

我们针对面向对象的封装特性，从类型、作用域和生存期的角度进行了重新解读，这样能够更好地把握面向对象的本质特征。我们还设计与面向对象相关的语法并做了解析，然后讨论了面向对象程序的运行期机制，例如如何实例化一个对象，如何在内存里管理对象的数据，以及如何访问对象的属性和方法。

通过对类的语法和语义的剖析和运行机制的落地，我相信你会对面向对象的机制有更加本质的认识，也能更好地使用语言的面向对象特性了。

## 一课一思

我们用比较熟悉的语法实现了面向对象的基础特性，像Ruby、Go这样的语言，还有另外的机制来实现面向对象。思考一下，你所熟悉的语言的面向对象机制，在底层是如何实现的？它们在类型、作用域和生存期三个方面的特点是什么？欢迎在留言区分享你的发现。

最后，感谢你的阅读，如果这篇文章让你有所收获，也欢迎你将它分享给更多的朋友。

我将本节课相关代码的链接放在了文末，供你参考。

- playscript-java（项目目录）：[码云](#) [GitHub](#)
- PlayScript.java（入口程序）：[码云](#) [GitHub](#)
- PlayScript.g4（语法规则）：[码云](#) [GitHub](#)
- ASTEvaluator.java（解释器）：[码云](#) [GitHub](#)
- TypeAndScopeScanner.java（识别对象声明）：[码云](#) [GitHub](#)
- TypeResolver.java（消解变量声明中引用的类型）：[码云](#) [GitHub](#)
- RefResolver.java（消解变量引用和函数调用）：[码云](#) [GitHub](#)
- ClassTest.play（演示面向对象的基本特征）：[码云](#) [GitHub](#)



# 编译原理之美

手把手教你实现一个编译器

宫文学

北京物演科技CEO



新版升级：点击「 请朋友读」，20位好友免费读，邀请订阅更有**现金**奖励。

## 精选留言：

- d 2019-09-02 19:57:14  
c语言也能写成面向对象风格，只要实现了面向对象的范式，就是面向对象模型编程，不知说的对不对，还请宫老师指正。
- 李梁 | 东大 2019-09-02 00:18:31  
请问c++ auto变量能进行对象类型推导，这是怎么实现的呢

作者回复2019-09-02 16:29:30

你很善于动脑。

类型推断是第11讲里会讲的内容。

我这里提前说一下：类型推断就是两个计算过程。一个是S属性（综合属性）计算，从下往上推导，比如：

```
auto a = 2;
```

你从叶子节点2能推导出这整个语句的类型是int。

再做I属性（继承属性）计算，就是从上到下的推导。a是这个表达式的叶子节点，a的类型是可以从整个表达式的类型继承下来。