

УДК 004.4

**В. А. Крисиллов**, д-р техн. наук,  
**Н. И. Синегуб**, канд. техн. наук,  
**Г. Е. Романов**

### ПРОГРАММНЫЙ ПРОГРАММИРУЕМЫЙ МОДУЛЬ НА ОСНОВЕ МАШИНЫ ТЬЮРИНГА

***Аннотация.** В статье рассмотрены вопросы синтеза и применения программного программируемого модуля на основе машины Тьюринга, в среде которого машины Тьюринга реализуют алгоритмы параллельно. В статье также рассмотрен вопрос синтеза эмулятора машины Тьюринга, используемого в программном программируемом модуле. При параллельной реализации алгоритмов число перемещений по ленте считывающей головки машины Тьюринга сокращается, что, в свою очередь, сокращает время выполнения алгоритмов машиной Тьюринга.*

***Ключевые слова:** машина Тьюринга, операции над машиной Тьюринга, эмулятор машины Тьюринга.*

**В. А. Крісілов**, д-р техн. наук,  
**М. І. Синегуб**, канд. техн. наук,  
**Г. Є. Романов**

### ПРОГРАМНИЙ ПРОГРАМОВАНИЙ МОДУЛЬ НА ОСНОВІ МАШИНИ ТЮРИНГА

***Анотація.** У статті розглянуті питання синтезу і застосування програмного програмованого модуля на основі машини Тюринга, в середовищі якого машини Тюринга реалізують алгоритми паралельно. У статті також розглянуто питання синтезу емулятора машини Тюринга, використовуваного в програмному програмованому модулі. При паралельній реалізації алгоритмів число переміщень по стрічці зчитуючої голівки машини Тюринга скорочується, що, у свою чергу, скорочує час виконання алгоритмів машиною Тюринга.*

***Ключові слова:** машина Тюринга, операції над машиною Тюринга, емулятор машини Тюринга.*

**V. A. Krisilov**, ScD.,  
**N. I. Sinegub**, PhD.,  
**H. E. Romanov**

### SOFTWARE PROGRAMMABLE MODULE BASED ON TURING MACHINE

***Abstract.** The article discusses the synthesis and use of the software programmable module based on Turing machine that provides the environment for Turing machines execution in order to implement algorithms in parallel. Also, the article covers the synthesis of the Turing machine emulator used in software programmable module. The parallel implementation of an algorithm allows to reduce the readout head moving count, that, in turn, reduces its execution time by Turing machine.*

***Keywords:** Turing machine, operations on Turing machine, Turing machine emulator.*

**Введение.** Созданная в тридцатых годах XX века машина Тьюринга (МТ) до сих пор не утратила своей актуальности. Например, машину Тьюринга можно успешно использовать как акцептор языка. При этом она распознает языки, которые не в состоянии распознать магазинные автоматы [2].

Над машинами Тьюринга различают следующие операции: композиция (произведение) и итерация, а также их комбинации, что позволяет строить суперпозиции машин Тьюринга, реализующие сложные алгоритмы последовательно [1; 3]. В общем случае машину Тьюринга можно рассматривать как

формальный алгоритм, поэтому она может вычислять все то же, что и компьютер, хотя и намного медленнее [2].

Последовательное и из-за этого медленное выполнение алгоритмов является недостатком машины Тьюринга, что ограничивает область ее применения.

**С целью** сокращения времени выполнения алгоритмов машиной Тьюринга в статье предложен программный программируемый модуль, в среде которого машины Тьюринга реализуют алгоритмы параллельно. При параллельной реализации алгоритмов количество перемещений по ленте считывающей

головки машины Тьюринга уменьшается, что

На рис. 1 представлен эмулятор МТ, используемый в предложенном программном программируемом модуле.

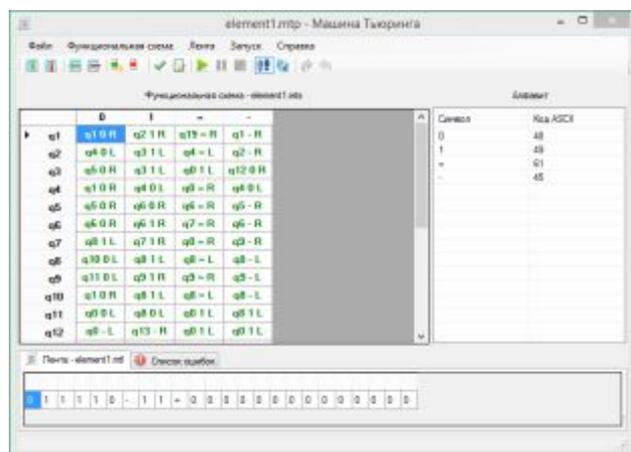


Рис. 1. Главное окно эмулятора МТ

Эмулятор позволяет изучать принципы работы МТ, создавать и отлаживать программы МТ, а также получать подробный отчет об их выполнении.

Данное приложение предоставляет возможность:

- создания, редактирования, сохранения и открытия файлов проекта МТ, функциональной схемы (ФС) и ленты;
- выполнения алгоритма МТ в двух режимах: пошаговом и быстром;
- автоматической проверки корректности ввода команд в ФС, символов на ленте;
- автоматического формирования отчета о выполнении программы МТ в виде таблицы с указанием номера такта, состояния МТ и ситуации на ленте;
- сохранения отчета в формате HTML;
- импорта ФС и ленты из документов Microsoft Word 2010 и Open Office Writer.

Следует отметить, что существует достаточно большое количество подобных эмуляторов МТ, выполненных в виде приложения для ПК и web-приложений. Наиболее известными и свободно распространяемыми аналогами рассматриваемого в этой статье эмулятора являются приложения "Машина Тьюринга 1.1" и "Эмулятор машины Тьюринга".

и сокращает время выполнения алгоритмов.

Окно интерфейса предлагаемого программного программируемого модуля на основе машины Тьюринга представлено на рис. 2.

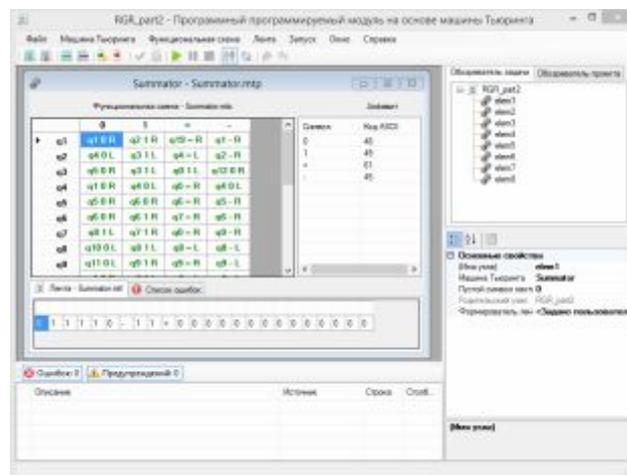


Рис. 2. Окно интерфейса программного программируемого модуля на основе МТ

Модуль предназначен для эмуляции параллельных вычислительных процессов и наглядной их демонстрации.

Данный программный продукт предоставляет возможность:

- создания машин Тьюринга и использования готовых машин Тьюринга;
- организации связей между МТ;
- создания и загрузки проектов со связями между МТ, которые используются в этих проектах;
- пошагового запуска запрограммированного пользователем алгоритма решения задачи;
- формирования отчета после выполнения алгоритма.

С помощью данного программного программируемого модуля удобно реализовывать операции над матрицами. Покажем это на примере суммирования двух матриц 4×2 (рис. 3).

$$\begin{pmatrix} 5 & 6 \\ 3 & 4 \\ 6 & 6 \\ 6 & 5 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 3 & -3 \\ 4 & -2 \\ -3 & 3 \\ 2 & 4 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 8 & 3 \\ 7 & 2 \\ 3 & 9 \\ 8 & 9 \end{pmatrix}$$

Рис. 3. Суммирование двух матриц 4×2

На первом этапе выполнения операции суммирования матриц синтезируется на основе предложенного эмулятора МТ машина Тьюринга, выполняющая над целыми числами операцию:  $((\pm a) + (\pm b))$ . Её функциональная схема представлена на рис. 4.

	0	1	=	-
q1	q1 0 R	q2 1 R	q19 = R	q1 - R
q2	q4 0 L	q3 1 L	q4 = L	q2 - R
q3	q5 0 R	q3 1 L	q0 1 L	q12 0 R
q4	q1 0 R	q4 0 L	q0 = R	q4 0 L
q5	q5 0 R	q6 0 R	q6 = R	q5 - R
q6	q6 0 R	q6 1 R	q7 = R	q6 - R
q7	q8 1 L	q7 1 R	q0 = R	q9 - R
q8	q10 0 L	q8 1 L	q8 = L	q8 - L
q9	q11 0 L	q9 1 R	q9 = R	q9 - L
q10	q1 0 R	q8 1 L	q8 = L	q8 - L
q11	q0 0 L	q8 0 L	q0 1 L	q8 1 L
q12	q0 - L	q13 - R	q0 1 L	q0 1 L
q13	q13 0 R	q13 1 R	q14 = R	q13 - R
q14	q15 - R	q16 1 R	q0 1 R	q17 - R
q15	q8 1 R	q0 1 R	q0 1 R	q0 1 R
q16	q18 0 L	q16 1 R	q0 1 R	q0 1 R
q17	q8 1 L	q17 1 R	q0 1 R	q0 1 R
q18	q0 0 R	q8 0 L	q0 1 R	q0 1 R
q19	q0 1 R	q19 1 R	q0 1 R	q20 - R
q20	q21 0 L	q22 1 R	q0 1 R	q0 1 R
q21	q0 1 L	q0 0 R	q0 1 R	q0 1 R
q22	q0 1 R	q22 1 R	q0 1 R	q0 1 R

Рис. 4. Функциональная схема синтезированной машины Тьюринга

На рис. 5, 6 представлен пример функционирования синтезированной МТ. Здесь суммируются два числа: +3 (закодировано четырьмя единицами) и +2 (закодировано тремя единицами). В результате получается сумма +5 (закодировано шестью единицами).

0 1 1 1 1 0 1 1 1 = 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

Рис. 5. Исходное состояние ленты (исходное положение головки МТ выделено синим цветом)

После выполнения алгоритма эмулятор МТ представляет подробный отчет, в котором фиксируется состояние ленты и позиция головки на каждом шаге выполнения. В завершающем этапе выполнения операции суммирования матриц на основе синтезированной МТ в среде предложенного программного программируемого модуля создается проект для решения задачи суммирования матриц. Каждая матрица содержит по 8 элементов, соответственно, необходимо создать 8 МТ, которые будут суммировать соответствующие элементы. Эти операции не-

зависимы друг от друга, поэтому их можно выполнять параллельно. Функциональная схема проекта из восьми МТ, работающих параллельно, представлена на рис. 7 (здесь для всех машин Тьюринга задан символ по умолчанию – 0).

Такт	Состояние	Слово на ленте
0	q1	...011110111=00000000000000...
1	q1	...011110111=00000000000000...
2	q2	...011110111=00000000000000...
3	q3	...011110111=00000000000000...
4	q3	...011110111=00000000000000...
5	q5	...011110111=00000000000000...
6	q6	...001110111=00000000000000...
7	q6	...001110111=00000000000000...
8	q6	...001110111=00000000000000...
9	q6	...001110111=00000000000000...
10	q6	...001110111=00000000000000...
11	q6	...001110111=00000000000000...
12	q6	...001110111=00000000000000...
13	q6	...001110111=00000000000000...
14	q7	...001110111=00000000000000...
15	q8	...001110111=10000000000000...
16	q8	...001110111=10000000000000...
17	q8	...001110111=10000000000000...
18	q8	...001110111=10000000000000...
19	q8	...001110111=10000000000000...
20	q10	...001110111=10000000000000...
...		
132	q19	...00000000=11111000000000...
133	q19	...00000000=11111000000000...
134	q19	...00000000=11111000000000...
135	q19	...00000000=11111000000000...
136	q0	...00000000=11111100000000...

Рис. 6. Отчет о работе синтезированной МТ

После выполнения суммирования программный программируемый модуль представляет подробный отчет о выполнении алгоритма (рис. 8).

Следует отметить, что время выполнения операции зависит от разрядности чисел.

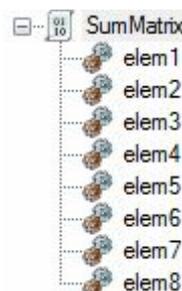


Рис. 7. Функциональная схема проекта

Такт системы	Название узла	Такт	Состояние	Слово на ленте
0	elem1	0	q1	...01111101111=00000000000...
0	elem2	0	q1	...0111101111=00000000000...
0	elem3	0	q1	...011111110-111=0000000000...
0	elem4	0	q1	...01111110111=00000000000...
0	elem5	0	q1	...01111110-111=0000000000...
0	elem6	0	q1	...011110-111=00000000000...
0	elem7	0	q1	...01111110111=00000000000...
0	elem8	0	q1	...01111101111=00000000000...
1	elem1	1	q1	...01111101111=00000000000...
1	elem2	1	q1	...0111101111=00000000000...
1	elem3	1	q1	...01111110-111=0000000000...
1	elem4	1	q1	...01111110111=00000000000...
1	elem5	1	q1	...01111110-111=0000000000...
1	elem6	1	q1	...011110-111=00000000000...
1	elem7	1	q1	...01111110111=00000000000...
1	elem8	1	q1	...01111101111=00000000000...
2	elem1	2	q2	...01111101111=00000000000...
2	elem2	2	q2	...0111101111=00000000000...
2	elem3	2	q2	...01111110-111=0000000000...
2	elem4	2	q2	...01111110111=00000000000...
2	elem5	2	q2	...01111110-111=0000000000...
2	elem6	2	q2	...011110-111=00000000000...
2	elem7	2	q2	...01111110111=00000000000...
2	elem8	2	q2	...01111101111=00000000000...
3	elem1	3	q3	...01111101111=00000000000...
3	elem2	3	q3	...0111101111=00000000000...
3	elem3	3	q3	...01111110-111=0000000000...
3	elem4	3	q3	...01111110111=00000000000...
3	elem5	3	q3	...01111110-111=0000000000...
3	elem6	3	q3	...011110-111=00000000000...
3	elem7	3	q3	...01111110111=00000000000...
3	elem8	3	q3	...01111101111=00000000000...
4	elem1	4	q3	...01111101111=00000000000...
4	elem2	4	q3	...0111101111=00000000000...
4	elem3	4	q3	...01111110-111=0000000000...
4	elem4	4	q3	...01111110111=00000000000...
4	elem5	4	q3	...01111110-111=0000000000...
4	elem6	4	q3	...011110-111=00000000000...
4	elem7	4	q3	...01111110111=00000000000...
4	elem8	4	q3	...01111101111=00000000000...

...

299	elem5	299	q1	...00000000000-1=111000000...
299	elem7	299	q19	...000000000000=1111111100...
299	elem8	299	q19	...000000000000=1111111100...
300	elem3	300	q2	...00000000000-1=111000000...
300	elem5	300	q2	...000000000000-1=111000000...
300	elem7	300	q19	...000000000000=1111111100...
300	elem8	300	q19	...000000000000=1111111100...
301	elem3	301	q4	...00000000000-1=111000000...
301	elem5	301	q4	...000000000000-1=111000000...
301	elem7	301	q19	...000000000000=1111111100...
301	elem8	301	q19	...000000000000=1111111100...
302	elem3	302	q4	...00000000000-0=111000000...
302	elem5	302	q4	...000000000000-0=111000000...
302	elem7	302	q19	...000000000000=1111111100...
302	elem8	302	q19	...000000000000=1111111100...
303	elem3	303	q4	...000000000000=111000000...
303	elem5	303	q4	...000000000000=111000000...
303	elem7	303	q19	...000000000000=1111111100...
303	elem8	303	q19	...000000000000=1111111100...
304	elem3	304	q1	...000000000000=111000000...
304	elem5	304	q1	...000000000000=111000000...
304	elem7	304	q19	...000000000000=1111111100...
304	elem8	304	q0	...000000000000=1111111110...
305	elem3	305	q1	...000000000000=111000000...
305	elem5	305	q1	...000000000000=111000000...
305	elem7	305	q19	...000000000000=1111111100...
306	elem3	306	q1	...000000000000=111000000...
306	elem5	306	q1	...000000000000=111000000...
306	elem7	306	q19	...000000000000=1111111100...
307	elem3	307	q19	...000000000000=111000000...
307	elem5	307	q19	...000000000000=111000000...
307	elem7	307	q19	...000000000000=1111111100...
308	elem3	308	q19	...000000000000=111000000...
308	elem5	308	q19	...000000000000=111000000...
308	elem7	308	q0	...000000000000=1111111110...
309	elem3	309	q19	...000000000000=111000000...
309	elem5	309	q19	...000000000000=111000000...
310	elem3	310	q19	...000000000000=111000000...
310	elem5	310	q19	...000000000000=111000000...
311	elem3	311	q0	...000000000000=111000000...
311	elem5	311	q0	...000000000000=111000000...
311	RGR_part2	0	-	...0=111111110=111111110=11110=111111110=11110=1110=1111111110=1111111110...

Рис. 8. Отчет о работе проекта

**Вывод.** Таким образом, предложенный программный программируемый модуль позволяет реализовывать алгоритмы машины Тьюринга параллельно, что сокращает время их выполнения в сравнении с известными методами последовательного выполнения алгоритмов за счет сокращения числа перемещений по ленте считывающей головки машины Тьюринга. Кроме того, вместо синтезированной МТ в функциональной схеме проекта на любом месте может быть использована любая другая машина Тьюринга, выполняющая любые предложенные операции. Программируемый модуль позволяет расширить область применения машины Тьюринга и может использоваться для эмуляции параллельных вычислительных процессов.

Список использованной литературы

1. Кацаран Т. К. Машина Тьюринга и рекурсивные функции: Учебное пособие для вузов [Текст] / Т. К. Кацаран, Л. Н. Строева. – Воронеж: Издательско-полиграфический центр Воронежского государственного университета: – 2008. – С.36.

2. Макконнелл Дж. Анализ алгоритмов. Активный обучающий подход. 3-е дополненное издание [Текст] / Макконнелл Дж. – М.: Техносфера: – 2009. – С.416.

3. Паулин О. Н. Основы теории алгоритмов: Учеб. пособие [Текст] / Паулин О. Н. – Одесса: Автограф: – 2003. – С.188.

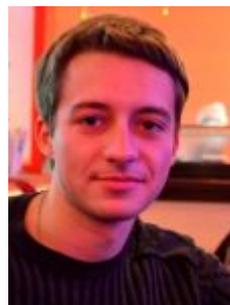
3. Paulin O. N. Osnovy teorii algoritmov: Ucheb. posobie [Bases of Theory of Algorithms: Studies Manual], (2003), Odessa, Ukraine, *Avtograf*, pp. 188. (In Russian).



Крисилов  
Виктор Анатолиевич,  
д-р т. н., проф., дир-р  
ин. мед. инж. Одеск.  
нац. политехн. ун-та  
т: 0679880754.  
E-mail:  
krissilovva@mail.ru



Синегуб  
Николай Иванович,  
к. т. н., ст. пр. каф.  
систем. программ. о  
обесп. Одеск. нац.  
политехн. ун-та,  
т: 0961292662.  
E-mail:  
sinegub.nikolai@mail.ru



Романов  
Глеб Евгеньевич,  
маг., каф. систем.  
програм. обесп.  
Одеск. нац. политехн.  
ун-та  
E-mail:  
rgebox@gmail.com

Получено 02.02.2016

#### References

1. Katsaran T.K., and Stroeve L.N. Mashina Tyuringa i rekursivnye funktsii: Uchebnoe posobie dlya vuzov [Turing Machine and Recursive Functions: Studies Manual for Institutions of Higher Learning], (2008), Voronezh, Russian Federation, *Izdatel'sko-poligraficheskii tsentr Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta*, pp. 36 (In Russian).  
2. Makkonnell Dzh. Analiz algoritmov. Aktivnyi obuchayushchii podkhod. 3-e dopolnennoe izdanie [Analysis of Algorithms. An Active Learning Approach. 3-d complemented edition], (2009), Moscow, Russian Federation, *Tekhnosfera*, pp. 416. (In Russian).