北京郵電大學

实验报告：词法分析程序的设计与实现

——手工实现

学院：计算机学院（国家示范性软件学院）

专业：计算机科学与技术

班级：2022211305

学号：2022211683

姓名：张晨阳

2024 年 10 月 9 号

目录

1 实验概述

1.1 实验内容及要求

1. 选定源语言，比如：C、Pascal、Python、Java 等，任何一种语言均可；
2. 可以识别出用源语言编写的源程序中的每个单词符号，并以记号的形式输出每个单词符号。
3. 可以识别并跳过源程序中的注释。
4. 可以统计源程序中的语句行数、各类单词的个数、以及字符总数，并输出统计结果。
5. 检查源程序中存在的词法错误，并报告错误所在的位置。
6. 对源程序中出现的错误进行适当的恢复，使词法分析可以继续进行，对源程序进行一次扫描，即可检查并报告源程序中存在的所有词法错误。

1.2 实验方法要求

采用 C/C++ 作为实现语言，手工编写词法分析程序。

1.3 实验环境说明

- Windows 11
- Visual Studio Code

2 程序设计说明

2.1 程序结构设计概述

根据编写 LEX 版本的词法分析器的理解，我将手工版本（C++）的词法分析器分为了：token 部分（token.h & token.cpp）、error 部分（error.h & error.cpp）、mylex 部分（mylex.h & mylex.cpp）、main 部分（main.cpp）。

各部分功能概述如下：

2.1.1 token.h & token.cpp

token.h 和 token.cpp 主要负责定义和实现与词法单元（token）相关的结构和方法。

token.h：

定义了词法分析过程中使用的 TokenType 枚举类型（如标识符、关键字、整数常量、字符常量等）。此外，定义了 Token 类来表示每个词法单元，包含 token 类型、文本内容、所在行号和列号等信息。

token.cpp：

实现了 Token 类的具体功能，例如构造函数、获取 token 属性的方法，以及用于调试或输出 token 信息的方法。

这部分的功能是将词法分析得到的字符序列标识为具体的 token，并通过 Token 对象传递给分析器的其他部分。

2.1.2 error.h & error.cpp

error.h 和 error.cpp 负责处理词法分析过程中的特殊错误情况。

定义了 ErrorHandler 类，该类提供了报告错误的接口。当遇到不需要返回 token 的错误（如注释错误，因为注释需要跳过，故不需要返回 token）时，调用该接口报告错误。

2.1.3 mylex.h & mylex.cpp

mylex.h 和 mylex.cpp 是词法分析器的核心部分，负责实现词法分析的具体逻辑。

mylex.h：

定义了 Lexer 类及其主要成员函数。Lexer 类包含解析源代码的功能，能够从输入字符串中逐字符分析并生成对应的 Token 对象。同时定义了一些辅助函数，用于处理标识符、数字、字符串、注释等。

mylex.cpp：

实现了 Lexer 类的具体逻辑。包括跳过空白和注释、识别标识符、常量和标点符号，检测非法字符等。每次调用 getNextToken() 函数时，Lexer 会从输入中获取下一个 token，返回给调用方。同时，Lexer 还负责记录每个 token 的数量和处理字符的总数，能够输出详细的统计信息。

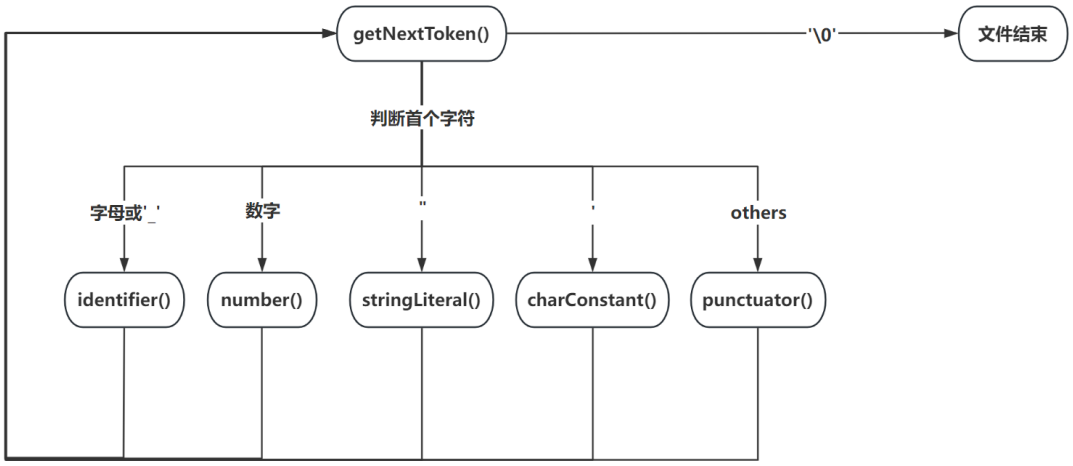
这一部分是词法分析器的主要实现，负责根据源代码生成 token 序列。

2.1.4 main.cpp

main.cpp 是程序的入口，负责将各个模块整合在一起，执行词法分析器的主流程。

2.2 程序具体逻辑说明

mylex.cpp 是词法分析器的核心部分，负责逐字符扫描输入源代码，识别并生成对应的 Token 对象。主要逻辑如下图：



具体代码见源文件。

以下将分模块解释该文件的主要逻辑。

注意：由于实现方法以及 C++语言的特性，有些 token 种类无法画出状态转换图，在这里我只提供了识别标点、运算符的**状态转换图**。

2.2.1 辅助函数

在我实现的词法分析器中，辅助函数 peek() 和 advance() 是分析器执行字符操作的基础。

peek()：

该函数返回当前 position 处的字符，但不移动字符指针 position。通过它可以检查当前字符的值，用于决定接下来的解析逻辑。

advance()：

该函数不仅返回当前 position 处的字符，还会将 position 向前移动，更新当前的行号 line 和列号 column，并更新总字符计数 totalCharacters。通过它，分析器能够逐步前进，读取下一个字符。

2.2.2 注释及空字符

skipWhitespaceAndComments()：该函数的作用是跳过源代码中的空白字符、单行注释和多行注释。

空白字符（如空格、制表符和换行符）通过循环调用 advance() 跳过处理。

单行注释：遇到 // 时，忽略其后直到换行符的所有字符。

多行注释：遇到 /* 时，忽略其后直到找到结束符 */。如果注释未闭合，报错 "Unterminated block comment"。

该函数通过识别和跳过无关字符，确保词法分析器只处理实际代码部分，避免空白字符和注释干扰分析。

2.2.3 标识符和关键字

identifier()：标识符和关键字的识别逻辑在此函数中实现。

当 peek() 返回字母或下划线时，identifier() 函数开始识别标识符，读取所有由字母、数字或下划线组成的字符，形成完整的标识符。

识别完标识符后，函数检查该标识符是否是 C 语言中的关键字。

实现方法为：列出所有的关键字，进行一对一的比对。

如果是，则将其识别为关键字 T_KEYWORD；否则将其识别为普通标识符 T_IDENTIFIER。

例如：int 作为关键字处理，而 variable_name 则作为标识符处理。

该函数帮助词法分析器区分用户定义的标识符和 C 语言内置的关键字。

2.2.4 数字

我实现的词法分析器能够识别整数、八进制数、十六进制数以及浮点数。数字的识别逻辑主要通过以下几个函数实现。

number()：该函数处理十进制数字，首先从当前字符开始，读取所有数字字符。如果遇到小数点或科学计数法标志（e 或 E），则调用 floatNumber() 处理浮点数。

octalNumber()：处理以 0 开头的八进制数字。在识别过程中，若发现非法八进制（例如 09 中的 9 是非法的八进制数字），则报错，并继续解析后续数字。

hexNumber()：识别以 0x 或 0X 开头的十六进制数，允许出现数字 0-9 和字母 a-f 或 A-F。

floatNumber()：该函数处理浮点数，包括小数点和科学计数法表示。如果发现非法的小数或科学计数法表示，返回错误。

2.2.5 字符和字符串

stringLiteral() 和 **charConstant()** 负责处理源代码中的字符串和字符常量。

stringLiteral()：识别由双引号包围的字符串字面量，并处理常见的转义字符（如 \n 表示换行符）。如果字符串缺少关闭的双引号，则报错 "Unterminated string literal"。

charConstant()：处理单引号包围的字符常量，包括转义字符。如果字符常量长度非法（例如 'ab' 或 '\\'），则返回错误。

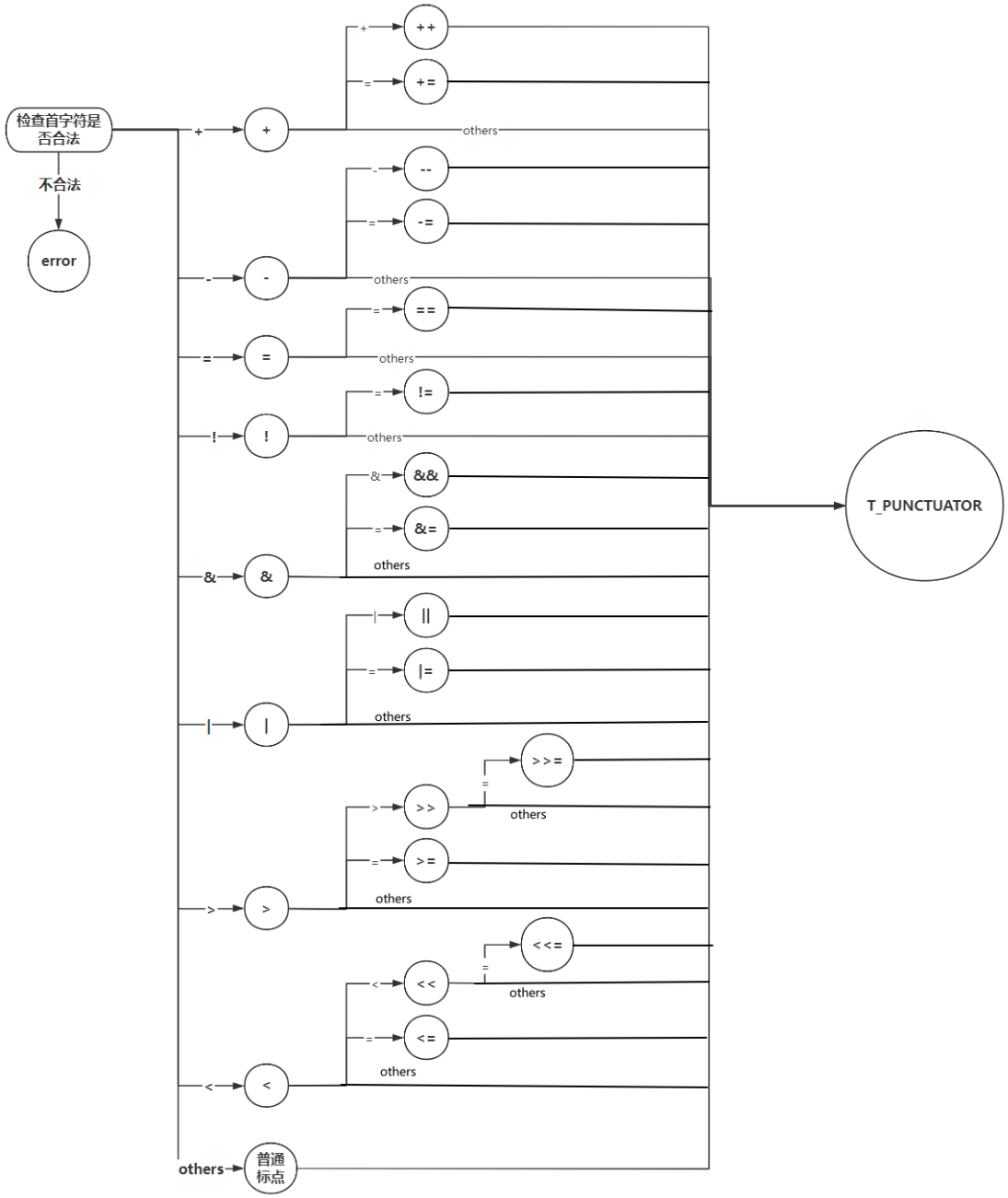
2.2.6 运算符和标点

punctuator()该函数用于处理源代码中的运算符和标点符号。

首先，它检查当前字符是否为合法的 C 语言标点符号。然后处理组合运算符（如 +=，!=，<<= 等），并返回相应的 token。

如果遇到非法的标点符号，函数会返回错误。

具体的状态转换图如下：



2.3 两种版本程序对比

经过三种测试对比，两种版本的词法分析器都有各自的优缺点。

因为在实现的过程中，两种版本我都准备实现同样的功能，所以可以进行横向对比。

具体的测试结果可见两份文档的测试部分。对比结论如下：

1. 错误注释的识别

在 LEX 版本中，由于正则表达式的限制，我假设错误的多行注释一定是两行的注释，其他行数没有进行处理；

而在 C++版本中，对于任意行数的多行注释错误都可以识别。

2. 错误浮点数的识别

在 LEX 版本中，由于正则表达式的不够完善，在识别出错误的浮点数后，会继续错误的将 ；认为是错误的内容，导致少识别一个标点符号；

而在手工版本中不存在这个问题。

3. 科学计数法的识别

LEX 版本无法正确的识别科学计数法格式的浮点数；

C++版本可以。

4. 调试过程

LEX 版本的调试大部分都是优化正则表达式，比较单一，只要正则表达式写的足够完美即可。

而在手工版本中，错误的识别、各种 bug 都可能来自各种问题，需要对自己的代码足够熟悉，一步一步的进行调试修改。

5. 代码逻辑

正则表达式逻辑并不如直接的代码逻辑清晰，导致优化、添加新功能时较为困难；

C++版本逻辑清晰，想要添加新功能只需要添加新的函数、接口即可，更便于后续版本迭代。

3 测试设计与分析

3.1 测试方法

1. 编译可执行文件

在源代码所在路径下输入编译命令：

```
> g++ -o test token.cpp error.cpp mylex.cpp main.cpp
```

生成 test.exe 可执行文件

2. 运行测试用例

在相同路径下输入测试命令：

```
> test test1.c
```

即运行可执行文件，后面接需要进行测试的案例 .c 文件。

3.2 test1.c

test.1 主要用于测试 C 语言的关键字、注释、常见符号等内容，不包含任何词法错误。内容如下：

```c
#include <stdio.h>

// This is a single line comment

/*
 *  This is a multi-line comment
 *  It spans multiple lines
 */

int main() {
    int a = 10;          // This is an integer
    float b = 20.5;      // This is a floating point number
    char c = 'a';        // This is a character
    double d = 30.5e-2;  // This is a double

    if (a > 5) {
        printf("a is greater than 5\n");
    } else {
        printf("a is not greater than 5\n");
    }

    while (a < 20) {
        a++;
    }

    do {
        b -= 1.5;
    } while (b > 0);

    for (int i = 0; i < 10; i++) {
        c = 'A' + i;
    }

    switch (c) {
        case 'A':
            printf("Uppercase A\n");
            break;
        case 'a':
```

```
39.             printf("Lowercase a\n");
40.             break;
41.         default:
42.             printf("Other character\n");
43.     }
44.
45.     return 0;
46. }
```

我们编写的词法分析器对 test1.c 文件的分析结果如下：

```
10:1: <keyword, int>
10:5: <identifier, main>
10:9: <punctuator, (>
10:10: <punctuator, )>
10:12: <punctuator, {>
11:5: <keyword, int>
11:9: <identifier, a>
11:11: <punctuator, =>
11:13: <integer constant, 10>
11:15: <punctuator, ;>
12:5: <keyword, float>
12:11: <identifier, b>
12:13: <punctuator, =>
12:15: <floating constant, 20.5>
12:19: <punctuator, ;>
13:5: <keyword, char>
13:10: <identifier, c>
13:12: <punctuator, =>
13:14: <char constant, 'a'>
13:17: <punctuator, ;>
14:5: <keyword, double>
14:12: <identifier, d>
14:14: <punctuator, =>
14:16: <floating constant, 30.5e-2>
14:23: <punctuator, ;>
16:5: <keyword, if>
16:8: <punctuator, (>
16:9: <identifier, a>
16:11: <punctuator, >>
16:13: <integer constant, 5>
16:14: <punctuator, )>
16:16: <punctuator, {>
17:9: <identifier, printf>
17:15: <punctuator, (>
```

```
17:16: <string literal, "a is greater than 5\n">
17:39: <punctuator, )>
17:40: <punctuator, ;>
18:5: <punctuator, }>
18:7: <keyword, else>
18:12: <punctuator, {>
19:9: <identifier, printf>
19:15: <punctuator, (>
19:16: <string literal, "a is not greater than 5\n">
19:43: <punctuator, )>
19:44: <punctuator, ;>
20:5: <punctuator, }>
22:5: <keyword, while>
22:11: <punctuator, (>
22:12: <identifier, a>
22:14: <punctuator, <>
22:16: <integer constant, 20>
22:18: <punctuator, )>
22:20: <punctuator, {>
23:9: <identifier, a>
23:10: <punctuator, ++>
23:12: <punctuator, ;>
24:5: <punctuator, }>
26:5: <keyword, do>
26:8: <punctuator, {>
27:9: <identifier, b>
27:11: <punctuator, -=>
27:14: <floating constant, 1.5>
27:17: <punctuator, ;>
28:5: <punctuator, }>
28:7: <keyword, while>
28:13: <punctuator, (>
28:14: <identifier, b>
28:16: <punctuator, >>
28:18: <integer constant, 0>
28:19: <punctuator, )>
28:20: <punctuator, ;>
30:5: <keyword, for>
30:9: <punctuator, (>
30:10: <keyword, int>
30:14: <identifier, i>
30:16: <punctuator, =>
30:18: <integer constant, 0>
30:19: <punctuator, ;>
```

```
30:21: <identifier, i>
30:23: <punctuator, <>
30:25: <integer constant, 10>
30:27: <punctuator, ;>
30:29: <identifier, i>
30:30: <punctuator, ++>
30:32: <punctuator, )>
30:34: <punctuator, {>
31:9: <identifier, c>
31:11: <punctuator, =>
31:13: <char constant, 'A'>
31:17: <punctuator, +>
31:19: <identifier, i>
31:20: <punctuator, ;>
32:5: <punctuator, }>
34:5: <keyword, switch>
34:12: <punctuator, (>
34:13: <identifier, c>
34:14: <punctuator, )>
34:16: <punctuator, {>
35:9: <keyword, case>
35:14: <char constant, 'A'>
35:17: <punctuator, :>
36:13: <identifier, printf>
36:19: <punctuator, (>
36:20: <string literal, "Uppercase A\n">
36:35: <punctuator, )>
36:36: <punctuator, ;>
37:13: <keyword, break>
37:18: <punctuator, ;>
38:9: <keyword, case>
38:14: <char constant, 'a'>
38:17: <punctuator, :>
39:13: <identifier, printf>
39:19: <punctuator, (>
39:20: <string literal, "Lowercase a\n">
39:35: <punctuator, )>
39:36: <punctuator, ;>
40:13: <keyword, break>
40:18: <punctuator, ;>
41:9: <keyword, default>
41:16: <punctuator, :>
42:13: <identifier, printf>
42:19: <punctuator, (>
```

```
42:20: <string literal, "Other character\n">
42:39: <punctuator, )>
42:40: <punctuator, ;>
43:5: <punctuator, }>
45:5: <keyword, return>
45:12: <integer constant, 0>
45:13: <punctuator, ;>
46:1: <punctuator, }>

19        keyword
21        identifier
71        punctuator
7        integer constant
3        floating constant
4        char constant
5        string literal
0        error
total: 130 tokens, 858 characters, 46 lines
```

从输出结果中我们可以发现，test1.c 文件含有 130 个词，858 个字符，46 行。其中，含有 19 个关键词，21 个标识符，71 个标点，7 个整数常量，3 个浮点数常量，4 个字符常量，5 个字符串。

经过比对，该测试完全通过。

3.3 test2.c

test.2 主要用于测试 C 语言的十进制、八进制、十六进制的数字等内容，不包含任何词法错误。内容如下：

```c
#include <stdio.h>

int main() {
    // Decimal numbers
    int decimal = 100;  // Decimal number

    // Octal numbers
    int octal = 0144;  // Octal number

    // Hexadecimal numbers
    int hex = 0x64;  // Hexadecimal number

    // Float numbers with different bases
    float pi = 3.14159;         // Decimal float
    float e = 2.71828;          // Decimal float
    float hexFloat = 0x1.2p10;  // Hexadecimal float

    // Exponential notation
    double exp = 1e10;  // Exponential notation

    printf("Decimal: %d\n", decimal);
    printf("Octal: %o\n", octal);
    printf("Hex: %x\n", hex);
    printf("Float in hex: %a\n", hexFloat);
    printf("Exponential: %e\n", exp);

    // Array with different bases
    int bases[] = {10, 07, 0x1A};

    // Loop to print array elements
    for (int i = 0; i < sizeof(bases) / sizeof(bases[0]); i++) {
        printf("Array element in base 10: %d\n", bases[i]);
    }

    return 0;
}
```

我们编写的词法分析器对 test2.c 文件的分析结果如下：

```
3:1: <keyword, int>
3:5: <identifier, main>
3:9: <punctuator, (>
3:10: <punctuator, )>
3:12: <punctuator, {>
5:5: <keyword, int>
5:9: <identifier, decimal>
5:17: <punctuator, =>
5:19: <integer constant, 100>
5:22: <punctuator, ;>
8:5: <keyword, int>
8:9: <identifier, octal>
8:15: <punctuator, =>
8:17: <integer constant, 0144>
8:21: <punctuator, ;>
11:5: <keyword, int>
11:9: <identifier, hex>
11:13: <punctuator, =>
11:15: <integer constant, 0x64>
11:19: <punctuator, ;>
14:5: <keyword, float>
14:11: <identifier, pi>
14:14: <punctuator, =>
14:16: <floating constant, 3.14159>
14:23: <punctuator, ;>
15:5: <keyword, float>
15:11: <identifier, e>
15:13: <punctuator, =>
15:15: <floating constant, 2.71828>
15:22: <punctuator, ;>
16:5: <keyword, float>
16:11: <identifier, hexFloat>
16:20: <punctuator, =>
16:22: <floating constant, 0x1.2p10>
16:30: <punctuator, ;>
19:5: <keyword, double>
19:12: <identifier, exp>
19:16: <punctuator, =>
19:18: <floating constant, 1e10>
19:22: <punctuator, ;>
21:5: <identifier, printf>
21:11: <punctuator, (>
21:12: <string literal, "Decimal: %d\n">
21:27: <punctuator, ,>
```

```
21:29: <identifier, decimal>
21:36: <punctuator, )>
21:37: <punctuator, ;>
22:5: <identifier, printf>
22:11: <punctuator, (>
22:12: <string literal, "Octal: %o\n">
22:25: <punctuator, ,>
22:27: <identifier, octal>
22:32: <punctuator, )>
22:33: <punctuator, ;>
23:5: <identifier, printf>
23:11: <punctuator, (>
23:12: <string literal, "Hex: %x\n">
23:23: <punctuator, ,>
23:25: <identifier, hex>
23:28: <punctuator, )>
23:29: <punctuator, ;>
24:5: <identifier, printf>
24:11: <punctuator, (>
24:12: <string literal, "Float in hex: %a\n">
24:32: <punctuator, ,>
24:34: <identifier, hexFloat>
24:42: <punctuator, )>
24:43: <punctuator, ;>
25:5: <identifier, printf>
25:11: <punctuator, (>
25:12: <string literal, "Exponential: %e\n">
25:31: <punctuator, ,>
25:33: <identifier, exp>
25:36: <punctuator, )>
25:37: <punctuator, ;>
28:5: <keyword, int>
28:9: <identifier, bases>
28:14: <punctuator, [>
28:15: <punctuator, ]>
28:17: <punctuator, =>
28:19: <punctuator, {>
28:20: <integer constant, 10>
28:22: <punctuator, ,>
28:24: <integer constant, 07>
28:26: <punctuator, ,>
28:28: <integer constant, 0x1A>
28:32: <punctuator, }>
28:33: <punctuator, ;>
```

```
31:5: <keyword, for>
31:9: <punctuator, (>
31:10: <keyword, int>
31:14: <identifier, i>
31:16: <punctuator, =>
31:18: <integer constant, 0>
31:19: <punctuator, ;>
31:21: <identifier, i>
31:23: <punctuator, <>
31:25: <keyword, sizeof>
31:31: <punctuator, (>
31:32: <identifier, bases>
31:37: <punctuator, )>
31:39: <punctuator, />
31:41: <keyword, sizeof>
31:47: <punctuator, (>
31:48: <identifier, bases>
31:53: <punctuator, [>
31:54: <integer constant, 0>
31:55: <punctuator, ]>
31:56: <punctuator, )>
31:57: <punctuator, ;>
31:59: <identifier, i>
31:60: <punctuator, ++>
31:62: <punctuator, )>
31:64: <punctuator, {>
32:9: <identifier, printf>
32:15: <punctuator, (>
32:16: <string literal, "Array element in base 10: %d\n">
32:48: <punctuator, ,>
32:50: <identifier, bases>
32:55: <punctuator, [>
32:56: <identifier, i>
32:57: <punctuator, ]>
32:58: <punctuator, )>
32:59: <punctuator, ;>
33:5: <punctuator, }>
35:5: <keyword, return>
35:12: <integer constant, 0>
35:13: <punctuator, ;>
36:1: <punctuator, }>

14        keyword
27        identifier
```

```
69         punctuator
9         integer constant
4         floating constant
0         char constant
6         string literal
0         error
total: 129 tokens, 939 characters, 36 lines
```

从输出结果中我们可以发现，test2.c 文件含有 129 个词，939 个字符，36 行。其中，含有 14 个关键词，27 个标识符，69 个标点，9 个整数常量，4 个浮点数常量，6 个字符串。

经过比对，该测试完全通过。

3.4 test3.c

test3.c 主要用于测试 C 语言的几种词法错误，包括注释未结束、非法的八进制数、非法的字符常量、非法的浮点数常量、非法标识符等。内容如下：

```
/*
 * test3.c- This program contains several intentional lexical errors
 *          to test the error detection and recovery capabilities
 *          of the lexical analyzer.
 */

int main() {
    int number = 123;     // valid integer
    float pi = 3.14;      // valid float
    char ch = 'a';        // valid character constant
    char* str = "Hello";  // valid string literal

    /* Missing closing comment delimiter */
    int x = 10;
    /* This is a valid comment but it's incomplete
    *

    int y = 020; // valid
    char *z = "abcd";

    // Below are some lexical errors

    // Invalid: '09' is not a valid octal number
    int invalid_number = 09;

    // Invalid: too many characters in character constant
    char invalid_char = 'ab';

    // Invalid: incomplete exponent part
    float invalid_float = 1.2e+;

    // Invalid: '@' is not allowed in an identifier
    int incomplete_identifier = @var;

    return 0;
}
```

我们编写的词法分析器对 test3.c 文件的分析结果如下：

```
7:1: <keyword, int>
7:5: <identifier, main>
7:9: <punctuator, (>
7:10: <punctuator, )>
7:12: <punctuator, {>
8:5: <keyword, int>
8:9: <identifier, number>
8:16: <punctuator, =>
8:18: <integer constant, 123>
8:21: <punctuator, ;>
9:5: <keyword, float>
9:11: <identifier, pi>
9:14: <punctuator, =>
9:16: <floating constant, 3.14>
9:20: <punctuator, ;>
10:5: <keyword, char>
10:10: <identifier, ch>
10:13: <punctuator, =>
10:15: <char constant, 'a'>
10:18: <punctuator, ;>
11:5: <keyword, char>
11:9: <punctuator, *>
11:11: <identifier, str>
11:15: <punctuator, =>
11:17: <string literal, "Hello">
11:24: <punctuator, ;>
14:5: <keyword, int>
14:9: <identifier, x>
14:11: <punctuator, =>
14:13: <integer constant, 10>
14:15: <punctuator, ;>
15:5: <error, Unterminated block comment>
18:5: <keyword, int>
18:9: <identifier, y>
18:11: <punctuator, =>
18:13: <integer constant, 020>
18:16: <punctuator, ;>
19:5: <keyword, char>
19:10: <punctuator, *>
19:11: <identifier, z>
19:13: <punctuator, =>
19:15: <string literal, "abcd">
19:21: <punctuator, ;>
24:5: <keyword, int>
```

```
24:9: <identifier, invalid_number>
24:24: <punctuator, =>
24:26: <error, Invalid octal number>
24:28: <punctuator, ;>
27:5: <keyword, char>
27:10: <identifier, invalid_char>
27:23: <punctuator, =>
27:25: <error, Invalid character constant>
27:29: <punctuator, ;>
30:5: <keyword, float>
30:11: <identifier, invalid_float>
30:25: <punctuator, =>
30:27: <error, Invalid exponent in floating point number>
30:32: <punctuator, ;>
33:5: <keyword, int>
33:9: <identifier, incomplete_identifier>
33:31: <punctuator, =>
33:33: <error, @>
33:34: <identifier, var>
33:37: <punctuator, ;>
35:5: <keyword, return>
35:12: <integer constant, 0>
35:13: <punctuator, ;>
36:1: <punctuator, }>

13          keyword
13          identifier
29          punctuator
4          integer constant
1          floating constant
1          char constant
2          string literal
5          error
total: 68 tokens, 958 characters, 37 lines
```

从输出结果中我们可以发现，test3.c 文件含有 68 个词，958 个字符，37 行。其中，含有 13 个关键词，13 个标识符，29 个标点，4 个整数常量，1 个浮点数常量，1 个字符常量，2 个字符串，5 个错误。

5 个错误分别为：

注释缺少结束标志：

```
15:5: <error, Unterminated block comment>
```

非法的八进制数字：

```
24:26: <error, invalid octal number>
```

非法的 char 字符常量：

```
27:25: <error, Invalid character constant>
```

不完整的浮点数：

```
30:27: <error, Invalid exponent in floating point number >
```

非法标识符：

```
33:33: <error, @>
```

经过比对，该测试完全通过。

4 总结

本次实验加深了我对词法分析过程的理解，也让我对 C++的相关 stl 库更熟悉。

我构建了一个功能较全面的 C 语言词法分析器，该分析器可以识别 C 语言的基本词法元素，包括关键字、标识符、常量、字符和字符串字面量等。此外，它还具备一定的错误处理能力，能够检测诸如不完整的注释、不完整的字符串、不合法的八进制数等错误，并且在识别到错误时可以恢复继续处理。

除此之外，在调试 C++版本，即手工版本的词法分析器的时候，我也发现了 LEX 版本的不足，二者相互参考优化，使我的代码逻辑、能力更清晰了。

在进行各种 token 的识别过程的代码编写的过程中，我也对 C 语言的各种特性、语法格式有了更深的印象，让我知道以前的学习还不够深入，之后仍要多加注意细节。

总之，这次实验加深了我对 C 语言的认识和理解，也让我对编译原理中的词法分析过程有了新的理解和认识。