

**Программирование машин Тьюринга**

*Когда вице-президента фирмы IBM спросили, почему на персональных компьютерах IBM PS/2 нет кнопки Reset, он ответил: «Наши компьютеры никогда не зависают. Да и шесть долларов, в которые обходится эта кнопка, не лишние!»*

Составить программу машины Тьюринга в четвёрках, выполняющую заданное действие над словами, записанными на ленте. Отладку и тестирование проводить в среде интерактивного действующего макета **tu4**. Алфавит МТ определяется заданием. Использование дополнительных (несобственных) букв (кроме λ) нежелательно. Необоснованное использование несобственных букв считается недочётом и является достаточным основанием для снижения оценки.

В начальном состоянии головка МТ находится на пустой ячейке непосредственно справа от записанных на ленте аргументов – слов входного сообщения. В конечном состоянии головка МТ должна находиться на пустой ячейке непосредственно справа от результата (последнего преобразованного или вновь сгенерированного слова результирующего сообщения).

Вычисления в программе, как правило, должны быть нормированными (аргументы после работы программы сохраняются на ленте в неизменном виде и не остаётся промежуточных результатов); ненормированные вычисления, особенно в простых случаях, считаются недочётом и являются достаточным основанием для снижения оценки.

Перед составлением алгоритма для машины Тьюринга необходимо подготовить тесты для него – представительный набор различных входных сообщений, для которых известен правильный ответ, включая значения на границах области определения вычислимой функции и за её пределами.

В отчёте по данной работе необходимо привести диаграмму Тьюринга, эквивалентную реализованной программе.

Примеры программ: ASCII-крутилка и ненормированное сложение двоичных чисел без знака:

00, -,00	00, ,<,01	03,1,<,03	05, ,>,00	04, ,1,05	07, , ,07 стоп
00,-,\,00	01,0,1,02 перенос -1	03, ,<,04	00,1,>,00	01, ,>,06	
00,\,1,00	02,1,<,01 перенос -1	04,0,1,05 +1	00,0,>,00	06,1,>,06	
00,1,/,00	01,1,0,03 -1	05,0,>,05	04,1,0,02 перенос +1	06, ,<,07	
00,/, ,01	03,0,<,03	05,1,>,05	02,0,<,04 перенос +1	07,1, ,06 стирание	
01, ,>,00					

Варианты заданий (назначаются преподавателем):

- |          |   |
|----------|---|
| <b>№</b> | <b>Действие (звездочками помечены более трудные задачи)</b>   |
| 1*       | Вычисление поразрядной конъюнкции двух двоичных чисел.  |
| 2*       | Вычисление поразрядной дизъюнкции двух двоичных чисел.  |
| 3*       | Обмен местами двух двоичных чисел.  |
| 4        | Нормированное вычисление суммы двух двоичных чисел без знака.                                       |
| 5**      | Задача 4 с логарифмической сложностью.  |
| 6        | Генерация двух чисел из чётных и нечётных разрядов двоичного числа.                                 |
| 7*       | Генерация двух чисел из разрядов двоичного числа, находящихся на чётных и нечётных позициях.        |
| 8        | Обмен местами разрядов двоичного числа, находящихся на чётных и нечётных позициях.                  |
| 9        | Зеркальное отражение цифр двоичного числа относительно его середины                                 |
| 10       | Вычисление логического произведения (&& в Си) двоичных чисел.                                       |
| 11***    | Вычисление наибольшего общего делителя двух чисел в натуральной системе счисления.                  |
| 12***    | Вычисление наименьшего общего кратного двух чисел в натуральной системе счисления.                  |
| 13***    | Проверка делимости на три   |
| 14       | Вычисление двоичного логического сдвига второго числа влево на число разрядов, равное первому.      |
| 15       | Вычисление двоичного логического сдвига первого числа вправо на число разрядов, равное второму.     |
| 16*      | Вычисление двоичного арифметического сдвига второго числа влево на число разрядов, равное первому.  |
| 17*      | Вычисление двоичного арифметического сдвига первого числа вправо на число разрядов, равное второму. |
| 18*      | Вычисление двоичного циклического сдвига второго числа влево на число разрядов, равное первому.     |
| 19*      | Вычисление двоичного циклического сдвига первого числа вправо на число разрядов, равное второму.    |
| 20*      | Выделение разрядов первого двоичного числа по маске, заданной вторым числом.                        |
| 21*      | Выделение разрядов второго двоичного числа по маске, заданной первым числом.                        |
| 22       | Закодировать двоичное число азбукой Морзе.  |
| 23*      | Умножение двух чисел в кардинальной системе счисления {}.   |
| 24       | Кодирование числа в римской записи по Цезарю (в алфавите {I, V, X, L, C, D, M})                     |
| 25       | Умножение однозначных чисел в усечённой римской системе счисления.                                  |
| 26*      | Проверить палиндромию двоичного числа.  |
| 27*      | Вычисление двоичного логарифма двоичного числа.   |
| 28       | Натурализация двоичного числа в позиционной записи (перевод в натуральную систему счисления {}).    |
| 29**     | Двоичное сложение двоичного и четверичного числа.   |
| 30       | Восстановление целого числа в восьмеричной системе счисления по обратному коду.                     |
| 31       | Восстановление целого числа в восьмеричной системе счисления по дополнительному коду.               |

№	Действие (звездочками помечены более трудные задачи)
32	Уменьшение на единицу целого неотрицательного числа в восьмеричной системе счисления.
33	Увеличение на единицу целого неотрицательного числа в восьмеричной системе счисления.
34	Получение двоичного числа, противоположного данному, в обратной кодировке.
35	Получение двоичного числа, противоположного данному, в дополнительной кодировке.
36*	Вычисление разности двух двоичных чисел без знака, при условии, что первое число больше второго.
37**	Задача 36 с логарифмической сложностью.
38*	Задача 36, ответ — модуль разности.
39**	Задача 37, ответ — модуль разности.
40	Копирование троичного числа со знаком.
41	Реверс троичного числа со знаком (запись цифр в обратном порядке).
42*	Зеркальное отражение двух двоичных слов относительно промежутка между ними.
43	Перевод числа из двоичной системы счисления в восьмеричную.
44	Перевод числа из восьмеричной системы счисления в двоичную.
45	Перевод числа из троичной системы счисления в девятеричную.
46	Перевод числа из девятеричной системы счисления в троичную.
47*	Перевод числа из двоичной системы счисления в восьмеричную с логарифмической сложностью.
48*	Перевод числа из восьмеричной системы счисления в двоичную с логарифмической сложностью.
49*	Перевод числа из троичной системы счисления в девятеричную с логарифмической сложностью.
50*	Перевод числа из девятеричной системы счисления в троичную с логарифмической сложностью.
51	Проверка делимости на 9.
52*	Проверка делимости на 11.
53**	Четверичное сложение двоичного и четверичного числа.

Варианты заданий составлены проф. Зайцевым В.Е., доц. Сошниковым Д.В., ст. преп. Сеницким П.А., Перетягиным И.А. и асп. Макаровым Н.К.

Первый макет МТ разработан в 1987 г. студ. Лукашевичем С. Ю. Описание подготовлено проф. Зайцевым В. Е., доц. Журавлевой Т. Э. и ст. преп. Сеницким П. А. на основе курсовой работы Лукашевича С. Ю. Перенос на DEC Alpha выполнил Сеницкий П. А., модификацию для программ большого размера в окнах X Window System, четвёрточную и пакетную версии реализовали Лебедев А. В. и Измайлов А.А. Примеры переработаны Перетягиным И. А., Марухиным А. В., Чечериндой С. В. и др. В нынешних версиях макетов ослаблены ограничения на размер программы и длину ленты.

Для домашних работ могут использоваться и другие системы Тьюринговских вычислений в среде MS-DOS и MS Windows: tu05m, DDT, мультимодельная система Рыбакова К. А., программы Семёнова А. В. («4», на MS Visual Basic 6.0!), Гуренкова М. Г. В среде UNIX для DEC Alpha есть и пятёрочная версия макета (*tu5* и *tutu*). Есть версия tu4 для FreeBSD (выполнимый файл, кодировка сообщений КОИ-8), а также для Linux (Intel). Наконец, в рамках проекта GNU существует gturing, хороший экраный (в среде GNOME!) интерпретатор МТ с возможностью редактирования текста программы, однако, задаваемой в пятёрках, причём в качестве разделителя полей используется пробел. Существуют самые разнообразные макеты МТ: для MS Excel, Lego-версия <http://legoofdoom.blogspot.com> и iPhone-симулятор <http://mobile.clauss-net.de/Turing>. Видео вполне натуральной машины Тьюринга можно найти здесь <http://aturingmachine.com/>

## Вопросы к зачёту по лабораторным работам №№5-7. ВВОД И ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ДАННЫХ В ЭВМ

1. Коды ASCII и КОИ-8: характеристики, состав, структура.
2. Альтернативная и основная кодировки (в сравнении с ASCII).
3. Кодировки ISO 8859-5 и CP 1251.
4. Понятие о кодах EBCDIC, ДКОИ.
5. Кодировки Unicode, UTF-8. ISO 8859-5 и 10646.
6. Понятие о клавиатурных раскладках. Основные принципы.
7. Раскладки QWERTY и ЙЦУКЕН и соответствие между знаками кириллицы и латинского алфавита для обычной и фонетической латино-кириллических раскладок.
8. Раскладки Дворака и Diktor.
9. Позиционные системы счисления.
10. Представление целых чисел в ЭВМ.
11. Перевод чисел из одной системы счисления в другую.
12. Особенности целочисленной арифметики в ЭВМ.
13. Научная (экспоненциальная) форма записи числа. Машинное представление с плавающей точкой.
14. Различия представлений числовых и текстовых данных в ЭВМ.
15. Использование калькуляторов ОС UNIX (bc) и MS Windows для операций с числами в различных системах счисления.

## Литература

1. Бауэр Ф.Л., Гооз Г. Информатика. —М.: Мир, 1976, 1990. Глава 1 и приложения А; Глава 6 и приложение В (D).
2. Ворожук А.В. Основы ЦВМ и программирование. —М.: Наука, 1978. с. 23-39,59-80.
3. Форсайт Дж., Малькольм М., Моулер К. Машинные методы математических вычислений. —М.: Мир, 1980, с. 22-26
4. Карасев С.Б. и др. Машинные алгоритмы обработки информации. —М.: МАИ, 1987. с. 3-16.
5. Танненбаум Э. Многоуровневая организация ЭВМ. —М.: Мир, 1979.
6. UNIX on-line manuals.
7. Уэзерелл Ч. Этюды для программистов. —М.: Мир, 1982.

Интерактивный полноэкранный макет машин Тьюринга **tu4** реализован на ЭВМ DEC (Compaq, HP) LSI-11, PDP-11, VAX-11, Alpha в среде HP Tru64 UNIX или Free/NetBSD с терминалами VT-1xx/2xx/3xx/4xx/5xx/XTerm. Запуск макета осуществляется из интерпретатора команд UNIX:

**tu4** имя\_файла\_с\_программой.tu

Макет реализует следующий вариант определения МТ:

- лента МТ «полубесконечна» вправо;
- программа МТ состоит из *четвёрок*  $\langle q, a, v, q' \rangle$  где  $q$  – символ старого состояния,  $a$  – обозреваемая буква,  $v$  – символ действия: записываемая буква или команда перемещения,  $q'$  – символ нового состояние;
- поддерживаются следующие команды перемещения:
  - > – сдвиг на одну ячейку вправо (знак > реализует символ движения вправо на одну ячейку  $r$ );
  - < – сдвиг на одну ячейку влево (знак < реализует символ движения влево на одну ячейку  $l$ );
  - = – сохранение текущего положения;
  - # – останов макетной МТ (классическая команда *останова* ( $q, a, a, q$ ) также реализована).

Ограничения реализации для текстовых терминалов 80x24: объём программы – до 168 команд, длина активного участка ленты – 80 ячеек. С программами из более чем 168 команд необходимо работать в окне эмулятора текстового терминала на графическом мониторе в среде X Window System. При этом перед вызовом **tu4** необходимо соответствующим образом увеличить размеры окна текстового терминала и уменьшить (в особо тяжёлых случаях) размер шрифта в этом окне. Для корректного отображения русских букв на терминале может потребоваться перекодировка программы.

Программы МТ хранятся в текстовых файлах с расширением **.tu** и кодируются по следующим правилам:

- состояния МТ обозначаются двузначными неотрицательными десятичными (а в некоторых версиях – шестнадцатеричными) числами от 00 до 99 (FF соответственно). МТ всегда начинает работать с нулевого состояния;
- буквы рабочего алфавита выбираются из знаков, имеющихся на клавиатуре и отображаемых на терминале, за исключением знаков < > = #, изображающих символы действия МТ. Несобственная буква  $\lambda$  кодируется пробелом;
- каждая команда располагается в отдельной строке, начиная с 1-й позиции. Компоненты команды разделяются запятыми. В команде не должно быть пробелов, кроме тех, которые имеют смысл пустых ячеек ленты МТ;
- в тексте программы не должно быть пустых строк.

Ввод и редактирование текста программы МТ можно осуществлять с помощью самого интерпретатора МТ, в котором для этого имеются все необходимые средства; переход в режим редактирования: автоматически при ошибке в программе, по **Tab** в процессе выполнения программы и по **Return/Enter** в других случаях. Поскольку программа МТ является текстовым файлом, она также может быть набрана в любом редакторе текстов *со строгим соблюдением формата*.

Во время работы макета МТ экран терминала имеет следующую структуру:

- в верхней строке отображается текущее состояние ленты МТ;
- во второй строке содержится подсказка по горячим клавишам;
- в остальных строках в несколько столбцов отображается текст программы МТ.

Макет МТ предоставляет пользователю следующие возможности:

- пошаговая интерпретация команд программы;
- быстрая интерпретация программы без остановок;
- редактирование программы МТ, в том числе, интерактивное создание новой программы.

Макет МТ поддерживает следующие горячие клавиши:

- переход к пошаговой интерпретации программы
- переход к быстрой интерпретации программы
- прекращение интерпретации и переход к редактированию, а также запись редактируемой программы на диск
- прекращение работы макета МТ

<пробел>  
Return/Enter  
  
Tab  
Ctrl / C

Для протоколирования работы МТ необходимо использовать пакетную версию интерпретатора, вывод которой – строго текстовый. Текст отлаженной программы поместить в файл типа **tu**, например с именем **15.tu**, а входные данные к ней – в файл **15.tst**, и в режиме протоколирования вызвать пакетную версию интерпретатора МТ:

turun имя-файла.tu имя-файла-с-тестами.

Каждый тест занимает две строки. Первая строка должна содержать исходное состояние ленты МТ (слова, обрамлённые пробелами), вторая указывает начальную рабочую ячейку знаком ^, предварённым необходимым числом пробелов.