

Compiladores - JFlex

Fabio Mascarenhas – 2015.2

<http://www.dcc.ufrj.br/~fabiom/comp>

JFlex

compilador

- Um gerador de analisadores léxicos que gera analisadores escritos em Java
- A sintaxe das especificações é inspirada na sintaxe das especificações para *Lex*, um gerador de analisadores léxicos para Unix
- Baixe em <http://jflex.de/>. O arquivo inclui scripts para executar ele tanto em Linux (jflex) quanto Windows (jflex.bat); use-os!

```
$ jflex scanner_spec.jflex  
Reading "scanner_spec"  
Constructing NFA : 36 states in NFA  
Converting NFA to DFA : .....  
14 states before minimization, 5 states in minimized DFA  
Writing code to "Scanner.java"
```

ESPEC. F. C. P. 4 P. 0

↳ GERADOR LÉXICO

Especificando um Scanner

- Arquivo de especificação:

```
código Java (fica fora da classe do scanner)
%%
opções e declarações
%%
regras do scanner
```

- Código Java normalmente são *import* de pacotes que você pretende referenciar no código do scanner
- Opções controlam como é o scanner gerado
- Regras são expressões regulares e as ações que o scanner executa quando reconhece uma delas

Opções e declarações

- **%class Foo** - Gera uma classe pro scanner com nome **Foo** (em um arquivo **Foo.java**)
- **%line** e **%column** - Ativa contagem automática de linhas e colunas, respectivamente (acessadas pelas variáveis **yyline** e **yycolumn**); útil para mensagens de erro
- **%{ ... %}** - Inclui código Java **dentro** da classe do scanner
- **%init{ ... %init}** - Inclui código Java dentro do construtor da classe do scanner
- **nome = regexp** - Define uma macro que pode ser referenciada pelas regras do scanner com **{nome}**
- **%function getToken** - Define o nome do método que executa o scanner como **getToken**
- **%type Token** (ou **%int**) - Define o tipo de retorno do método que executa o scanner como **Token**

Expressões regulares JFlex

Expressão	Significado
a	Caractere 'a'
"foo"	Cadeia "foo"
[abc]	'a', 'b' ou 'c'
[a-d]	'a', 'b', 'c' ou 'd'
[^ab]	Qualquer caractere exceto 'a' e 'b'
.	Qualquer caractere exceto \n
x y	Expressão x ou y
xy	Concatenação
x*	Fecho de Kleene <i>0 ou +</i>
x+	Fecho positivo <i>1 ou +</i>
x?	Opcional <i>0 ou 1</i>
!x	Negação
~x	Tudo até x (inclusive)

*(!x)*x*

Regras e Ações

- Regras têm o formato

regex { código Java }

- O código Java é copiado para dentro do método do scanner
- Para pegar o valor do lexeme usa-se o método `yytext()`
- Lembre sempre de retornar ao final do código, ou o scanner continua rodando!
- Regra especial `<<EOF>>` casa com o final do arquivo

*yyline
yycolumn*

⊗ = 2

Exemplo

```
%%  
  
%public  
%class ScannerJF  
%function token  
%type Token  
%line  
%%  
  
[ \n\r\t]    { } → EXEMPLO ESPAÇOS  
  
[0-9]+      { return new Token(Token.NUM, yytext()); }  
  
"print"     { return new Token(Token.PRINT, yytext()); }  
  
[a-zA-Z]+   { return new Token(Token.ID, yytext()); }  
  
[+]|[-]|;|[(]|[)]|[=] { return new Token(yytext().charAt(0), yytext()); }  
  
<<EOF>>    { return new Token(Token.EOF, "<<EOF>>"); }  
  
.           { throw new RuntimeException("caractere inválido "+yytext()); }
```

yyline

CÓDIGO TOKEN

CÓDIGO CHAR

Especificações heterogêneas

- O analisador léxico trabalha sem nenhuma noção da estrutura do programa, e se o próximo token que ele leu faz sentido naquela parte do programa ou não
 - Um analisador léxico para Java interpretaria `123+-/4if` como um número, seguido de `+`, seguido de `-`, seguido de `/`, seguido de outro número, seguido de `if`
- Mas o nível léxico da linguagem pode não ser uniforme
- Em HTML, por exemplo, as regras léxicas no interior de uma tag (entre os tokens `<` e `>` ou `/>`) são diferentes das regras fora de uma tag

Estados

- Podemos tratar uma linguagem com regras léxicas heterogêneas como várias linguagens misturadas
- Cada uma com sua especificação léxica homogênea
- Basta haver um mecanismo de separar as diferentes especificações, e chavear entre elas
- No JFlex (e todos os analisadores léxicos derivados do *Lex* original) isso é feito através de *estados*

Estados

- Um estado é um jeito de isolar partes da especificação léxica

```
<ESTADO> {  
    ... regras ...  
}
```

- As regras dentro do bloco só serão válidas se o estado atual do analisador léxico for *ESTADO*
- Uma regra fora de um bloco vale em qualquer estado
- Há sempre um estado inicial *YYINITIAL*

Declarando e mudando estados

- Estados são declarados na seção de declarações com a diretiva **%state**
- Para mudar de um estado para outro usa-se a função `yybegin` dentro da ação de algum token, passando o estado para o qual se quer ir
- Não existe uma função `yyend`! Para voltar a o estado inicial se usa `yybegin(YYINITIAL);`

```
%state TAG
%%
<YYINITIAL> {
  [<] { yybegin(TAG); return new Token('<'); }
  [^< ]+ { return new Token(PALAVRA, yytext()); }
}
<TAG> {
  [>] { yybegin(YYINITIAL); return new Token('>');
  ... outras regras ... → id, =, string
}
```

Outros usos de estados

"Ola mundo"
"Ola {mundo}"

- Usar estados pode ser útil mesmo que a linguagem tenha uma especificação léxica homogênea
- Podemos tratar partes tradicionalmente espinhosas de muitas linguagens, como literais string e comentários, com estados próprios para isso
- Regras mais simples para o que é permitido no interior de uma string ou um comentário, sem afetar o resto da especificação
- Podemos até fazer coisas que só com expressões regulares não é possível!

Comentários aninhados

- Um comentário Java é qualquer texto entre `/*` e `*/`
 - Ou seja, o primeiro `*/` que aparece dentro de um comentário acaba ele!
 - Em `/* foo /* bar */ baz */` o comentário termina no primeiro `*/`, e `baz */` vai ser tokenizado normalmente
- Mas existem linguagens que permitem aninhamento de comentários, onde o que está acima seria um único comentário
- Não podemos expressar a linguagem dos comentários aninhados com uma expressão regular (lema do bombeamento), mas podemos simular isso com estados e ações em JFlex

Comentários aninhados

- A ideia é ter um estado só para comentários, e as outras regras do scanner ficam associadas apenas ao estado YYINITIAL
- Quando entramos no estado de comentários, inicializamos um contador de nível de aninhamento em 1
- Dentro do estado de comentários, cada /* encontrado aumenta nosso nível de aninhamento em 1
- Cada */ encontrado diminui o nível em 1, e quando o nível chega a 0 voltamos a YYINITIAL
- Qualquer outro caractere, incluindo quebras de linha, é ignorado

Mudando o estado em outras partes

- A mudança de um estado para outro pode não ser controlada pela análise léxica, mas por outras partes do compilador
- Em Java, `List<List<Integer>>` foo é uma sequência ID < ID < ID > > ID se isso for uma declaração de uma variável, enquanto é ID < ID < ID RSHIFT ID se isso for uma expressão
- O analisador sintático pode mudar o estado do analisador léxico a depender de qual parte do programa ele está analisando

Outros truques com JFlex - Indentação

- A linguagem Python não tem tokens especiais para delimitar blocos no programa
- Ela usa *indentação* para sinalizar um bloco, aproveitando que é bastante comum agrupar todos os comandos de um bloco em um mesmo nível de indentação

```
def fatorial(n):  
    res = 1  
    while n > 1:  
        res = res * n  
        n = n - 1  
    return res  
print fatorial(5)
```

Indentação

- A ideia é manter uma pilha de níveis de indentação, onde cada nível é o número de espaços daquele nível
- Então associamos uma expressão regular que casa espaços no início de cada linha a uma regra que:
 - Empilha um novo nível de indentação caso o número de espaços seja maior que o topo da pilha, e gera um token BEGIN
 - Não faz nada se o número de espaços seja igual ao topo da pilha
 - **Desempilha e gera um token END enquanto o número de espaços é menor que o topo da pilha**

Stack <Integer> niveis;

Indentação

```
\n[ ]* . {
    int nivel = yytext().length() - 2;
    int atual = niveis.peek();
    yypushback(1); // volta o .
    if(nivel > atual) {
        // indenta
        niveis.push(nivel);
        return new Token(BEGIN);
    } else if(nivel < atual) {
        niveis.pop();
        // vai casar de novo para
        // gerar todos os ENDS
        yypushback(nivel + 1);
        return new Token(END);
    } else {
        // mesmo nível, não faz nada!
    }
}

<<EOF>> {
    if(niveis.peek() > 0) {
        niveis.pop();
        return new Token(END);
    } else {
        return new Token(Token.EOF, "");
    }
}
```

Entrada deve
começar com \n

Linhas em branco
são ignoradas

