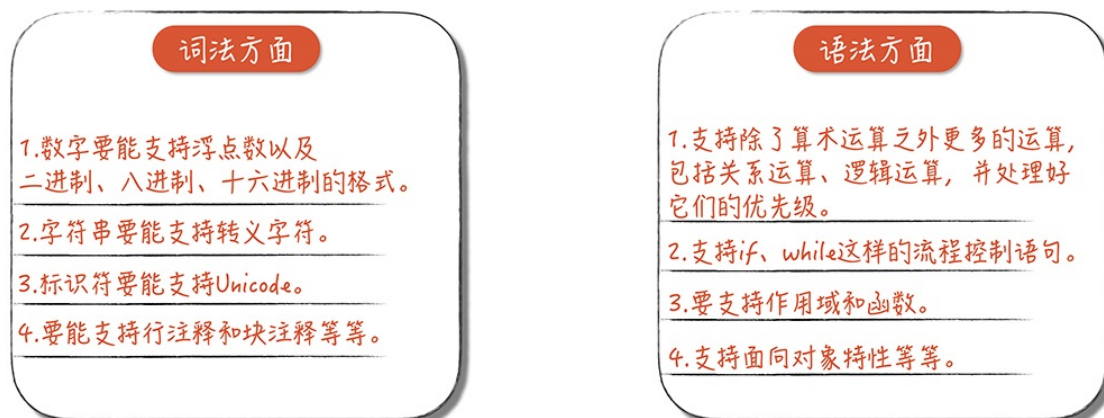


06-编译器前端工具（一）：用Antlr生成词法、语法分析器

前面的课程中，我重点讲解了词法分析和语法分析，在例子中提到的词法和语法规则也是高度简化的。虽然这些内容便于理解原理，也能实现一个简单的原型，在实际应用中却远远不够。实际应用中，一个完善的编译程序还要在词法方面以及语法方面实现很多工作，我这里特意画了一张图，你可以直观地看一下。



如果让编译程序实现上面这么多工作，完全手写效率会有点儿低，那么我们有什么方法可以提升效率呢？答案是借助工具。

编译器前端工具有很多，比如Lex（以及GNU的版本Flex）、Yacc（以及GNU的版本Bison）、JavaCC等等。你可能会问了：“那为什么我们这节课只讲Antlr，不选别的工具呢？”主要有两个原因。

第一个原因是Antlr能支持更广泛的目标语言，包括Java、C#、JavaScript、Python、Go、C++、Swift。无论你用上面哪种语言，都可以用它生成词法和语法分析的功能。而我们就使用它生成了Java语言和C++语言两个版本的代码。

第二个原因是Antlr的语法更加简单。它能把类似左递归的一些常见难点在工具中解决，对提升工作效率有很大的帮助。这一点，你会在后面的课程中直观地感受到。

而我们今天的目标就是了解Antlr，然后能够使用Antlr生成词法分析器与语法分析器。在这个过程中，我还会带你借鉴成熟的词法和语法规则，让你快速成长。

接下来，我们先来了解一下Antlr这个工具。

初识Antlr

Antlr是一个开源的工具，支持根据规则文件生成词法分析器和语法分析器，它自身是用Java实现的。

你可以[下载Antlr工具](#)，并根据说明做好配置。同时，你还需要配置好机器上的Java环境（可以在[Oracle官网](#)找到最新版本的JDK）。

因为我用的是Mac，所以我用macOS平台下的软件包管理工具Homebrew安装了Antlr，它可以自动设置好antlr和grun两个命令（antlr和grun分别是java org.antlr.v4.Tool和java org.antlr.v4.gui.TestRig这两个命令的别名）。这里需要注意的是，你要把Antlr的JAR文件设置到CLASSPATH环境变量中，以便顺利编译所生成的Java源代码。

[GitHub](#)上还有很多供参考的语法规则，你可以下载到本地硬盘随时查阅。

现在你已经对Antlr有了初步的了解，也知道如何安装它了。接下来，我带你实际用一用Antlr，让你用更轻松的方式生成词法分析器和语法分析器。

用Antlr生成词法分析器

你可能对Antlr还不怎么熟悉，所以我会先带你使用前面课程中，你已经比较熟悉的那些语法规则，让Antlr生成一个新的词法分析器，然后再借鉴一些成熟的规则文件，把词法分析器提升到更加专业、实用的级别。

Antlr通过解析规则文件来生成编译器。规则文件以.g4结尾，词法规则和语法规则可以放在同一个文件里。不过为了清晰起见，我们还是把它们分成两个文件，先用一个文件编写词法规则。

为了让你快速进入状态，我们先做一个简单的练习预热一下。我们创建一个Hello.g4文件，用于保存词法规则，然后把之前用过的一些词法规则写进去。

```
lexer grammar Hello; //lexer关键字意味着这是一个词法规则文件，名称是Hello，要与文件名相同

//关键字
If :          'if';
Int :         'int';

//字面量
IntLiteral:   [0-9]+;
StringLiteral:  '"' .*? '"' ; //字符串字面量

//操作符
AssignmentOP: '=' ;
RelationalOP: '>' | '>=' | '<' | '<=' ;
Star:         '*';
Plus:         '+';
Sharp:        '#';
SemiColon:    ';';
Dot:          '.';
Comm:         ',';
LeftBracket : '[';
RightBracket: ']';
LeftBrace:    '{';
RightBrace:   '}';
LeftParen:    '(';
RightParen:   ')';

//标识符
Id :          [a-zA-Z_] ([a-zA-Z_] | [0-9])*;

//空白字符，抛弃
Whitespace:   [ \t]+ -> skip;
Newline:      ( '\r' '\n'? | '\n') -> skip;
```

你能很直观地看到，每个词法规则都是大写字母开头，这是Antlr对词法规则的约定。而语法规则是以小写字母开头的。其中，每个规则都是用我们已经了解的正则表达式编写的。

接下来，我们来编译词法规则，在终端中输入命令：

```
antlr Hello.g4
```

这个命令是让Antlr编译规则文件，并生成Hello.java文件和其他两个辅助文件。你可以打开看一看文件里面的内容。接着，我用下面的命令编译Hello.java：

```
javac *.java
```

结果会生成Hello.class文件，这就是我们生成的词法分析器。接下来，我们来写个脚本文件，让生成的词法分析器解析一下：

```
int age = 45;
if (age >= 17+8+20){
    printf("Hello old man!");
}
```

我们将上面的脚本存成hello.play文件，然后在终端输入下面的命令：

```
grun Hello tokens -tokens hello.play
```

grun命令实际上是调用了我们刚才生成的词法分析器，即Hello类，打印出对hello.play词法分析的结果：

```
script — -bash — 66x26
(base) shikong-MacBook-Pro:script richard$ grun Hello tokens -tokens hello.pl
[0,0:2='int',<'int'>,1:0]
[1,4:6='age',<Id>,1:4]
[2,8:8='',<'>,1:8]
[3,10:11='45',<IntLiteral>,1:10]
[4,12:12=';',<'>,1:12]
[5,14:15='if',<'if'>,2:0]
[6,17:17='(',<'('>,2:3]
[7,18:20='age',<Id>,2:4]
[8,22:23='>=',<RelationalOP>,2:8]
[9,25:26='17',<IntLiteral>,2:11]
[10,27:27='+',<'+'>,2:13]
[11,28:28='8',<IntLiteral>,2:14]
[12,29:29='+',<'+'>,2:15]
[13,30:31='20',<IntLiteral>,2:16]
[14,32:32=')',<')'>,2:18]
[15,33:33='{',<'{'>,2:19]
[16,39:44='printf',<Id>,3:4]
[17,45:45='(',<'('>,3:10]
[18,46:61='"Hello old man!"',<StringLiteral>,3:11]
[19,62:62=')',<')'>,3:27]
[20,63:63=';',<'>,3:28]
[21,65:65='}',<'}'>,4:0]
[22,66:65='<EOF>',<EOF>,4:1]
(base) shikong-MacBook-Pro:script richard$
```

从结果中看到，我们的词法分析器把每个Token都识别了，还记录了它们在代码中的位置、文本值、类别。上面这些都是Token的属性。

以第二行[@1,4:6= ‘age’ ,<Id>,1:4]为例，其中@1是Token的流水编号，表明这是1号Token；4:6是Token在字符流中的开始和结束位置；age是文本值，Id是其Token类别；最后的1:4表示这个Token在源代码中位于第1行、第4列。

非常好，现在我们已经让Antlr顺利跑起来了！接下来，让词法规则更完善、更严密一些吧！**怎么做呢？当然是参考成熟的规则文件。**

从Antlr的一些示范性的规则文件中，我选了Java的作为参考。先看看我们之前写的字符串字面量的规则：

```
StringLiteral:      '"' .*? '"' ; //字符串字面量
```

我们的版本相当简化，就是在双引号可以包含任何字符。可这在实际中不大好用，因为连转义功能都没有提供。我们对于一些不可见的字符，比如回车，要提供转义功能，如“\n”。同时，如果字符串里本身有双引号的话，也要将它转义，如“\”。Unicode也要转义。最后，转义字符本身也需要转义，如“\\”。

下面这一段内容是Java语言中的字符串字面量的完整规则。你可以看一下文稿，这个规则就很细致了，把各种转义的情况都考虑进去了：

```
STRING_LITERAL:    '\'' (~["\\r\n"] | EscapeSequence)* '\'';

fragment EscapeSequence
    : '\\' [btnfr"'\']
    | '\\' ([0-3]? [0-7])? [0-7]
    | '\\' 'u'+ HexDigit HexDigit HexDigit HexDigit
    ;

fragment HexDigit
    : [0-9a-fA-F]
    ;
```

在这个规则文件中，fragment指的是一个语法片段，是为了让规则定义更清晰。它本身并不生成Token，只有StringLiteral规则才会生成Token。

当然了，除了字符串字面量，数字字面量、标识符的规则也可以定义得更严密。不过，因为这些规则文件都很严密，写出来都很长，在这里我就不一一展开了。如果感兴趣，我推荐你在下载的规则文件中找到这些部分看一看。你还可以参考不同作者写的词法规则，体会一下他们的设计思路。和高手过招，会更快地提高你的水平。

我也拷贝了一些成熟的词法规则，编写了一个CommonLexer.g4的规则文件，这个词法规则是我们后面工作的基础，它基本上已经达到了专业、实用的程度。

在带你借鉴了成熟的规则文件之后，我想穿插性地讲解一下在词法规则中对Token归类的问题。在设计词法规则时，你经常会遇到这个问题，解决这个问题，词法规则会更加完善。

在前面练习的规则文件中，我们把>=、>、<都归类为关系运算符，算作同一类Token，而+、*等都单独作为另一类Token。那么，哪些可以归并成一类，哪些又是需要单独列出的呢？

其实，这主要取决于语法的需要。也就是在语法规则文件里，是否可以出现在同一条规则里。它们在语法层面上没有区别，只是在语义层面上有区别。比如，加法和减法虽然是不同的运算，但它们可以同时出现在同一条语法规则中，它们在运算时的特性完全一致，包括优先级和结合性，乘法和除法可以同时出现在乘法规则中。你把加号和减号合并成一类，把乘号和除号合并成一类是可以的。把这4个运算符每个都单独作为一类，也是可以的。但是，不能把加号和乘号作为同一类，因为它们在算术运算中的优先级不同，肯定出现在不同的语法规则中。

我们再来回顾一下在[“02 | 正则文法和有限自动机：纯手工打造词法分析器”](#)里做词法分析时遇到的一个问题。当时，我们分析了词法冲突的问题，即标识符和关键字的规则是有重叠的。Antlr是怎么解决这个问题的呢？很简单，它引入了优先级的概念。在Antlr的规则文件中，越是前面声明的规则，优先级越高。所以，我们把关键字的规则放在ID的规则前面。算法在执行的时候，会首先检查是否为关键字，然后才会检查是否为ID，也就是标识符。

这跟我们当时构造有限自动机做词法分析是一样的。那时，我们先判断是不是关键字，如果不是关键字，才识别为标识符。而在Antlr里，仅仅通过声明的顺序就解决了这个问题，省了很多事儿啊！

再说个有趣的题外话。之前国内有人提“中文编程语言”的概念，也就是语法中的关键字采用中文，比如“如果”“那么”等。他们似乎觉得这样更容易理解和掌握。我不太提倡这种想法，别的不说，用中文写

关键字和变量名，需要输入更多的字符，有点儿麻烦。中国的英语教育很普及，用英语来写代码，其实就够了。

不过，你大可以试一下，让自己的词法规则支持中文关键字。比如，把“if”的规则改成同时支持英文的“if”，以及中文的“如果”：

```
If:          'if' | '如果';
```

再把测试用的脚本hello.play中的“if”也改成“如果”，写成：

```
如果 (age >= 17+8+20){
```

重新生成词法分析器并运行，你会发现输出中有这么一行：

```
[@5,14:15='如果',<If>,2:0]
```

这个Token的文本值是“如果”，但类别仍然是“if”。所以，要想实现所谓的“中文编程语言”，把C、Java等语言的词法规则改一改，再把编译器重新编译一下就行了！

用Antlr生成语法分析器

说回我们的话题。现在，你已经知道如何用Antlr做一个词法分析器，还知道可以借鉴成熟的规则文件，让自己的词法规则文件变得更完善、更专业。接下来，试着用Antlr生成一个语法分析器，替代之前手写的语法分析器吧！

这一次的文件名叫做PlayScript.g4。PlayScript是为我们的脚本语言起的名称，文件开头是这样的：

```
grammar PlayScript;
import CommonLexer;    //导入词法定义

/*下面的内容加到所生成的Java源文件的头部，如包名称，import语句等。*/
@header {
package antlrtest;
}
```

然后把之前做过的语法定义放进去。Antlr内部有自动处理左递归的机制，你可以放心大胆地把语法规则写成下面的样子：

```

expression
:   assignmentExpression
|   expression ',' assignmentExpression
;

assignmentExpression
:   additiveExpression
|   Identifier assignmentOperator additiveExpression
;

assignmentOperator
:   '='
|   '*='
|   '/='
|   '%='
|   '+='
|   '-='
;

additiveExpression
:   multiplicativeExpression
|   additiveExpression '+' multiplicativeExpression
|   additiveExpression '-' multiplicativeExpression
;

multiplicativeExpression
:   primaryExpression
|   multiplicativeExpression '*' primaryExpression
|   multiplicativeExpression '/' primaryExpression
|   multiplicativeExpression '%' primaryExpression
;

```

你可能会问：“既然用Antlr可以不管左递归问题，那之前为什么要费力气解决它呢？”那是因为当你遇到某些问题却没有现成工具时，还是要用纯手工的方法去解决问题。而且，有的工具可能没有这么智能，你需要写出符合这个工具的规则文件，比如说不能有左递归的语法规则。**还是那句话：懂得基础原理，会让你站得更高。**

我们继续运行下面的命令，生成语法分析器：

```

antlr PlayScript.g4
javac antlrtest/*.java

```

然后测试一下生成的语法分析器：

```

grun antlrtest.PlayScript expression -gui

```

这个命令的意思是：测试PlayScript这个类的expression方法，也就是解析表达式的方法，结果用图形化界面显示。

Parse Tree Inspector

```

graph TD
    expression --> assignmentExpression
    assignmentExpression --> additiveExpression
    additiveExpression --> additiveExpression
    additiveExpression --> plus1["+"]
    additiveExpression --> multiplicativeExpression
    additiveExpression --> primaryExpression
    multiplicativeExpression --> primaryExpression
    primaryExpression --> literal1["10"]
    multiplicativeExpression --> additiveExpression
    additiveExpression --> additiveExpression
    additiveExpression --> plus2["+"]
    additiveExpression --> multiplicativeExpression
    multiplicativeExpression --> primaryExpression
    primaryExpression --> literal2["2"]
    multiplicativeExpression --> primaryExpression
    primaryExpression --> literal3["10"]
    multiplicativeExpression --> primaryExpression
    primaryExpression --> age
  
```

expression

- assignmentExpression
 - additiveExpression
 - additiveExpression
 - additiveExpression
 - multiplicativeExpression
 - primaryExpression
 - literal
 - 10
 - +
 - multiplicativeExpression
 - primaryExpression
 - literal
 - 10

OK Export as PNG Export as SVG

课程小结

除此之外，我带你借鉴了成熟的词法规则和语法规则。你可以将这些规则用到自己的语言设计中。采用工具和借鉴成熟规则十分重要，站在别人的肩膀上能让自己更快成长。

一课一思

今天我们介绍了Antlr这个工具，你有没有使用类似工具的经验？在使用过程中又有什么心得或问题呢？欢

迎在留言区分享你的心得或问题。

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。

本讲的示例代码位于lab/antlrtest，代码链接我放在了文末，供你参考。

- Hello.g4（用Antlr重写了前几讲的词法规则）：[码云](#) [GitHub](#)
- CommonLexer.g4（比较成熟的词法文件）：[码云](#) [GitHub](#)
- PlayScript.g4（用Antlr重写了前几讲的语法规则）：[码云](#) [GitHub](#)
- ASTEvaluator.java（对AST遍历，实现整数的算术运算）：[码云](#) [GitHub](#)
- PlayScript.java（一个测试程序，实现词法分析、语法分析、公式计算）：[码云](#) [GitHub](#)

 极客时间

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：

- kaixiao7 2019-08-26 13:42:44
在Windows下需要用 ^z 即Ctrl+z 来弹出AST窗口

That ^D means EOF on unix; it's ^Z in Windows. [1赞]

作者回复2019-08-26 15:12:40

windows下用^Z？我都没注意到这点。

好的，一个有用的知识，应该加到文稿中去。

谢谢你的提醒！

20年前开始学unix命令的时候，就一直用^D，完全没注意到在windows下的用法:-D

- PythonAI 2019-08-26 10:54:11
➔ antlr grun antlrtest.PlayScriptexpression -gui

Can't load antlrtest.PlayScriptexpression as lexer or parser [1赞]

作者回复2019-08-26 12:06:29

expression前要有空格，前面没有antlr。

grun antlrtest.PlayScript expression -gui

我请编辑把那个空格加上。

- 雲至 2019-08-26 21:45:23

老师可以讲一下规则文件里主要单词的意义吗？看的有点懵

- 雲至 2019-08-26 21:44:17

老师可以讲下规则文件里的主要单词的意义吗？看的有点蒙

- 李懂 2019-08-26 19:37:56

执行这个grun Hello tokens -tokens hello.play

报错Exception in thread "main" java.lang.NoClassDefFoundError: Hello (wrong name: antlrtest/Hello)

添加了.classPath

原来是生成的Hello.java中有包名

package antlrtest;

使用

javac -d Hello.java

grun antlrtest.Hello tokens -tokens hello.play

就可以了，终于硬着头皮看完了，对我来说理解有点费劲，希望能坚持下去

- Giacomo 2019-08-26 09:58:14

还有就是当我输入

\$ javac Hello.java

\$ grun Hello tokens -tokens hello.play

后，java会报错为

Exception in thread "main" java.lang.NoClassDefFoundError: Hello (wrong name: antlrtest/Hello)

文件位置是`PlayWithCompiler/lab/antlrtest/src/antlrtest`

java : openjdk version "1.8.0_222"

作者回复2019-08-26 10:32:36

是CLASSPATH的问题。

设置CLASSPATH包含当前目录，也就是.

到Hello.java的目录下去运行。

- Giacomo 2019-08-26 09:52:35

老师，我的电脑是win10系统，但我安装了Ubuntu子系统。我想知道直接用

`sudo apt remove pccts` 和 `sudo apt install grun` 安装的是我所需要的命令吗？

作者回复2019-08-26 10:31:07

antlr的安装，请参考官方文档：<https://github.com/antlr/antlr4/blob/master/doc/getting-started.md>

基本上就是：

1.安装java环境

2. 下载jar包；
3. 设置CLASSPATH
4. (可选) 设置两个shell的别名，这样打命令少敲点字。

- 安排 2019-08-26 09:24:56

