编译原理课程项目 3

计算机学院 王欣明

2018 春季学期

本实验基于当前主流的面向对象开发平台，编码风格遵循主流的参考规范。

1. 编程语言

Java 语言，JDK 1.5 以上 版本。

2. 开发工具

学生可自由选择 Eclipse、JBuilder 等 IDE 环境，也可直接采用 UltraEdit、EditPlus 等编辑器在命令行工作。但提交的实验结果必须独立于特定的 IDE，可直接运行在 JDK 上，提交可执行的批处理文件。

3. 编码规范

学生在实验过程中应注意培养规范的编码风格。本实验要求所有源代码严格遵循 Java 程序设计语言的编码规范，参见： http://www.oracle.com/technetwork/java/codeconvtoc-136057.html。 完成后的代码应使用 JDK 附带的文档工具 javadoc 根据源程序中的文档化注释生成相应的文档。

4. 实验内容：Oberon-0 程序流程图生成器

本实验是编译原理实验环节的一个综合型、应用型实验。本实验处理的程序设计语言是 Oberon-0，它是著名的 Pascal 和 Modula-2 语言的后继者 Oberon 语言的一个精简子集。学生在本实验中需开发一个面向 Oberon-0 的逆向工程工具，根据一个输入的Oberon-0 源程序自动绘制每个过程的程序流程图。

本实验借助于工具的设计与实现,帮助学生通过实践深入理解和牢固掌握编译技术中的词法分析、语法分析、语法制导翻译、自动生成工具等重要环节。

本实验分解为3 个子实验项目，每一子实验项目都规定了明确的实验步骤、实验要求以及需要提交的实验结果。

4.1. 子实验一：熟悉Oberon-0 语言定义

附录部分给出了 Oberon-0 语言的完整 BNF 定义，即 Oberon-0 语言在语法方面的形式化规格说明（Specification）；此外，还以自然语言的方式提供了Oberon-0 语言的语义描述。请仔细阅读 Oberon-0 语言的定义，并完成以下实验内容。

编写一个正确的Oberon-0 源程序

遵循Oberon-0 语言的BNF 定义编写一个正确的Oberon-0 源程序。要求在这个源程序中用到 Oberon-0 语言的所有语法构造，即你编写的源程序覆盖了 Oberon-0 语言提供的模块、声明（类型、常量、变量等）过程声明与调用、语句、表达式等各种构造。

如果有可能，你编写的 Oberon-0 源程序最好是有其实际意义的，譬如一个求阶乘的程序、一个求最大公因子的程序、一个用加法实现乘法的程序等等，但这只是一个任选的要求。

注意，这里仅要求你编写一个词法、语法和语义符合 Oberon-0 语言定义的源程序，并未强制要求该源程序在逻辑上是正确的。

步骤 1.1 讨论Oberon-0 语言的特点

根据Oberon-0 语言的BNF 定义，Oberon-0 程序中的表达式语法规则与Java、C/C++等常见语言的表达式有何不同之处？试简要写出它们的差别。

步骤 1.2 讨论Oberon-0 文法定义的二义性

根据Oberon-0 语言的BNF 定义，讨论Oberon-0 程序的二义性问题，即讨论根据上述BNF 定义的上下文无关文法是否存在二义性。

如果你认为该文法存在二义性，则举例说明在什么地方会出现二义性，并探讨如何改造文法以消除二义性。如果你认为该文法没有二义性，则请解释：为何在其他高级程序设计语言中常见的那些二义性问题在 Oberon-0 语言中并未出现？

提交结果

将子实验一的所有结果存放在子目录**xxxxxxxxNNN\ex1** 中，其中**xxxxxxxx** 是你的学号，**NNN**是你的中文姓名。例如，学号为“05372001”姓名为“马婷”的同学，应将其完成的实验一全部结果存放在“**05372001马婷\ex1**”子目录中；注意学号与姓名之间不要加空格、姓与名之间亦不要加空格。

步骤一最终提交的实验结果应包括：

- 在**ex1**子目录中存放自述文件**readme.txt**，其中给出你的姓名、学号、电子邮件、完成

日期、以及其他补充说明。

- 在 **ex1** 子目录中存放你的实验报告 **Oberon-0.pdf**，其中包括Oberon-0 语言特点介绍、文法二义性讨论、实验心得体会等内容。
- 在**ex1\testcases**子目录中存放一个词法、语法、语义均正确的Oberon-0 程序源代码，该 文本文件的文件名由你自己根据程序的功能自由命名，但必须以**.obr**为文件扩展名。

评价标准

项　　目	权重（%）
1、一个正确的Oberon-0 源程序	**30**
2、Oberon-0 语言特点的讨论	**30**
3、Oberon-0文法二义性的讨论	**30**
4、文档组织及readme 文件等	**10**

4.2. 子实验二：生成词法分析程序（JFlex）

子实验二要求你下载一个词法分析程序自动生成工具JFlex，并利用该工具自动产生Oberon-0 语言的词法分析程序。

步骤 2.1 总结Oberon-0 语言的词汇表

根据 Oberon-0 语言的 BNF 定义和语言描述，抽取 Oberon-0 语言的词汇表以供词法分析程序设计与实 现之用。你需要将 Oberon-0 的所有单词分类，并以表格形式列出各类词汇的预定义单词；譬如在保留字表中列出所有的保留字，在运算符表中列出所有的运算符等等。请在实验报告中说明你的单词分类的理由。

步骤 2.2 抽取Oberon-0 语言的词法规则

在Oberon-0 语言的BNF 定义中，既包括Oberon-0 语言的语法定义部分，也包括Oberon-0 语言的词法定义部分。请将词法定义从Oberon-0 语言的BNF 中分离出来，并写成正则定义式的形式。

步骤 2.3 下载词法分析程序自动生成工具JFlex

实验二指定的词法分析程序自动生成工具选用由Gerwin Klein 开发的JFlex。这是一个类似 Unix 平台上 lex 程序的开源（Open Source）软件工具，遵循GNU General Public License（GPL）。JFlex 本身采用Java 语言编写，并且生成 Java 语言的词法分析程序源代码。该软件工具的前身是由美国普林斯顿大学计算 机科学系Elliot Berk 开发、C. Scott Ananian 负责维护的JLex。

从 http://www.jflex.de/jflex-1.4.1.zip 可下载该工具的最新稳定版本1.4.1;如果你因网络原因无

法访问该网 站，可转向 http://sourceforge.net/projects/jflex/下载相应版本 JFlex，或直接从本课程教学网站下载该版本 JFlex。这一压缩文件中已包含了你在本实验中所需的各类资源，包括该工具的 Java 源代码、支持运行的 库文件与脚本文件、用户文档、输入源文件例子等。

根据你自己的安装配置，修改 JFlex 安装目录下脚本文件 **bin\jflex.bat** 中的两个环境变量 **JFLEX_HOME** 和 **JAVA_HOME** 的设置。然后运行JFlex 附带的输入源文件例子，以验证你是否正确安装 并配置了JFlex。

如果你觉得 JFlex 附带的用户手册仍不足以帮助你掌握 JFlex 的原理或用法，自己动手在网上查找其他 关于JLex、GNU Flex、lex 等类似工具的大量电子资源。

步骤 2.4 生成Oberon-0 语言的词法分析程序

仔细阅读JFlex 的使用手册，根据你在实验步骤2.1 给出的Oberon-0 语言词法规则的正则定义式，编写一个JFlex 输入源文件。

以你编写的源文件作为输入运行JFlex，得到一个Oberon-0 语言词法分析程序的Java 源代码，编译该源程序生成 Java 程序，利用你在实验一编写的所有 Oberon-0 源程序测试你的词法分析程序。

提交结果

将步骤二的所有结果存放在子目录 **xxxxxxxxNNN\ex2** 中，其中 **xxxxxxxx** 是你的学号，**NNN** 是你的 中文姓名，命名规则同步骤一。

步骤二最终提交的实验结果应包括：

- 在 **ex2** 子目录中存放自述文件 **readme.txt**，其中给出你的姓名、学号、电子邮件、联系电 话、完成日期、以及其他补充说明。
- 在 **ex2** 子目录中存放你在实验二撰写的实验报告 **lexgen.pdf**，其中的内容包括：
  - 以表格形式列出Oberon-0 语言的词汇表。
  - 用正则定义式描述 Oberon-0 语言词法规则；若你使用纯文本书写正则定义式，其中的元 符号“定义为”使用“->”表示，空串使用“epsilon”表示。
  - 紧随Oberon-0 语言词法规则之后，给出一段关于Oberon-0 语言与其他高级语言的词法规 则之异同比较。

自动生成的Oberon-0 语言词法分析程序，包括：

- 在 **ex2** 子目录中存放各种脚本文件，包括：
  - 运行JFlex 根据输入文件生成词法分析程序的 脚本 **gen.bat**；
  - 编译词法分析程序的脚本 **build.bat**；

- 运行词法分析程序扫描你编写的正确Oberon-0 例子程序的脚本**run.bat**。

- 在**ex2\src** 子目录中存放面向Oberon-0 语言的JFlex 输入源文件**oberon.flex** 以及你所需的其他相应文件。
- 在 **ex2\src** 子目录中存放由 JFlex 生成的 Oberon-0 语言词法分析程序的 Java 源程序。

评价标准

项　　目	权重（%）
1、Oberon-0 语言词法规则的正则定义式	**30**
2、JFlex 输入源文件的正确性	**40**
3、生成的词法分析程序的运行与测试	**20**
4、文档组织及readme文件等	**10**

4.3. 子实验三：生成语法分析程序（JavaCUP）

子实验三要求你下载一个语法分析程序自动生成工具 JavaCUP，利用该工具自动产生一个Oberon-0 语言的语法分析和语法制导翻译程序。

步骤3.1、下载自动生成工具JavaCUP

实验三选用由美国卡内基·梅隆大学的 Scott E. Hudson 开发的一个语法分析程序自动生成工具 JavaCUP，它是一个LALR Parser Generator。JavaCUP 是一个类似Unix 平台上yacc 程序的开源（Open Source）软件工具，遵循GNU General Public License（GPL）。JavaCUP 本身采用Java 编写，并且生成 Java 语言的分析程序源代码。该软件工具经由美国普林斯顿大学计算机科学系Andrew W. Appel 教授指导 Frank Flannery 等人改进，目前由C. Scott Ananian 负责维护。

从 http://www2.cs.tum.edu/projects/cup/可下载该软件工具的最新版本。该网站已包含了你在实验中所需的各类资源，包括该工具的 Java 源代码、已编译生成的字节码、简明的用户手册、以及一个简单的命令行计算器例子等。

步骤3.2、配置和试用JavaCUP

成功下载并配置后，试运行JavaCUP 附带的输入源文件例子（一个基于命令行的简单计算器应用），以保证你正确安装并配置了JavaCUP。

步骤3.3、生成Oberon-0 语法分析和语法制导翻译程序

仔细阅读JavaCUP 使用手册，根据Oberon-0 语言的BNF 定义编写一个JavaCUP 输入源文件。

根据你的JavaCUP 输入源文件生成的语法分析程序须完成以下功能：

1、对于一个存在词法、语法或语义错误的Oberon-0 源程序，必须至少指出一处错误，并判断错误的类 别及产生错误的位置（错误产生的位置定位允许有偏差），并以相应的异常对象向客户程序报告找出的 错误的类别。是否支持其他功能取决于你的时间、精力与能力，譬如你可尝试从错误中恢复并继续执行语法分析，也可生成设计图时立即中止程序的执行。在错误检查与错误恢复 指找到错误后继续执行分 析过程的能力）方面做得优秀的实验可获得更高的评分。

2、对于一个词法、语法和语义完全正确的Oberon-0 源程序，自动绘制出不同模块中每个函数（也叫过程）的流程图。本文档第 6 节部分详细介绍了流程图的定义和画图的 API。

你在生成Oberon-0 语言的语法分析程序时，可以直接使用子实验二由JFlex 生成的Oberon-0 语言的词法分析程序。

提交结果

将子实验三的所有结果存放在子目录**xxxxxxxxNNN\ex3** 中，其中**xxxxxxxx** 是你的学号，**NNN**是你的中文姓名，命名规则同子实验一。

子实验三最终提交的实验结果应包括：

- 在**ex3**子目录中存放自述文件**readme.txt**，其中给出你的姓名、学号、电子邮件、完成日期、以及其他补充说明。
- 自动生成的Oberon-0 语言语法分析程序及其测试用例，包括：
  - 在**ex3**子目录中存放各种脚本文件，包括：运行JavaCUP 根据输入文件生成语法分析程序的脚本 **gen.bat**；编译语法分析程序的脚本 **build.bat**；运行语法分析程序处理你编写的正确Oberon-0 例子程序的脚本**run.bat**。
  - 在**ex3\src**子目录中存放面向Oberon-0 语言的JavaCUP 输入文件**oberon.cup**以及你所需的其他相应文件。
  - 在 **ex3\src** 子目录中存放由 JavaCUP 生成的 Oberon-0 语法分析程序源代码 **Parser.java**、**Symbol.java**和其他相应的Java 源代码（注意我们不使用默认的生成名字**parser**和**sym**等）。
  - 在 **ex3\bin** 子目录中存放根据 Oberon-0 语法分析程序源代码编译得到的字节码文件 **Parser.class**以及其他相关的字节码文件。
  - 在**ex3\javacup**子目录中存放你所使用的JavaCUP 工具。

评价标准

项　　目	权重（%）

1、JavaCUP 输入源文件的正确性	**50**
2、生成的语法分析程序的运行与测试	**40**
3、文档组织及readme 文件等	**10**

5. Oberon-0 语言

本实验的处理对象是 Oberon-0 语言，该语言中包含了高级程序设计语言的表达式，以及结构化程序设计中的结构化控制结构、子程序、参数传递等机制的抽象。

5.1. 简介

用于编译原理实验的计算机语言应足够简单，但又不失其代表性。据此，本实验项目选择了 Oberon-0 语言为处理对象。

Oberon-0 的来历可追溯到近50 年前，在此期间的程序设计语言发展约每10 年就有一标志性成果。1960 年，P. Naur 等人设计了Algol 60 语言；约10 年后，随着结构化程序设计思想的成熟，N. Wirth 设计出 远比Algol 68 语言成功（特别是在教育界）的Pascal 语言；又一个10 年过去，N. Wirth 根据程序设计 和软件工程技术的最新进展，在 Pascal 基础上设计了 Modula-2 语言；又过了约10 年后，M. Reiser 与 N. Wirth 一起，将Pascal 语言和Modula-2 语言的程序设计本质精华浓缩为Oberon 语言。

Oberon-0 语言是Oberon 语言的一个子集，为程序员提供了良好的程序结构。在Oberon-0 程序中，最基 本的语句是赋值语句；复合语句支持顺序、条件（**if**语句）和迭代（**while**语句）执行。Oberon-0 中 还支持子程序这一重要概念,包括过程声明和过程调用两个范畴,并且提供了两种不同的参数传递方式： 按值调用（值参数）和按引用调用（可变参数）。

然而 Oberon-0 的类型系统却十分简洁，仅有的基本数据类型是整数类型（**INTEGER**）和布尔类型（**BOOLEAN**），因而可声明整数类型的常量和变量，也允许用算术运算符构造表达式；而表达式的比较 运算则产生**BOOLEAN**类型的值，并可用于逻辑运算。Oberon-0 的复合数据类型包括数组和记录，且允 许任意嵌套；但最基本的指针类型或引用类型就被省略了。

一个过程代表了由语句组成的功能单元，因而在一个过程的写法中自然会关系到名字的局部性（Locality）问题。Oberon-0 语言支持将标识符声明为局部于某一过程，即仅在该过程本身范围内标识符才是可见的或合法的。

由N. Wirth 本人编著的*Theory and Techniques of Compiler Construction: An Introduction*（Addison-Wesley, 1996, ISBN 0-201-40353-6，本课程教学网站提供了该教材的电子版）中，第6 章描述了 Oberon-0 程序设计语言的语法并给出一个样板程序。本文档的语法定义和例子程序即源于该教材，但作了少数改动，因而本实验处理的Oberon-0 语言应以本文档的定义为准。

5.2. 词法定义

Oberon-0 语言定义了非常简单的语法规则。

单词

与我们熟悉的C、C++、Java 等语言不同，Oberon-0 语言是大小写无关的。譬如，保留字**WHILE**、**While** 和**while**三种写法是等价的；而标识符**BALANCE**、**Balance**和**balance**是相同的标识符。

Oberon-0 的标识符长度不允许超过24 个字符（允许24 个字符）。在 Oberon-0 中还支持括号风格的注释，在“(*”和“*)”之间的内容全部为注释；注意，Oberon-0 注释不允许嵌套。

基本数据类型

在Oberon-0 程序中仅支持**INTEGER**和**BOOLEAN**两种基本数据类型，可以利用**VAR**声明这两种类型的 变量。

INTEGER类型的常量书写形式只允许Pascal 语言的无符号整数；这些常量可以由0 开头，但解释为八 进制常量（此时常量中不允许出现8 和9 两个数字），非0 开头则解释为十进制常量。无论十进制还是 八进制整数常量，每一常量中包含数字（包括 0）的个数不可超过 12 个（从而限制了整数常量允许表达范围的最大值）。

INTEGER 类型常量与标识符之前必须以空白符号分隔；例如，扫描 **25id** 时应作为一个非法整数常量 处理，而不是理解为常量 **25** 和标识符 **id**两个单词。注意，不支持书写 **BOOLEAN** 类型的常量 **TRUE** 和**FALSE**。

5.3. 语法定义

本小节以EBNF 定义了Oberon-0 语言的形式语法。

扩展BNF（EBNF）

EBNF 意即扩展的BNF（Extended BNF），是我们在实际应用中定义一门计算机语言的形式语法的国际 标准，参见ISO/IEC 14977: 1996(E). *The Standard Metalanguage Extended BNF*（本课程教学网站提供了 该标准的电子版文档）。

Oberon-0 语言的EBNF 定义：

```
module                  =   "MODULE" identifier ";"
                              declarations
                            ["BEGIN"
                              statement_sequence]
                            "END" identifier "." ;

declarations            =   ["CONST" {identifier "=" expression ";"}]
                            ["TYPE" {identifier "=" type ";"}]
                            ["VAR" {identifier_list ":" type ";"}]
                            {procedure_declaration ";"} ;

procedure_declaration   =   procedure_heading ";"
                            procedure body ;

procedure_body          =   declarations
                            ["BEGIN"
                              statement_sequence]
                            "END" identifier ;

procedure_heading       =   "PROCEDURE" identifier [formal_parameters] ;

formal_parameters       =   "(" [fp_section {";" fp_section}] ")" ;

fp_section              =   ["VAR"] identifier_list ":" type ;

type                    =   identifier | array_type | record_type ;

record_type             =   "RECORD"
                              field_list
                              {";" field_list}
                            "END" ;

field_list              =   [identifier_list ":" type] ;

array_type              =   "ARRAY" expression "OF" type ;

identifier_list         =   identifier {"," identifier} ;

statement_sequence      =   statement {";" statement} ;

statement               =   [assignment |
                            procedure_call |
                            if_statement |
                            while_statement] ;

while_statement         =   "WHILE" expression "DO"
                              statement_sequence
                            "END" ;
```

```
if_statement          =  "IF" expression "THEN"
                            statement_sequence
                         {"ELSIF" expression "THEN"
                            statement_sequence}
                         ["ELSE"
                            statement_sequence]
                         "END" ;

procedure_call        =  identifier [actual_parameters] ;

actual_parameters     =  "(" [expression {"," expression}] ")" ;

assignment            =  identifier selector ":=" expression ;

expression            =  simple_expression
                         [("=" | "#" | "<" | "<=" | ">" | ">=")
                         simple_expression] ;

simple_expression     =  ["+" | "-"] term {("+" | "-" | "OR") term} ;

term                  =  factor {("*" | "DIV" | "MOD" | "&") factor} ;

factor                =  identifier selector |
                         number |
                         "(" expression ")" |
                         "~" factor ;

number                =  integer ;

selector              =  {"." identifier | "[" expression "]"} ;

integer               =  digit {digit} ;

identifier            =  letter {letter | digit} ;
```

5.4. 语言描述

在*Theory and Techniques of Compiler Construction: An Introduction* 中并未详细描述Oberon-0 语言的语义特性，因为该语言的语义可以按直观的方式参照其他程序设计语言（特别是沿Algol 60、Pascal、Modula-2、Oberon 这一家族的语言）来理解。

本小节特别强调了 Oberon-0 可能引起理解上二义性的几个方面，使得在本实验项目中老师和所有学生对该语言的理解是无二义的。

模块声明

一个模块中可声明类型、常量、变量、过程等，也可声明该模块的主程序（程序体包括在**BEGIN**和**END** 之间）。但一个模块也允许没有主程序，仅声明一些类型、常量、变量、过程等供其他模块使用（尽管本实验项目中尚未更深入地考虑这一问题）。

一个模块声明的**END**之后的标识符必须与该模块的名字相同。

运算符与表达式

参与算术表达式的运算量必须是 INTEGER 类型，否则会产生类型不兼容错误；由于 Oberon-0 语言不支持实数除法运算（仅支持整除运算），因而算术表达式的运算结果总是**INTEGER**类型。

类型声明

Oberon-0 允许类型声明，即以一个标识符重命名一个基本数据类型或复合数据类型。例如，

```
TYPE
    UserId = INTEGER;
    VisitRecord = RECORD
        user: UserId;
        visits: INTEGER
    END;
```

此后，即可用这些标识符作为类型，以声明其他变量。例如，

```
VAR
 id1, id2: UserId;
 rec: VisitRecord;
```

选择符

Oberon-0 语言支持两种选择符：“.”用于访问记录中的一个域；“[]”用于以下标表达式访问一个数组 的元素。这两种选择符均可以嵌套使用，但必须保证：“.”“[]”中间是一个求值结果为 INTEGER 的表达式。

例如，以下选择符的使用是合法的：

```
VAR
    accountList: ARRAY 100 OF RECORD
        account: INTEGER;
        balance: INTEGER
    END;
BEGIN
    accountList[1].account := 101;
    accountList[1].balance := 8500;
    ...
```

作用域规则

Oberon-0 语言是一个块（Block）结构语言；凡在一个块中声明的所有标识符，其作用域仅局限在该块之中。

例如，在一个**MODULE**中声明的所有类型、常量和变量（参见语法单位declarations）在该模块中 是可见的，包括该模块定义的所有块（过程声明）中都是可见的；而在一个**PROCEDURE**中声明的所有 类型、常量和变量（参见语法单位declarations和FormalParameters）则仅在该过程中是可见 的，其他过程中不可见之。

过程声明与参数传递

如果一个过程声明的某个形式参数之前声明有保留字 **VAR**，则该参数称为一个可变参数，将采用按引 用传递（Call by Reference）的参数传递方式，因而该过程可能有副作用；否则，该参数称为一个值参 数，将采用按值传递（Call by Value）的参数传递方式，因而该过程不会产生副作用。严格的语义检查 应保证可变参数必须是一个左值（L-value）。

一个过程声明的**END**之后的标识符必须与该过程的名字相同。

预定义函数

Oberon-0 提供了3 种预定义函数：**read()**、**write()**和**writeln**，分别表示控制台输入和输出，其含义与Pascal 语言中的相同。

5.5. 例子程序

以下提供了以Oberon-0 书写的一个模块（Module）的源代码清单，可能会有助于你理解Oberon-0 语言 的特点。该模块中包含了几个简单的过程，这些过程的名字表达了其功能。

```
(* A sample Oberon-0 source program. *)
MODULE Sample;
    PROCEDURE Multiply;
        VAR x, y, z: INTEGER;
    BEGIN
        Read(x);  Read(y);
        z := 0;
        WHILE x > 0 DO
            IF x MOD 2 = 1 THEN z := z + y END;
            y := 2 * y;
            x := x DIV 2
        END ;
        Write(x);  Write(y);  Write(z);  WriteLn
    END Multiply;

    PROCEDURE Divide;
        VAR x, y, r, q, w: INTEGER;
    BEGIN
        Read(x);  Read(y);
        r := x;  q := 0;  w := y;
        WHILE w <= r DO
            w := 2 * w
        END;
        WHILE w > y DO
            q := 2 * q;
            w := w DIV 2;
            IF w <= r THEN
                r := r - w;
                q := q + 1
            END
        END;
        Write(x);  Write(y);  Write(q);  Write(r);  WriteLn
    END Divide;

    PROCEDURE BinSearch;
        VAR i, j, k, n, x: INTEGER;
            a: ARRAY 32 OF INTEGER;
    BEGIN
        Read(n);
        k := 0;
        WHILE k < n DO
            Read(a[k]);
            k := k + 1
        END;
        Read(x);
        i := 0; j := n;
        WHILE i < j DO
            k := (i + j) DIV 2;
            IF x < a[k] THEN
                j := k
            ELSE
                i := k + 1
            END
        END;
        Write(i);  Write(j);  Write(a[j]);  WriteLn
    END BinSearch;
END Sample.
```

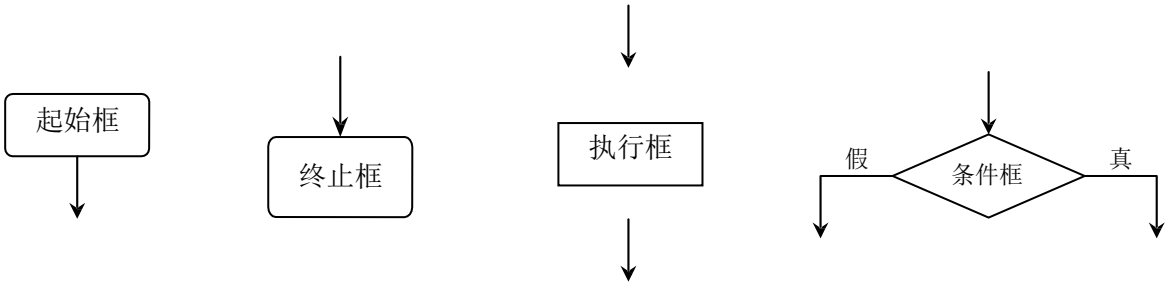
6. 流程图

本实验项目要求开发的软件工具可根据一个Oberon-0 语言源程序自动绘制出一个模块中所有过程的流程图。

6.1. 流程图定义

流程图（Flowchart）又称程序流程图、程序框图，是一个子程序控制流设计的图形表示，其中展示了　程序执行过程中可能遍历的所有路径。

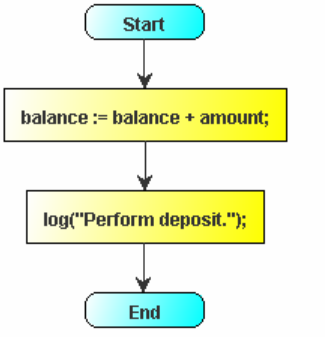
流程图中具有以下基本图形：

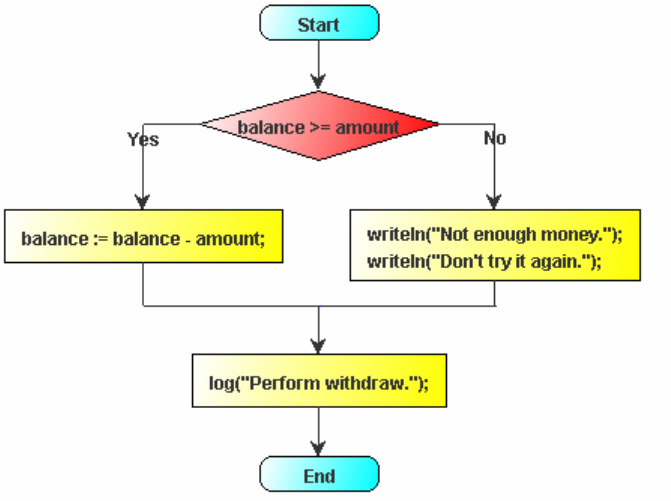


关于流程图的更详细资料可参阅：http://en.wikipedia.org/wiki/Flowchart。

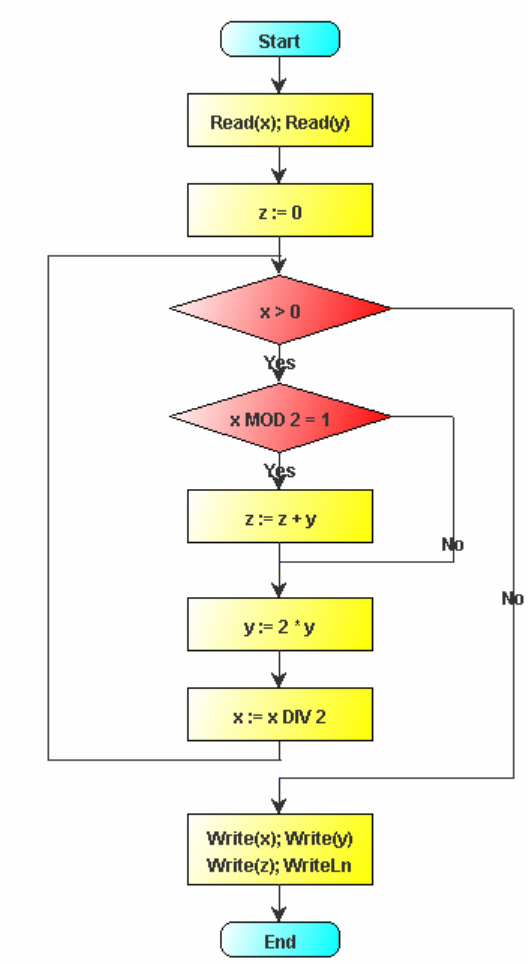
6.2. 流程图例子

对于一个Account 模块中的存款和取款过程，生成的两个流程图例子如下图所示。





对于本文档 5.5 节例子程序的Multiply 过程，流程图例子如下图所示。



6.3. 画流程图的框架代码

实验框架代码提供了预定义的绘图代码，同学们可以调用这些现成的代码绘制图形。框架代码的实现是基于开源项目 Jgraph。

要绘制第三章3.5 小节的Oberon 源程序定义Sample 模块中3 个过程对应的流程图,可按如下方式调用 预定义的API（意即你的翻译模式应按如下次序执行其中的语义运作）：

```
import flowchart.*;
public class FlowchartDemoOberon {
  public static void main(String[] args) throws Exception {
    Module sampleModule = new Module("Sample");
    {
      Procedure proc = sampleModule.add("Multiply");
      proc.add(new PrimitiveStatement("Read(x); Read(y)"));
      proc.add(new PrimitiveStatement("z := 0"));
      WhileStatement wstmt = new WhileStatement("x &gt 0");
      proc.add(wstmt);
      {
        IfStatement istmt = new IfStatement("x MOD 2 = 1");
```

```
    wstmt.getLoopBody().add(istmt);
    {
      istmt.getTrueBody().add(new PrimitiveStatement("z := z + y"));
    }
    wstmt.getLoopBody().add(new PrimitiveStatement("y := 2 * y"));
    wstmt.getLoopBody().add(new PrimitiveStatement("x := x DIV 2"));
  }
  proc.add(new PrimitiveStatement(
    "Write(x); Write(y)<br>Write(z); WriteLn"));
}{
  Procedure proc = sampleModule.add("Divide");
  proc.add(new PrimitiveStatement("Read(x); Read(y)"));
  proc.add(new PrimitiveStatement("r := x; q := 0; w := y"));
  WhileStatement wstmt = new WhileStatement("w &lt= r");
  proc.add(wstmt);
  {
    wstmt.getLoopBody().add(new PrimitiveStatement("w := 2 * w"));
  }
  wstmt = new WhileStatement("w &gt y");
  proc.add(wstmt);
  {
    wstmt.getLoopBody().add(new PrimitiveStatement("q := 2 * q"));
    wstmt.getLoopBody().add(new PrimitiveStatement("w := w DIV 2"));
    IfStatement istmt = new IfStatement("w &lt= r");
    wstmt.getLoopBody().add(istmt);
    {
      istmt.getTrueBody().add(new PrimitiveStatement("r := r - w"));
      istmt.getTrueBody().add(new PrimitiveStatement("q := q + 1"));
    }
  }
  proc.add(new PrimitiveStatement(
    "Write(x); Write(y)<br>Write(q); Write(r); WriteLn"));
}{
  Procedure proc = sampleModule.add("BinSearch");
  proc.add(new PrimitiveStatement("Read(n)"));
  proc.add(new PrimitiveStatement("k := 0"));
  WhileStatement wstmt = new WhileStatement("k &lt n");
  proc.add(wstmt);
  {
    wstmt.getLoopBody().add(new PrimitiveStatement("Read(a[k])"));
     wstmt.getLoopBody().add(new PrimitiveStatement("k := k + 1"));
  }
proc.add(new PrimitiveStatement("Read(x)"));
proc.add(new PrimitiveStatement("i := 0; j := n"));
wstmt = new WhileStatement("i &lt j");
proc.add(wstmt);
```

```
    {
      wstmt.getLoopBody().add(new PrimitiveStatement("k := (i + j) DIV 2"));
      IfStatement istmt = new IfStatement("x &lt a[k]");
      wstmt.getLoopBody().add(istmt);
      {
        istmt.getTrueBody().add(new PrimitiveStatement("j := k"));
        istmt.getFalseBody().add(new PrimitiveStatement("i := k + 1"));
      }
    }
    proc.add(new PrimitiveStatement(
      "Write(i); Write(j)<br>Write(a[j]); WriteLn"));
  }
  sampleModule.show();
 }
}
```