Tradutores - Analisador Léxico

Pedro Lucas Pinto Andrade - 160038316

Ciência da Computação, Universidade de Brasília, Brasília DF, Brasil
pedrolpandrade@gmail.com

1 Motivação

O funcionamento de um tradutor é dividido em diversas etapas, sendo uma delas a etapa de análise. A análise também é dividida em quatro tipos principais: análise léxica, análise sintática, análise semântica e geração de código intermediário, cada uma possuindo um papel específico na execução do tradutor [ALSU07]. As fases têm como objetivo: ler um arquivo de entrada e separar o código em *tokens* seguindo as regras especificadas pelas expressões regulares (léxico); analisar se os *tokens* estão organizados conforme o conjunto de regras da gramática da linguagem (sintático); verificar se a semântica do código está condizente com o definido para a linguagem (semântico); e gerar o código intermediário que é utilizado para, posteriormente, gerar o código de máquina (geração de código intermediário).

Nesse trabalho, a linguagem escolhida é uma versão simplificada de C chamada C-IPL [Nal21], com a adição de um tipo novo de dados para listas (*list*), além de primitivas para manipular os dados nessas listas.

Com essas operações para manipulação dos elementos, uma lista se torna uma estrutura de dados versátil, que permite implementar diversas outras estruturas de dados por meio de abstrações, como pilhas ou filas. A adição da lista ao subconjunto da linguagem que foi selecionado para o trabalho permite armazenar e manipular dados de formas variadas.

2 Descrição

Para realizar a análise léxica, foram criadas definições (Tabela 1) com o uso de expressões regulares para separar o código de entrada em tokens, com o auxílio do gerador Flex. As expressões regulares determinam padrões para: identificadores; tipos de dados; operadores, como aritméticos, binários, lógicos e os operadores utilizados para manipular as listas; delimitadores, como parênteses, chaves, aspas e delimitadores de comentários; e marcadores utilizados para a formatação, como espaços e quebras de linha. Sempre que um lexema é lido e reconhecido por uma das expressões regulares, uma função correspondente dessa expressão é executada, informando qual o tipo do *token* e utilizando seu tamanho para calcular a sua posição no código de entrada.

Para esse posicionamento em relação à linha e coluna, são utilizadas variáveis globais para armazenar em qual posição está o *token* que foi lido por último,

calculadas com o auxílio da variável *yylen*, incluída pelo Flex, que guarda o tamanho do lexema lido. O posicionamento também é utilizado para a impressão de erros léxicos quando um lexema não segue as regras do conjunto de definições regulares.

Após ler e reconhecer cada lexema, o analisador léxico monta e envia os *tokens* para o analisador sintático, que cuida da próxima etapa da tradução.

O analisador sintático utiliza os *tokens* recebidos do léxico para verificar se o código está seguindo a sintaxe definida pelo conjunto de regras da gramática da linguagem C-IPL. Para isso, é construído um analisador, com o auxílio do Bison [ref21], que utiliza tabelas LR(1) canônicas para interpretar o código conforme as regras da gramática.

O analisador sintático é responsável por armazenar todas as unidades léxicas relevantes na tabela de símbolos, como declarações de variáveis e de funções, assim como sua posição no código e seu escopo. O analisador léxico também pode ser responsável por armazenar alguns dos *tokens* na tabela, mas, para simplificar o funcionamento do tradutor nesse trabalho, todas as inserções na tabela foram mantidas na fase sintática.

Os registros na tabela de símbolos serão úteis durante a fase semântica da análise, onde o programa poderá utilizar as informações armazenadas para determinar se as operações do código de entrada estão seguindo as regras semânticas definidas para a linguagem C-IPL, como verificar se uma variável está sendo utilizada dentro de seu escopo, se uma função está recebendo todos os parâmetros necessários, entre outras.

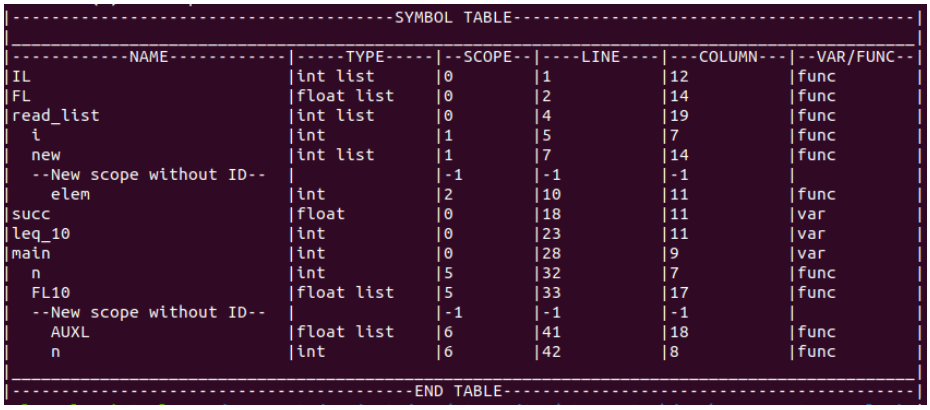
A tabela de símbolos foi implementada utilizando uma lista de símbolos [Aab04]. Um símbolo é representado por uma estrutura (Lista 1.1) que contém os campos relevantes para a tabela (nome, posicionamento em linha e coluna, escopo, escopo pai e se é uma variável ou função) e campos relevantes para o funcionamento da lista (um ponteiro para o próximo elemento). Dois ponteiros globais são utilizados para auxiliar na implementação da lista, um para o começo e outro para o último elemento inserido.

```
typedef struct Symbols {
    int line;
    int column;
    char *name;
    char *type;
    struct Symbols *next;
    int scopeValue;
    int parentScope;
    int varFunc;
} t_symbol;
```

Lista 1.1. Estrutura do símbolo

Uma pilha é utilizada para determinar o escopo das declarações que são armazenadas na tabela de símbolos. Ao encontrar uma abertura de escopo, um novo valor é empilhado, para que todas as declarações dentro desse bloco de

código recebam esse valor na tabela de símbolos. Ao encontrar o fechamento do escopo, o valor é desempilhado. Um contador global é utilizado para garantir que o valor de cada escopo é único. O valor de escopo pai é uma forma de determinar qual símbolo, se existir, foi responsável por abrir um escopo onde uma determinada variável foi declarada. Isso auxilia na impressão da tabela de símbolos, deixando mais claro onde cada declaração ocorreu. Isso pode ser visualizado no exemplo da Figura 1.



SYMBOL TABLE

NAME	TYPE	SCOPE	LINE	COLUMN	VAR/FUNC
IL	int list	0	1	12	func
FL	float list	0	2	14	func
read_list	int list	0	4	19	func
i	int	1	5	7	func
new	int list	1	7	14	func
--New scope without ID--		-1	-1	-1	
elem	int	2	10	11	func
succ	float	0	18	11	var
leq_10	int	0	23	11	var
main	int	0	28	9	var
n	int	5	32	7	func
FL10	float list	5	33	17	func
--New scope without ID--		-1	-1	-1	
AUXL	float list	6	41	18	func
n	int	6	42	8	func

END TABLE

Figura 1. Exemplo de tabela de símbolos criada pelo tradutor

A árvore sintática será construída pelo analisador sintático para exibir quais foram as derivações da gramática realizadas para obter o código C-IPL de entrada, mostrando assim como o código está dentro da sintaxe definida para a linguagem. Cada nó da árvore será uma estrutura com as informações necessárias para definir o que cada um representa (como um nome) e com ponteiros para seus nós filhos, de forma que seja possível encadeá-los e exibir toda a árvore completa no final. No momento, a construção da árvore ainda não foi implementada.

3 Arquivos de teste

Estão disponíveis quatro arquivos de teste do analisador dentro da pasta */tests/*. Os arquivos são divididos em arquivos sem erros sintáticos:

- *test_ correct1.c*;
- *test_ correct2.c*;

E arquivos com erros sintáticos:

- *test_ wrong1.c* - Erros de inteiro inesperado (esperava um ID - linha 27 coluna 16) e ponto e vírgula inesperado (linha 34 coluna 13);
- *test_ wrong2.c* - Erros de ponto e vírgula inesperado (linha 7 coluna 18) e ID inesperado (esperava ponto e vírgula - linha 15 coluna 9);

4 Instruções para compilação e execução

Um arquivo Make foi incluído para facilitar a compilação do tradutor. Basta utilizar o comando *make sintatico* na pasta principal. Caso ocorra algum problema com o arquivo Make, os comandos podem ser executados manualmente em um terminal:

```
$ bison -o ./src/syntax.tab.c -dy ./src/syntax.y
$ flex -o ./src/lex.yy.c ./src/lexical.l
$ gcc -c ./src/base.c -o ./src/base.o
$ gcc -c ./src/symbol_table.c -o ./src/symbol_table.o
$ gcc -c ./src/scope.c -o ./src/scope.o
$ gcc ./src/lex.yy.c ./src/syntax.tab.c ./src/base.o
    ./src/symbol_table.o ./src/scope.o -o tradutor -Wall
```

Após compilar, basta executar os seguintes comandos para rodar os arquivos de teste:

```
$ make run_correct1
$ make run_correct2
$ make run_wrong1
$ make run_wrong2
```

Para executar o analisador em outros arquivos, basta utilizar o seguinte comando:

```
$ $./tradutor teste.c
```

trocando a palavra *teste* pelo nome de um arquivo na linguagem C-IPL.

As versões dos sistemas utilizados para compilação foram: *Flex* (flex 2.6.4), *Bison* (GNU Bison 3.7.5 compilado do código fonte), *Make* (GNU Make 4.2.1), *GCC* (11.2.0 compilado do código fonte), *OS* (Linux 5.8.0-63-generic 20.04.1-Ubuntu).

Referências

[Aab04] A. A. Aaby. Compiler construction using flex and bison. https://www.admb-project.org/tools/flex/compiler.pdf. Acessado em 02 Set 2021, 2004.

[ALSU07] A. Aho, M. Lam, R. Sethi, and J. Ullman. *Compilers: Principles, Techniques, and Tools*. Pearson Addison Wesley, 2nd edition, 2007.

[Hec21] R. Heckendorn. A grammar for the C- programming language (version s21). http://marvin.cs.uidaho.edu/Teaching/CS445/c-Grammar.pdf. Acessado em 08 Ago 2021, 2021.

[Nal21] C. Nalon. Trabalho prático - descrição da linguagem. https://aprender3.unb.br/mod/page/view.php?id=464034. Acessado em 02 Set 2021, 2021.

[ref21] Bison manual. https://www.gnu.org/software/bison/manual/. Acessado em 02 Set 2021, 2021.

A Tabelas léxicas

A Tabela 1 mostra os *tokens* criados para o analisador léxico, além das expressões regulares utilizadas para definir cada um. A Tabela 2 mostra os lexemas de cada *token* e seu valor de atributo.

B Gramática da linguagem

A gramática foi criada com base na gramática para a linguagem C- [Hec21] e nas regras padrões de C das operações que fazem parte da linguagem reduzida definida para o trabalho.

1. *program* → *declarationList*
2. *delarationList* → *declarationList declaration* | *declaration* | *declarationList statement* | *statement*
3. *declaration* → *varDeclaration* | *funcDeclaration*
4. *varDeclaration* → **TYPE ID DELIM_SEMICOLLON** | **TYPE LIST_TYPE ID DELIM_SEMICOLLON**
5. *funcDeclaration* → **TYPE ID DELIM_PARENT_L** *parameters* **DELIM_PARENT_R** *bodyStatement* | **TYPE LIST_TYPE ID DELIM_PARENT_L** *parameters* **DELIM_PARENT_R** *bodyStatement*
6. *parameters* → *parameterList* | ϵ
7. *parameterList* → *parameterList* **DELIM_COMMA TYPE ID** | *parameterList* **DELIM_COMMA TYPE LIST_TYPE ID** | **TYPE ID** | **TYPE LIST_TYPE ID**
8. *statement* → *bodyStatement* | *ifStatement* | *loopStatement* | *returnStatement* | *listStatement* **DELIM_SEMICOLLON** | *writeOp* **DELIM_SEMICOLLON** | *readOp* **DELIM_SEMICOLLON** | *expressionStatement*
9. *bodyStatement* → **DELIM_CUR_BRACKET_L** *statementList* **DELIM_CUR_BRACKET_R**
10. *localDeclaration* → *localDeclaration varDeclaration* | ϵ
11. *statementList* → *statementList localDeclaration statement* | ϵ
12. *ifStatement* → **IF_KEY DELIM_PARENT_L** *simpleExpression* **DELIM_PARENT_R** *statement* | **IF_KEY DELIM_PARENT_L** *simpleExpression* **DELIM_PARENT_R** *statement* **ELSE_KEY** *statement*
13. *loopStatement* → **FOR_KEY DELIM_PARENT_L** *expression* **DELIM_SEMICOLLON** *simpleExpression* **DELIM_SEMICOLLON** *expression* **DELIM_PARENT_R** *statement*
14. *returnStatement* → **RETURN_KEY** *expression* **DELIM_SEMICOLLON**
15. *expression* → **ID ASSIGN_OP** *expression* | *simpleExpression*
16. *simpleExpression* → *logicBinExpression*

Tabela 1. Definições dos tokens no código Flex.

Token	Expressão regular	Exemplo de lexema
DIGIT	[0-9]	0, 6
INT	{DIGIT}+	1955
FLOAT	{DIGIT}+[.]{DIGIT}+	11.05
ID	[a-zA-Z_][a-z0-9A-Z]*	main
TYPE	int|float	int
LIST_TYPE	list	list
STRING	{"}(\\.|[^{"}\\])*{"}	"texto"
NULL_CONST	nil	nil
PLUS_OP	+	+
MINUS_OP	-	-
DIV_OP	/	/
MUL_OP	*	*
LOGIC_OP	|||&&	||, &&
BINARY_OP	<|<=|>|>=|==|!=	==, >
ASSIGN_OP	[=]	=
EXCLA_OP	[!]	!
IF_KEY	if	if
ELSE_KEY	else	else
FOR_KEY	for	for
RETURN_KEY	return	return
INPUT_KEY	read	read
OUTPUT_KEY	write	write
OUTPUTLN_KEY	writeln	writeln
ASSIGN_LISTOP	:	:
HEADER_LISTOP	?	?
TAILDES_LISTOP	%	%
MAP_LISTOP	»	»
FILTER_LISTOP	«	«
DELIM_PARENT_L	(	(
DELIM_PARENT_R	)	)
DELIM_BRACKET_L	[	[
DELIM_BRACKET_R	]	]
DELIM_CUR_BRACKET_L	{	{
DELIM_CUR_BRACKET_R	}	}
DELIM_COMMA	[,]	,
DELIM_SEMICOLLON	[;]	;
DELIM_SQUOTE	[']	'
DELIM_DQUOTE	["]	"
SINGLE_COMMENT	//[^\n]*	// texto
MULTI_COMMENT	\/*[^(*\/)]**\/	/* texto */
FORMAT_BLANKSPACE	[ ]	*espaço em branco*
FORMAT_NEWLINE	\n	*quebra de linha*
FORMAT_TAB	\t	*tab*

Tabela 2. Tokens e seus lexemas e valores de atributo correspondentes

Lexemas	Token	Valor de atributo
Inteiro	**INT**	Ponteiro para a tabela de símbolos
Decimal	**FLOAT**	Ponteiro para a tabela de símbolos
Id	**ID**	Ponteiro para a tabela de símbolos
int	**TYPE**	INT
float	**TYPE**	FLO
list	**LIST_TYPE**	LIST
Cadeia de caracteres	**STRING**	Ponteiro para a tabela de símbolos
nil	**NULL_CONST**	-
+	**PLUS_OP**	PLUS
-	**MINUS_OP**	MINUS
/	**DIV_OP**	DIV
*	**MUL_OP**	MUL
&&	**LOGIC_OP**	AND
||	**LOGIC_OP**	OR
<	**BINARY_OP**	LT
<=	**BINARY_OP**	LE
>	**BINARY_OP**	GT
>=	**BINARY_OP**	GE
==	**BINARY_OP**	EQ
!=	**BINARY_OP**	DIF
=	**ASSIGN_OP**	-
!	**EXCLA_OP**	-
if	**IF_KEY**	IF
else	**ELSE_KEY**	ELS
for	**FOR_KEY**	FOR
return	**RETURN_KEY**	RET
read	**INPUT_KEY**	-
write	**OUTPUT_KEY**	BASE
writeln	**OUTPUTLN_KEY**	LN
«	**LIST_OP**	FILT
»	**LIST_OP**	MAP
?	**LIST_OP**	HEAD
%	**LIST_OP**	TAIL
:	**LIST_OP**	CONS
(	**DELIM_PARENT_L**	LEFT
)	**DELIM_PARENT_R**	RIGHT
[	**DELIM_BRACKET_L**	LEFT
]	**DELIM_BRACKET_R**	RIGHT
{	**DELIM_CUR_BRACKET_L**	LEFT
}	**DELIM_CUR_BRACKET_R**	RIGHT
,	**DELIM_COMMA**	-
;	**DELIM_SEMICOLLON**	-
'	**DELIM_SQUOTE**	-
"	**DELIM_DQUOTE**	-
//texto...	**SINGLE_COMMENT**	-
*/*texto...*/*	**DOUBLE_COMMENT**	-
Espaço em branco	**FORMAT_BLANKSPACE**	-
\n	**FORMAT_NEWLINE**	-
\t	**FORMAT_TAB**	-

17. *logicBinExpression* → *logicBinExpression* **LOGIC_OP** *logicUnExpression* | *logicUnExpression*
18. *logicUnExpression* → **EXCLA_OP** *logicUnExpression* | *binExpression*
19. *binExpression* → *binExpression* **BINARY_OP** *sumExpression* | *sumExpression*
20. *sumExpression* → *sumExpression sumOP mulExpression* | *mulExpression*
21. *mulExpression* → *mulExpression mulOP factor* | *factor*
22. *sumOP* → **PLUS_OP** | **MINUS_OP**
23. *mulOP* → **MUL_OP** | **DIV_OP**
24. *factor* → **ID** | *functionCall* | **DELIM_PARENT_L** *simpleExpression* **DELIM_PARENT_R** | *listExpression* | *constant*
25. *constant* → **INT** | **MINUS_OP INT** | **FLOAT** | **MINUS_OP FLOAT** | **NULL_CONST**
26. *functionCall* → **ID DELIM_PARENT_L** *parametersPass* **DELIM_PARENT_R**
27. *parametersPass* → *parametersPass* **DELIM_COMMA** *simpleExpression* | *simpleExpression* | ϵ
28. *writeOp* → *write* | *writeln*
29. *write* → **OUTPUT_KEY DELIM_PARENT_L STRING DELIM_PARENT_R** | **OUTPUT_KEY DELIM_PARENT_L** *simpleExpression* **DELIM_PARENT_R**
30. *writeln* → **OUTPUTLN_KEY DELIM_PARENT_L STRING DELIM_PARENT_R** | **OUTPUTLN_KEY DELIM_PARENT_L** *simpleExpression* **DELIM_PARENT_R**
31. *readOp* → **INPUT_KEY DELIM_PARENT_L ID DELIM_PARENT_R**
32. *expressionStatement* → *expression* **DELIM_SEMICOLLON**
33. *listStatement* → *listAssign* | *listMap* | *listFilter*
34. *listExpression* → *listHeader* | *listTailDestructor*
35. *listAssign* → $\mathbf{ID_1}$ **ASSIGN_OP** $\mathbf{ID_2}$ **ASSIGN_LISTOP** $\mathbf{ID_1}$
36. *listHeader* → **HEADER_LISTOP ID**
37. *listTailDestructor* → **TAILDES_LISTOP ID**
38. *listMap* → **ID ASSIGN_OP** $\mathbf{ID_1}$ **MAP_LISTOP ID**
39. *listFilter* → **ID ASSIGN_OP** $\mathbf{ID_1}$ **FILTER_LISTOP ID**