FLA (Fall 2021) – Project

Name: 张涵之 Dept: 计科
Grade: 2019 ID: 191220154

1. 分析与设计思路

C++采用面向对象设计思想，因此首先设计图灵机的类。

```
class TuringMachine {
protected:
    // static parameters
    vector<string>      states;
    vector<char>        input_alphabet;
    vector<char>        tape_alphabet;
    string              start_state;
    vector<TransFunc>   transition_function;
    char                blank_symbol;
    vector<string>      final_states;
    int                 number_of_tapes;
    bool                verbose_mode_on;
    // dynamic parameters
    int                 step;
    vector<Tape>        tapes;
    string              current_state;
public:
    TuringMachine() {}
    TuringMachine(ifstream &tm, bool v);
    void checkSelf();
    bool legalInput(string input);
    void printStep();
    void Simulate(string input);
    void eraseBlankfromTapes();
    void printSelf();
};
```

其中使用 vector 为容器表示集合，状态集由 string 表示，字符集用 char，除图灵机程序语法中涉及的七部分内容，另有一 bool 变量表示图灵机的运行模式（是否开启 verbose），以及运行过程中用到的 step 计数器、纸带集和当前所处状态标识。
该类的成员函数有从 ifstream 读文件初始化的构造函数（解析器），checkSelf 用于初步构造完成后进一步检查语法，legalInput 判断输入是否合法，printStep 在 verbose 模式下打印步骤，由 Simulate（模拟器）调用。另有辅助函数 eraseBlankfromTapes 清除纸带两端多余的空白符，printSelf 打印图灵机语法，主要在 debug 中使用。

设计转移函数，含新、旧状态，新、组符号组和方向，构造时从外部传入。

```
struct TransFunc {
    string      in_state;
    string      in_tape_symbol;
    string      new_tape_symbol;
    string      direction;
    string      new_state;
    TransFunc(string inS, string inT, string nT, string d, string nS) {
```

纸带类，含内容、当前 index 位置和最左端非空白符的位置，初始化为空。

```
struct Tape {
    string  content;
    int     index;
    int     leftmost;
    Tape() {
        content = "_";
        index = 0;
        leftmost = 0;
    }
```

几个辅助函数，其中 printSyntaxError 在图灵机类的构造函数中调用，一边读 tm 文件一边输出一些比较简单的语法错误（大多是类型错误，如赋值语句不完整，定义的状态名或符号使用了不合法的字符，缺少表示集合的花括号，输入的纸带数不是正整数等）。这类错误会结合在 tm 文件中出现的行号输出，方便定位。
printSyntaxErrorWOLine 在图灵机类的 checkSelf 在调用，会检查定义的初始和终结状态、转移函数的新旧状态是否都在状态集中等“一致性”问题，并进行报错。
splitChar 和 splitString 根据 spliter（空格、逗号等）将整个字符串分割成单个字符或字符串集合，其中 splitChar 还会检查分割得到的是否全为单个字符。

```
void printSyntaxError(int current_line, string error_msg);
void printSyntaxErrorWOLine(string error_msg);
vector<char> splitChar(string str, char spliter, int line);
vector<string> splitString(string str, char spliter);
```

接下来就是图灵机成员函数的具体实现了。
构造函数从文件的 ifstream 逐行读入，调用 splitString 和 splitChar 进行切分，确定每行是定义或注释，检查切分得到的字符串个数，是否有赋值符号等，若字符串数量多于预期，则判断多出的部分是否为注释，如下图片段展示：

```
// blanck line
if (current_line.size() == 0)
    continue;
// annotation
else if (current_line[0] == ';')
    continue;
else {
    vector<string> tokens = splitString(current_line, ' ');
    string first = tokens[0];
    if (first[0] == '#') {
        if (tokens.size() < 3)
            printSyntaxError(current_line_cnt, "definition incomplete");
        // more annotation
        else if (tokens.size() > 3 && tokens[3][0] != ';')
            printSyntaxError(current_line_cnt, "unknown type");
        else if (tokens[1] != "=")
            printSyntaxError(current_line_cnt, "missing \"=\" in definition");
        else {
            string third = tokens[2];
            int token_length = third.length();
            // states
            if (first == "#Q") {
                // check if Q is a set (with a pair of "{}")
                if (third[0] != '{' || third[token_length - 1] != '}')
                    printSyntaxError(current_line_cnt, "need a set for Q");
                else
                    states = splitString(third.substr(1, token_length - 2), ',');
            }
```

checkSelf 所做检查上面已经讨论过，这里不再赘述。
legalInput 的逻辑也很简单，遍历字符串对其中每个字符在输入字符集中查找，若全都能找到则是合法输入，否则根据第一个不匹配字符的下标在 verbose 下输出。
printStep 根据图灵机当前状态信息输出即可，只有一些细节，如为了显示美观而进行的空格对齐逐个让我比较头疼，在后面部分中会再详细谈到。
Simulate 的逻辑是先做准备工作（设置当前步数为 0，状态为初始状态，构造 N 条纸带并将输入复制到第一条上，此后采用 while(true)无限循环，每轮先判断当前状态是否在终结状态集中，若是则跳出循环，否则开始查找和匹配转移函数（这里实现了通配符和一定程度上的优先级匹配，后面再详谈），匹配到之后开始更新纸带内容和移动 index 指针，设置新状态，调用 eraseBlankfromTapes 去掉纸带两端多余

的空白符（以免造成打印时的赘余），更新完成，进入下一轮循环。
eraseBlankfromTapes 和 printSelf：比较白痴，不多说了，一些小 bug 后面再提。

接下来谈谈多带图灵机程序的编写，我采取了辗转相减法。使用三条纸带，初始状态下先遍历和清空第一条纸带，将两个整数分别拷贝到第二和第三条纸带上。
假设两个数分别为 a 和 b，复制完成后，第二和第三条纸带的 index 都在这两个数的最右端。这时开始向前遍历，可见哪一条纸带先读到空白符，则它上面是更小的数字。不妨设更小的是第三条纸带上的 b，则我们再从前往后遍历一次，一边删除纸带二 a 上的 1，直到纸带三读到空白符，此时纸带二上剩余 1 的个数为 a – b，然后让纸带二向前读到最右的 1，此时纸带二和三的 index 又各自在 a – b 和 b 的最右端了。持续循环取“大数 = 大数 – 小数”直到某一次两条纸带自右向左同时读到空白符，此时便得到最大公约数，再遍历一次将这个数复制回纸带一即可。
其实这个过程只用两条纸带也能做成，用三条主要是为了处理不合法的输入。根据这个图灵机的语法，合法输入的正则表达式为（11*00*11*），即中间由一个或多个连续的零分割，两侧分别有且只有一个以上的 1。对于任何不合法的输入，在“拷贝到纸带二和三”过程中，一经发现错误便停止复制，继续清空纸带一，并在上面填入错误信息“illegal”，填写完毕后进入终止状态 halt_reject，返回。

```
#Q = {0,cp1,sep,cp2,cmpr2l,erase2,erase3,goback2,goback3,illegal,found,
,illegal1,illegal2,illegal3,illegal4,illegal5,illegal6,illegal7,halt_accept,halt_reject}
```

这里 0 为初始状态，cp1 和 cp2 分别为拷贝两个数，sep 为读中间的 0，cmpr2l 从右往左遍历比较两数，erase2 和 erase3 通过逐个清除实现纸带二和三“相减”，getback 实现相减后 index 回到所得差的最右端，illegal 表示不合法输入，found 表示已经找到 gcd，illegal1-7 输出“illegal”，halt_accept 和 reject 表示顺利完成或出错退出。

2. 实验完成度

完成了全部三个任务，其中解析器的错误处理对 syntax error 的具体类型进行了细化描述，额外输出行号和提示信息到 stderr。模拟器支持普通和 verbose 模式，支持通配符*，使用通配符情况下对多个转移函数匹配最精确的（*最少的）。

3. 实验中遇到的问题及解决方案

首先是各种异常情况（tm 文件不存在，定义格式和逻辑错误，输入语法错误等）的定位、分类和报错，比较琐碎但难度不大，耐心即可。附上一些测试的输出：

```
njucs@njucs-VirtualBox:~/Desktop/Turing$ ./turing -v gcd.tm
syntax error, illegal expression in state definition
njucs@njucs-VirtualBox:~/Desktop/Turing$ ./turing -v gcd.tm
syntax error, transition function has an non-existent input
njucs@njucs-VirtualBox:~/Desktop/Turing$ ./turing -v gcd.tm
syntax error, expect 'l' , 'r' or '*' for directions
njucs@njucs-VirtualBox:~/Desktop/Turing$ ./turing -v gcd.tm
syntax error at line 8, unknown type
njucs@njucs-VirtualBox:~/Desktop/Turing$ ./turing -v gcd.tm
syntax error, illegal symbol for input alphabet
```

其次是纸带类的设计。我之前做的时候没有考虑到向 0 索引左边的纸带单元读写字符的情况，因此在调试过程中遇到一些麻烦。后来在 index 外添加了 leftmost，对字符数组取下标时采用（index – leftmost）的方法，使纸带可以在左右两端“无限”

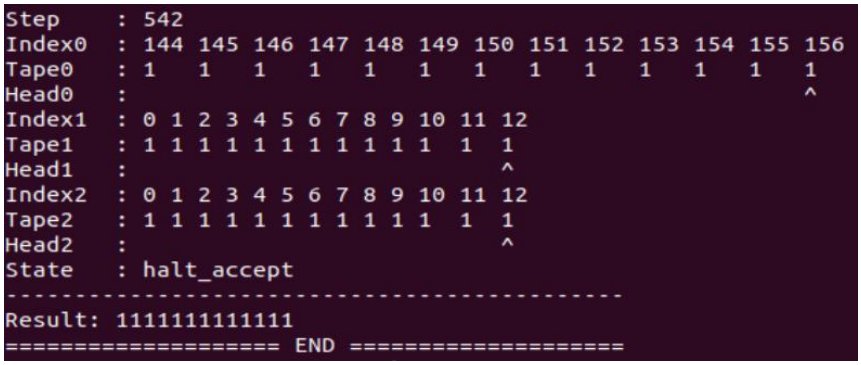
扩容，比如左移超过当前 leftmost 范围时，对字符数组进行 insert 操作，leftmost 递减即可。这样在删除两端多余空白符时，也可直接调用 erase 并使 leftmost 递增。这样实现了任何时刻纸带两端都没有多余的空白符，打印的时候也更加方便。

然后是通配符的实现。由于提供的示例程序含有通配符，且如果不实现精确匹配就会由于优先级不当出现死循环，因此我也实现了。大致逻辑是一个 bool 数组和一个 int 数组，分别标记每个转移函数是否能匹配，以及匹配的非通配符个数。遍历转移函数时更新这两个数组，完毕后选出能匹配且非通配符最多的函数即可。

```
for (int i = 0; i < transition_function.size(); i++) {
    if (transition_function[i].in_state != current_state) {
        flag[i] = false;
        continue;
    }
    for (int j = 0; j < number_of_tapes; j++) {
        if (transition_function[i].in_tape_symbol[j] == tapes[j].content[tapes[j].
            paired_cnt[i]++;
        else if (transition_function[i].in_tape_symbol[j] == '*')
            continue;
        else
            flag[i] = false;
    }
}
int max_paired = -1;
for (int i = 0; i < transition_function.size(); i++) {
    if (flag[i] && paired_cnt[i] > max_paired) {
        find_trans_func = i;
        max_paired = paired_cnt[i];
    }
}
```

最后是为了美观进行空格对齐……这里采用先取绝对值（省略负索引的符号）再将数字转成 string，根据 string 的长度（即数字的位数）来决定输出多少个空格，实现不同位数的 index，tape 和 head 的对齐，很麻烦但是做完强迫症看着很爽。

```
for (int i = 0; i < number_of_tapes; i++) {
    int leftmost = tapes[i].leftmost;
    cout << "Index" << i << "\t: ";
    for (int j = 0; j < tapes[i].content.size() - 1; j++) {
        cout << abs(j + leftmost) << " ";
    }
    int pos = tapes[i].content.size() - 1 + leftmost;
    cout << abs(pos) << endl;
    cout << "Tape" << i << "\t: ";
    for (int j = 0; j < tapes[i].content.size() - 1; j++) {
        cout << tapes[i].content[j];
        int temp = abs(j + leftmost);
        ostringstream os;
        os << temp;
        int cnt = (os.str()).size();;
        for (int k = 0; k < cnt; k++)
            cout << " ";
    }
    cout << tapes[i].content[tapes[i].content.size() - 1] << endl;
    cout << "Head" << i << "\t: ";
    for (int j = tapes[i].leftmost; j < tapes[i].index; j++) {
        cout << " ";
        int temp = abs(j);
        ostringstream os;
        os << temp;
        int cnt = (os.str()).size();
        for (int k = 0; k < cnt; k++)
            cout << " ";
    }
    cout << "^" << endl;
```



这个是找了一个 26 和 117 的最大公约数是 13 的截图↑
这么看还挺慢的，辗转相除更快，但是感觉除法比减法难想，这次先算了~

4. 总结感想

还挺好玩的，就，手册说得很对，在纸上画得人头都大了，但是程序可以这么一步步地打印出来，看着就很清楚，写完感觉对图灵机的理解加深了 o(*￣▽￣*)ブ
如果不是期末考试周到了还想自己多编几个测试样例玩一下的，不过时间有限就这样吧，也不知道这么点测试还有没有什么没发现的隐藏 bug（s），嘤嘤嘤

5. 对课程和实验的意见与建议

实验非常好……没什么好建议了……但是课程的话这门课能不能多点课时，一周两次每次两节那种，一是下午连着上三节到后面真的又饿又困，尤其是冬天，那个空调一开，整个人都要冬眠过去了……二是上课能不能多讲几个（难一点的!）例子之类的，看课件经常觉得“嗯嗯，我已经懂了!”，等到看书或者写作业的时候，又发现“搞毛线啊，完全没懂……”说到这个，多出来的课时做习题课也蛮好的嘛，之前还没怎么上过这种全是作业课件英语，有时候题目都看不懂的课，有时候要到作业发下来了，才发现根本连题目意思都理解错了(ノ ゝ □′)ノ ┻━┻