ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБРАЗОВАНИЕ

Казаков Матвей Алексеевич,
Шалыто Анатолий Абрамович

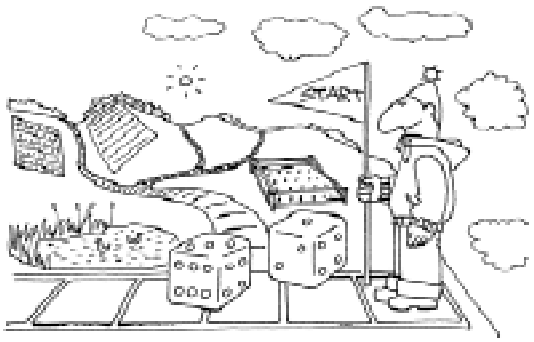
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АВТОМАТНОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ ВИЗУАЛИЗАТОРОВ

ВВЕДЕНИЕ

Один из авторов работы давно занимается автоматным программированием, а другой – технологиями дистанционного обучения программированию в рамках проекта «Интернет-школа программирования» [1, 2] на кафедре «Компьютерные технологии» Санкт-Петербургского государственного университета информационных технологий, механики и оптики (СПбГУ ИТМО). Важным направлением при таком обучении программированию является технология разработки визуализаторов [3, 4]. Авторов объединило желание создать технологию построения логики визуализаторов, которая до сих пор отсутствовала [5–8].

Это произошло следующим образом. В октябре 2000 года на лекциях одним из авторов было рассказано, как по программе строить автомат, и было предложено будущему соавтору выполнить это преобразование на примере алгоритма Дейкстры, предназначенного для нахождения кратчайшего пути в графе. Через некоторое время, вместо сравнительно простой и изящной программы, написанной традиционным путем, формально была построена автоматная программа, содержащая оператор *switch* с девятью метками *case*, который являлся телом цикла *do-while*. На вопрос, заданный автором идеи преобразования, о целесообразности такого программирования был получен следующий ответ: «Программировать так действительно нецелесообразно, а визуализаторы, похоже, следует делать именно так».

Визуализатор – это программа, иллюстрирующая выполнение алгоритма при определенных входных данных. Примером



визуализатора может служить, например, программа, занимающаяся построением графика функции, либо программа, визуально моделирующая какой-либо физический процесс. Применительно к дискретной математике и программированию визуализаторы обычно моделируют некоторые алгоритмы, давая возможность обучающемуся при помощи интуитивно понятного интерфейса проходить алгоритм шаг за шагом от начала до конца, а при необходимости – и обратно.

Перечислим отличительные характеристики визуализаторов.

1. Простота использования, определяемая понятностью интерфейса. Поэтому

для работы с визуализатором обычно не требуется специальная подготовка.

2. Четкость и простота представления визуализируемого процесса.

3. Компактность визуализаторов, ввиду их реализации в виде Java-аплетов. Это при необходимости упрощает передачу визуализаторов в сети Интернет, что особенно важно при дистанционном обучении.

Визуализаторы в рассматриваемой области решают следующие задачи, возникающие в процессе обучения.

1. Графическое и словесное разъяснение действий алгоритма на конкретных наборах входных данных. При этом понимание алгоритма не обязательно, поскольку именно визуализатор должен объяснить действие алгоритма.

2. Предоставление пользователю инструмента, реализующего данный алгоритм. При этом учащийся освобождается от необходимости выполнять шаги алгоритма, так как их автоматически выполняет визуализатор.

Визуализатор выполняет обычно следующие функции.

1. Пошаговое исполнение алгоритма.

2. Возможность просмотра действия алгоритма при разных наборах входных данных, в том числе и введенных пользователем.

3. Возможность просмотра действия алгоритма в динамике.

4. Возможность перезапуска алгоритма на текущем наборе входных данных.

Динамическая визуализация наглядно демонстрирует такую характеристику алгоритма, как трудоемкость (особенно при пошаговой демонстрации). Для некоторых алгоритмов (например, машины Тьюринга) динамический вариант демонстрации вообще представляется более естественным, чем любой набор статических иллюстраций.

До недавнего времени технология разработки визуализаторов сводилась к эвристике. При этом каждый алгоритм требовал нового подхода и осмысления реализации визуализатора. Другими словами, технология разработки визуализаторов отсутствовала, и основные успехи в этой области были педагогическими [3, 4, 9].

Основным недостатком при построении визуализаторов является то, что обычно используются только такие понятия, как «входные и выходные переменные», а понятие «состояние» в явном виде не используется. Однако, по мнению авторов, совершенно естественным кажется, что каждый шаг визуализации необходимо проводить в соответствующем состоянии или на переходе. Поэтому при построении программ визуализации целесообразно использовать технологию автоматного программирования, базирующуюся на конечных автоматах [10].

В настоящей работе показано, что применение программирования с явным выделением состояний превращает процесс разработки логики визуализаторов в технологию.

Основным требованием к визуализатору является возможность пошаговой реализации алгоритма. Поэтому предлагаемая технология должна преобразовать исходный алгоритм в набор шагов для отображения на экране.

Визуализатор «по-крупному» предлагается строить следующим образом:

– по программе строится автомат логики визуализатора (контроллер – *controller*);

– выбираются визуализируемые переменные (модель – *model*);

– проектируется формирователь изображений и комментариев, который преобразует номер состояния и соответствующие значения визуализируемых переменных в «картинку» и поясняющий текст (представление – *view*).

Такая конструкция визуализатора соответствует одному из основных паттернов проектирования объектно-ориентированных программ, который обозначается аббревиатурой MVC (Model-View-Controller) [11].

Излагаемая ниже технология основана на методе построения конечного автомата по тексту программы [12]. При этом по указанному тексту строится схема алгоритма, которая на основе соответствующего кодирования преобразуется в граф перехода конечного автомата.

Исходя из изложенного, сформулируем технологию построения визуализаторов.

1. Постановка задачи.

2. Решение задачи (в словесно-математической форме).

3. Выбор визуализируемых переменных.

4. Анализ алгоритма для визуализации. Анализируется решение с целью определения того, что и как отображать на экране.

5. Алгоритм решения задачи.

6. Реализация алгоритма на выбранном языке программирования. На этом шаге производится реализация алгоритма, его отладка и проверка работоспособности.

7. Построение схемы алгоритма по программе.

8. Преобразование схемы алгоритма в граф переходов автомата Мили [12, 13].

9. Формирование набора невизуализируемых переходов.

10. Выбор интерфейса визуализатора.

11. Сопоставление иллюстраций и комментариев с состояниями автомата.

12. Архитектура программы визуализатора.

13. Программная реализация визуализатора.

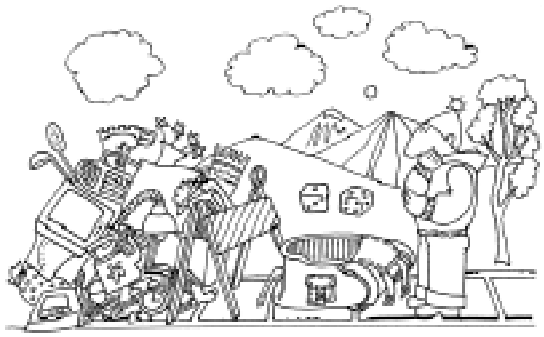
Известно, что обычно создание программы разбивается на пять стадий: разработка требований, анализ, проектирование, реализация и тестирование. В данном случае к разработке требований относятся первые три пункта технологии. Анализ – пункты 4 и 5 технологии. К проектированию относятся пункты с 6 по 11. В отличие от традиционного для объектно-ориентированного программирования подхода, выбор архитектуры программы относится не к стадии проектирования, а к реализации, так как все предыдущие пункты технологии не зависят от реализации. Естественно, что к стадии реализации относится и последний пункт технологии.

Как будет показано ниже, при использовании предлагаемой технологии тестирование резко упрощается, а время написания визуализатора сокращается.

Продемонстрируем предложенную технологию на примере построения визуализатора алгоритма, использующего динамическое программирование [14], которое является одним из самых сложных разделов алгоритмики.

1. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Рассмотрим словесную постановку задачи, которая в литературе носит название «дискретная задача о рюкзаке» [14, 15].



Приведем одну из формулировок этой задачи.

Имеется набор из K неделимых предметов, для каждого из которых известна масса M_i (в кг), являющаяся натуральным числом. Задача состоит в том, чтобы определить, существует ли хотя бы один набор предметов, размещаемый в рюкзаке, суммарная масса которых равна N. Если такой набор существует, то требуется определить его состав.

2. РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ

Приведем словесную формулировку решения этой задачи.

2.1. Построение функции, представляющей оптимальное решение.

Построим вектор M (1, K), каждый элемент M_i которого соответствует массе i-го предмета.

Введем функцию T (i, j), значение которой равно единице, если среди предметов с первого по i-ый существует хотя бы один набор предметов, сумма масс которых равна j, и нулю – в противном случае.

2.2. Рекуррентные соотношения, связывающие оптимальные значения для подзадач.

Определим начальные значения функции T:

• $T(0, j) = 0$ при $j \geq 1$ { без предметов нельзя набрать массу $j \geq 1$};

• $T(i, 0) = 1$ при $i \geq 0$ {всегда можно набрать нулевую массу}.

Определим возможные значения функции T при ненулевых значениях аргументов.

Существуют две возможности при выборе предметов: включать предмет с номером i в набор или не включать. Это в математической форме может быть записано следующим образом:

• если предмет с номером i не включается в набор, то решение задачи с i предметами сводится к решению подзадачи с $i - 1$ предметом. При этом $T(i, j) = T(i - 1, j)$;

• если предмет с номером i включается в набор, то это уменьшает суммарную массу для $i - 1$ первых предметов на величину M_i. При этом $T(i, j) = T(i - 1, j - M_i)$. Эта ситуация возможна только тогда, когда $M_i \leq j$.

Для получения решения необходимо выбрать большее из значений рассматриваемой функции. Поэтому рекуррентные соотношения при $i \geq 1$ *и* $j \geq 1$ имеют вид:

• $T(i, j) = T(i - 1, j)$ при $j < M_i$;

• $T(i, j) = max\,(T(i - 1, j), T(i - 1, j - M_i))$ при $j \geq M_i$.

2.3. Задание исходных данных.

Пусть $K = 5$ – заданы пять предметов.

Эти предметы имеют следующие массы: $M_1 = 4$; $M_2 = 5$; $M_3 = 3$; $M_4 = 7$; $M_5 = 6$.

Суммарная масса предметов, которые должны быть размещены в рюкзаке, равна 16 ($N = 16$).

2.4. Вычисление значений функции *T* (*i, j*) (прямой ход алгоритма).

Используя приведенные выше рекуррентные соотношения, построим таблицу значений рассматриваемой функции (табл. 1).

Из таблицы следует, что $T(5, 16) = 1$, и поэтому существует хотя бы один набор предметов, удовлетворяющий постановке задачи.

2.5. Определение набора предметов (обратный ход алгоритма).

Рассмотрим элементы $T(5, 16)$ и $T(4, 16)$ таблицы. Так как их значения равны, то массу в 16 кг можно набрать с помощью первых четырех предметов – пятый предмет в набор можно не включать.

Теперь рассмотрим элементы $T(4, 16)$ и $T(3, 16)$. Их значения не равны, и поэтому набор из трех предметов не обеспечивает решение задачи. Следовательно, четвертый предмет должен быть включен в набор. Поэтому «остаток» массы, размещаемой в рюкзаке, который должен быть набран из оставшихся предметов, равен: $16 - M_4 = 16 - 7 = 9$.

Для элементов $T(3, 9)$ и $T(2, 9)$ значения равны – третий предмет в набор не включается.

Для элементов $T(2, 9)$ и $T(1, 9)$ значения не равны – второй предмет должен быть включен в набор. При этом остаток равен: $9 - M_2 = 9 - 5 = 4$.

И, наконец, рассмотрим элементы $T(1, 4)$ и $T(0, 4)$. Их значения не равны – первый предмет должен быть включен в набор, а «остаток» массы для других предметов равен 0.

Таким образом, одно из решений задачи найдено – в набор включены первый, второй и четвертый предметы.

3. ВЫБОР ВИЗУАЛИЗИРУЕМЫХ ПЕРЕМЕННЫХ

Перечислим переменные, которые содержат значения, необходимые для визуализации:

• i – номер предмета;

• j – сумма весов предметов;

Таблица 1

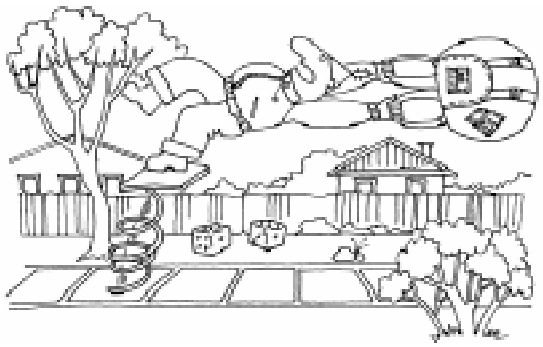
		j																
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
i	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
	3	1	0	0	1	1	1	0	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0
	4	1	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1
	5	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

- T [] [] – значения функции T;
- *positions* – номера предметов.

4. АНАЛИЗ АЛГОРИТМА ДЛЯ ЕГО ВИЗУАЛИЗАЦИИ

Из рассмотрения алгоритма следует, что его визуализация должна выполняться следующим образом:

- показать таблицу, заполненную начальными значениями;
- отразить прямой ход решения задачи – процесс построения таблицы значений T (i, j);
- отразить обратный ход решения задачи – процесс поиска набора предметов за



счет «обратного» движения по указанной таблице.

5. АЛГОРИТМ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ

Приведем алгоритм решения задачи на псевдокоде [14] (см. листинг 1).

6. РЕАЛИЗАЦИЯ АЛГОРИТМА НА ЯЗЫКЕ JAVA

Перепишем программу на псевдокоде с помощью языка Java (см. листинг 2).

В этой программе операции ввода/вывода не приведены, так как их будет выполнять визуализатор.

7. ПОСТРОЕНИЕ СХЕМЫ АЛГОРИТМА ПО ПРОГРАММЕ

Построим по тексту программы схему алгоритма (рисунок 1).

8. ПРЕОБРАЗОВАНИЕ СХЕМЫ АЛГОРИТМА В ГРАФ ПЕРЕХОДОВ АВТОМАТА МИЛИ

В работе [12] показано, что при программной реализации по схеме алгоритма может быть построен как автомат Мура, так и автомат Мили. В автоматах первого типа

Листинг 1.

```
1  for j → 1 to N
2      do T [ 0, j ] ← 0
3  for i ← 0 to K
4      do T [ i, 0 ] ← 1
5  for i ← 1 to K
6      do for j ← 1 to N
7          do if j < M [ i ]
8              then T [ i, j ] ← T [ i – 1, j ]
9              else T [ i, j ] ← Max ( T [ i – 1, j ], T [ i – 1, j – M [i] ] )
10 sum ← N
11 if T [ K, sum ] = 1
12     then
13         for i ← K downto 1
14             do if T [ i, sum ] ≠ T [ i – 1, sum ]
15                 then
16                     добавить в искомый набор
17                     sum ← sum – M [ i ]
18     return искомый набор
19 else return «набор не существует»
```

Листинг 2.

```
/**
* @param N суммарный вес предметов в рюкзаке
* @param M массив весов предметов
* @return список номеров предметов, сумма весов которых равна N,
* либо null если это невозможно
*/
 private static Integer[] solve(int N, int[] M) {
 // Переменные циклов
 int i, j;
 // Количество предметов
 int K = M.length;
 // Массив T
 int[][] T = new int[K + 1][N + 1];
 // Результирующие номера
 ArrayList positions = new ArrayList();
 // Результат работы true, если суммарный вес можно получить
 boolean result = false;

 // Определение начальных значений функции T
 for (j = 1; j <= N; j++) {
     T[0][j] = 0;
 }
 for (i = 0; i <= K; i++) {
     T[i][0] = 1;
 }

 // Построение таблицы значений функции T
 for (i = 1; i <= K; i++) {
     for (j = 1; j <= N; j++) {
         if (j >= M[i - 1]) {
             T[i][j] = Math.max(T[i - 1][j], T[i - 1][j - M[i - 1]]);
         }
         else {
             T[i][j] = T[i - 1][j];
         }
     }
 }

 // Опредениение набора предметов
 int sum = N;
 if (T[K][sum] == 1) {
     // Решение существует
     for (i = K; i >= 1; i—) {
         if (T[i][sum] != T[i - 1][sum]) {
             positions.add(new Integer(i));
             sum -= M[i - 1];
         }
     }
     // Решение найдено
     result = true;
 }

 // Если решение найдено, то оно возвращается, иначе возвращается null
 return (Integer[])(result ? positions.toArray(new Integer[0]) : null);
 }
```

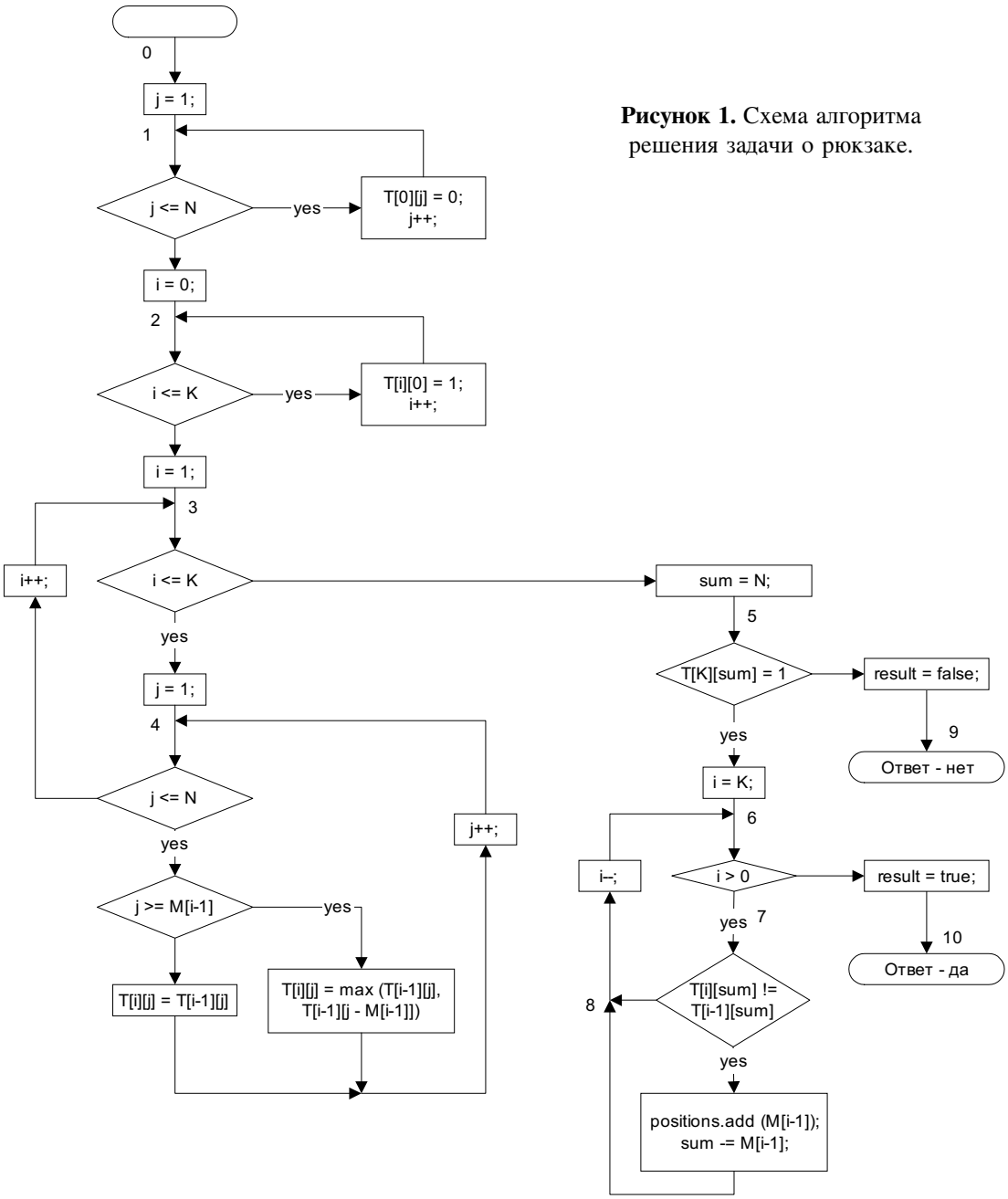


Рисунок 1. Схема алгоритма решения задачи о рюкзаке.

действия выполняются в вершинах, а в автоматах второго типа – на переходах. Визуализаторы могут быть построены как с использованием автоматов Мура, так и автоматов Мили. Для уменьшения числа состояний в настоящей работе применяются автоматы Мили.

В соответствии с методом, изложенным в работе [12], определим состояния, которые будет иметь автомат Мили, соответствующий этой схеме алгоритма. Для этого присвоим номера точкам, следующим за последовательно расположенными операторными вершинами (последовательность может состоять и из одной вершины). Номера присваиваются также начальной и конечным вершинам.

Количество состояний, определенных описанным методом, бывает для целей визуализации недостаточным, так как в ряде случаев необходимо показывать также условия и результаты некоторых действий.

Исходя из изложенного, для схемы алгоритма на рисунке 1 выделим девять со-

Листинг 3.

```
1  while следующий переход in (0 → 1, 1 → 2, 3 → 4, 3 → 5, 4 → 3, 6 → 7, 6 → 10)
2        do сделать переход автомата
```

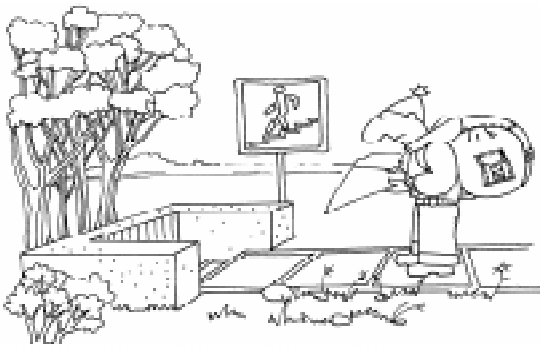
стояний автомата с номерами 0 – 6, 9, 10. Еще одно состояние с номером 7 введено для визуализации обратного хода алгоритма. И, наконец, состояние с номером 8 используется для визуализации результата выбора на обратном ходе. Таким образом, автомат визуализации будет иметь одиннадцать состояний, а его граф переходов, который строится за счет определения путей между выделенными точками на схеме алгоритма – одиннадцать вершин (рисунок 2).

Как следует из графа переходов, на петлях в состояниях 1 и 2 осуществляется заполнение таблицы значений функции *T* начальными данными в первой строке и в первом столбце. На петлях в состоянии 4 реализуется алгоритм заполнения таблицы значений функции *T*. Переходы из состояния 7 в состояние 8 отображают первую половину шага алгоритма обратного хода, причем более сложный переход соответствует включению предмета с номером *i* в результирующий набор, а второй переход – не включению предмета в этот набор. Переход из состояния 8 в состояние 6 соответствует второй половине шага алгоритма обратного хода.

9. ФОРМИРОВАНИЕ НАБОРА НЕВИЗУАЛИЗИРУЕМЫХ ПЕРЕХОДОВ

Из анализа графа переходов (рисунок 2) следует, что «неинтересными» (не изменяющими визуализацию) для пользователя являются следующие переходы: 0 → 1, 1 → 2, 3 → 4, 3 → 5, 4 → 3, 6 → 7, 6 → 10. Устранение таких переходов осуществляется за счет того, что один шаг работы визуализатора состоит из нескольких переходов автомата, реализующего его логику.

Для исключения «неинтересных» переходов шаг визуализатора реализуется следующим образом (см. листинг 3).



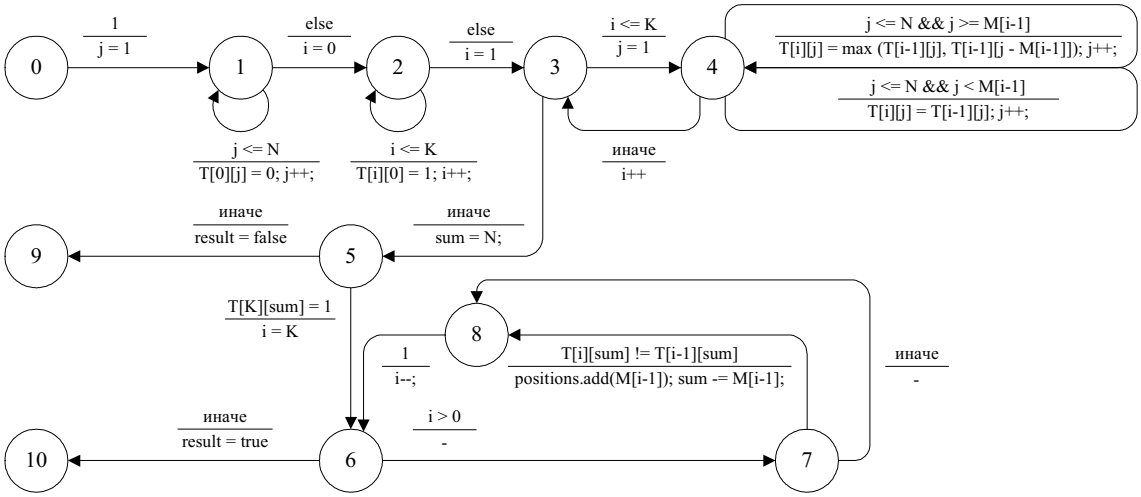


Рисунок 2. Граф переходов для визуализации логики алгоритма.

10. ВЫБОР ИНТЕРФЕЙСА ВИЗУАЛИЗАТОРА

В верхней части визуализатора (в дальнейшем называемой *иллюстрацией*) представляется следующая информация:

- таблица значений функции $T(i, j)$, где $i = 0, \ldots, 5$; $j = 0, \ldots, 16$;
- набор весов предметов (крайний левый столбец с цифрами 4, 5, 3, 7, 6).

В нижней части визуализатора расположена панель управления, которая содержит следующие кнопки:

- «>>» – сделать шаг алгоритма;
- «Заново» – начать алгоритм заново;
- «Авто» – перейти в автоматический режим;
- «<», «>» – изменение паузы между автоматическими шагами алгоритма.

Среднюю часть визуализатора занимает область комментариев, в которой на каждом шаге отображается описание выполняемого алгоритмом действия.

Визуализатор в исходном состоянии, которое соответствует начальному состоянию автомата, представлен на рисунке 3.

Рисунок 3.
Начальное состояние визуализатора

11. СОПОСТАВЛЕНИЕ ИЛЛЮСТРАЦИЙ И КОММЕНТАРИЕВ С СОСТОЯНИЯМИ АВТОМАТА

Ввиду того, что при построении визуализатора используется автомат Мили, будем в рассматриваемом состоянии отображать действия, которые выполняются при переходе из него. При этом серым цветом подсвечивается текущая ячейка таблицы, а черным – рабочие ячейки.

Состояние 0. Описано в предыдущем разделе.

Состояние 1. Заполнение нулями верхней строки таблицы T (рисунок 4).

Состояние 2. Заполнение единицами левого столбца таблицы T (рисунок 5).

Состояние 3 является «невизуализируемым», так как оно служебное.

Состояние 4 может отображаться в двух различных вариантах, потому что граф на рисунке 2 имеет в этом состоянии две петли, помеченных разными условиями и соответствующими действиями. На рисунке 6 приведена иллюстрация, соответствующая нижней петле, в которой выполняется копирование значения из расположенной выше ячейки таблицы (помечена темным цветом) в ячейку, расположенную ниже (помечена серым цветом), поскольку рассматриваемый в данный момент предмет не может быть использован в наборе. Это имеет место в случае, когда сумма весов предметов для текущего столбца меньше веса предмета, соответствующего текущей строке. На

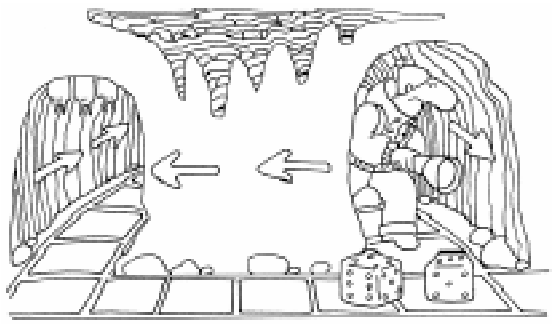
Рисунок 4. Состояние 1.

Рисунок 5. Состояние 2.

Рисунок 6. Состояние 4 (нижняя петля).

Рисунок 7. Состояние 4 (верхняя петля).

рисунке 7 приведена иллюстрация для верхней петли в рассматриваемом состоянии, на



которой показано, что имеет место альтернатива в выборе значения, поскольку вес $T(i, j)$ может быть получен двумя разными способами.

При использовании первого способа текущий предмет включается в набор, а для второго способа рассматриваемый предмет в набор не включается. Наличие единицы в одной из двух черных (рисунок 7) ячеек соответствует одному из вариантов. Поскольку на рисунке 7 выполняется соотношение $T(1, 4) = 1$, то набор с весом 4 может быть получен с применением одного предмета. Поэтому набор с весом 9 может быть получен из двух предметов за счет добавления второго предмета с весом 5. Следовательно, $T(2, 9) = 1$.

На этом прямой ход алгоритма завершен.

Состояние 5 отображает проверку того, что искомый суммарный вес набора предметов может быть получен, поскольку значение в правой нижней ячейке равно единице (рисунок 8). Это состояние является промежуточным между прямым и обратным ходом алгоритма, на котором собственно и выполняется поиск результирующего набора.

Рассмотрим состояния автомата, соответствующие обратному ходу алгоритма.

Состояния 6–8 автомата, образующие замкнутый контур на рисунке 2, порождают искомый набор предметов. Опишем, как эти состояния иллюстрируются.

Состояние 6 не изображается.

Состояние 7 отображает альтернативу первой половины шага при обратном ходе алгоритма (рисунок 9) из серой ячейки в одну из черных. Вариант перехода в ячейку в том же столбце означает, что текущий

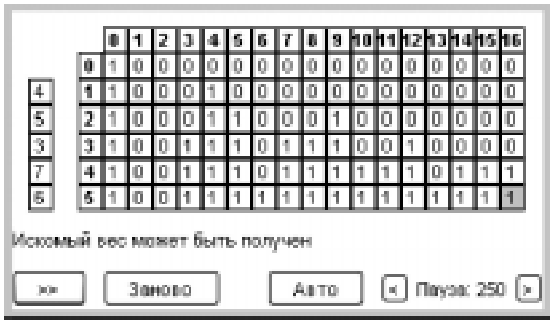


Рисунок 8. Состояние 5.

Рисунок 9. Состояние 7.

Рисунок 10. Состояние 8.

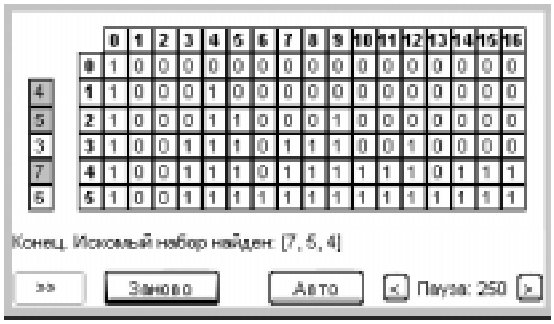


Рисунок 11. Состояние 10.

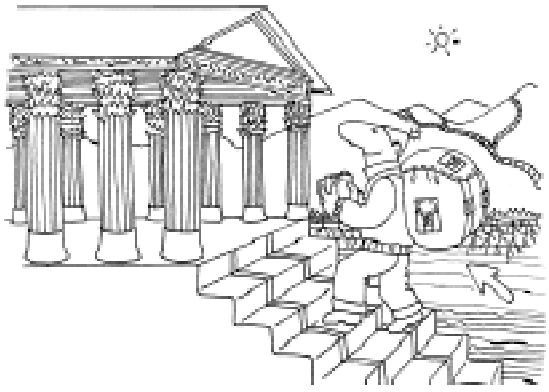
предмет не включается в результирующий набор. Переход во вторую черную ячейку означает включение предмета с номером *i* в набор. При этом отметим, что собственно переход всегда осуществляется в ячейку, помеченную единицей. В случае, если обе ячейки содержат по единице, выбирается первый из описанных вариантов.

Состояние 8 отображает результат выбора на предыдущем шаге (рисунок 10). Из левой части рисунка следует, что предмет с весом 7 включен в результирующий набор.

Для рассматриваемых исходных данных *состояние 9* отсутствует.

Состояние 10 отображает искомый результат – набор предметов, реализующих суммарный вес, равный 16 (рисунок 11).

12. АРХИТЕКТУРА ПРОГРАММЫ ВИЗУАЛИЗАТОРА



Во введении было признано целесообразным реализовать визуализатор на основе паттерна «Модель – Вид – Контроллер».

В данном случае «Модель» – визуализируемые переменные, которые являются глобальными (Globals), «Вид» – формирователь иллюстраций и комментариев (Drawer), а «Контроллер» – автомат (Automaton). Объединение указанных составляющих происходит с помощью четвертой компоненты – Applet, которая осуществляет также реализацию панели управления.

Диаграмма классов, реализующая этот паттерн для рассматриваемого примера, приведена на рисунке 12.

В качестве глобальных переменных используются переменные, описанные в разделе 3. Спроектированный автомат описан в разделе 8, а иллюстрации и комментарии, «привязанные к состояниям автомата» – в разделе 10, 11.

13. ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ ВИЗУАЛИЗАТОРА

В работе [13] было предложено переходить формально и изоморфно от графа переходов автомата к его программной реализации на основе оператора *switch*. Для

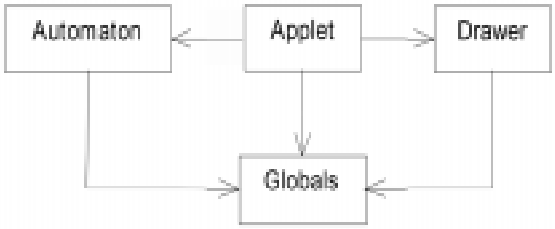
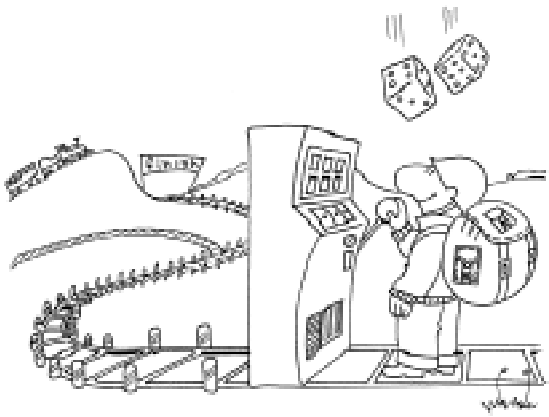


Рисунок 12. Диаграмма классов визуализатора.

рассматриваемого примера результатом преобразования графа переходов (рисунок 2) является текст программы, приведенный в истинге 4.

Такая реализация автомата резко упрощает построение визуализатора, так как к каждому состоянию автомата (метке *case*) могут быть «привязаны» соответствующие иллюстрации и комментарии. В силу того, что реализация визуализатора выполняется с помощью указанного выше паттерна, «привязка» в данном случае осуществляется с помощью второго оператора *switch*.



Листинг 4.

```
private void makeAutomationStep() {
  switch (state) {
   case 0:                // Начальное состояние
     j = 1;
     state = 1;
     break;

   case 1:                // Заполнение 0-й строки
     if (j <= N) {
        T[0][j] = 0;
        j++;
     } else {
        i = 0;
        state = 2;
     }
     break;

   case 2:                // Заполнение 0-го столбца
     if (i <= K) {
        T[i][0] = 1;
        i++;
     } else {
        i = 1;
        state = 3;
     }
     break;

   case 3:                // Переход к следующей строке
     if (i <= K) {
        j = 1;
        state = 4;
     } else {
        sum = N;
        state = 5;
     }
     break;
```

Продолжение листинга 4.

```
   case 4:                          // Заполнение очередной ячейки
     if (j <= N && j >= M[i - 1]) {
        T[i][j] = Math.max(T[i - 1][j], T[i - 1][j - M[i - 1]]);
         j++;
     } else if (j <= N && j < M[i - 1]) {
        T[i][j] = T[i - 1][j];
        j++;
     } else {
        i++;
        state = 3;
     }
     break;

   case 5:                          // Конец заполнения таблицы
     if (T[K][sum] == 1) {          // Решение найдено
        i = K;
        state = 6;                  // Делать обратный ход
     } else {
        result = false;
        state = 9;                  // Обратный ход не требуется
     }
     break;

   case 6:                          // Обратный ход
     if (i > 0) {
        state = 7;
     } else {
        result = true;
        state = 10;
     }
     break;

   case 7:                          // Поиск очередного предмета
     if (T[i][sum] != T[i - 1][sum]) {
        positions.add(new Integer(i - 1));
        sum -= M[i - 1];
        state = 8;
     } else {
        state = 8;
     }
     break;

   case 8:
     i—;
     state = 6;
     break;
   }
 }
```

Таким образом, в визуализаторе используются два оператора *switch*, первый из которых реализует автомат, а второй применяется в формирователе иллюстраций и комментариев.

Отметим, что формальный подход к построению логики визуализатора привел к тому, что отладка логики отсутствовала, а небольших изменений потребовала неформализуемая часть программы, связанная с

построением иллюстраций и комментариев. Полный исходный текст программы визуализатора приведен на сайте http://is.ifmo.ru/ в разделе «Визуализаторы».

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Изложенный метод демонстрирует эффективность стиля программирования от состояний [16], который совместно с объектно-ориентированным программированием позволяет говорить об «объектно-ориентированном программировании с явным выделением состояний» [10].

Отметим, что для рассмотренного примера переход от классически написанной программы к автоматной увеличил размер кода незначительно – всего на 15–20 %.

При этом после построения автомата программа визуализатора была написана в течение двух часов, в то время как при традиционном подходе путь от классической программы до визуализатора занимает обычно несколько дней из-за «неформального движения по этому пути». Кроме того, автоматный визуализатор практически не требовал отладки.

Для других классов алгоритмов увеличение объема кода автоматной реализации по сравнению с классической может достигать нескольких раз. Однако и в этом случае время написания визуализатора на основе предлагаемого подхода остается крайне незначительным при простой отладке.

Описанный подход может быть усовершенствован. Во-первых, вместо автоматов Мили могут применяться автоматы Мура. При этом в общем случае число состояний увеличивается, однако визуализация действий в вершинах является более естественной, чем на переходах. Во-вторых, этапы технологии, связанные с проектированием и реализацией, могут быть автоматизированы.

Таким образом, анализ зарубежных и отечественных Интернет-ресурсов в области построения визуализаторов, а также опыт их разработки и приема у студентов в рамках учебного процесса в 1999/2000 гг. на кафедре «Компьютерные технологии» СПбГУ ИТМО, позволяет утверждать, что предложенный подход является «прорывом» в области построения визуализаторов.

Работа выполнена в рамках научно–исследовательской работы «Разработка основных положений создания программного обеспечения систем управления на основе автоматного подхода», финансируемой Министерством образования Российской Федерации.

Литература

1. Интернет-школа программирования http://ips.ifmo.ru/

2. *Казаков М.А., Мельничук О.П., Парфенов В.Г.* Интернет школа программирования в СПбГИТМО (ТУ). Реализация и внедрение // Всероссийская научно-методическая конференция «Телематика'2002». СПб.: 2002. С. 308–309. (http://tm.ifmo.ru/tm2002/db/doc/get_thes.php?id=170)

3. *Столяр С.Е., Осипова Т.Г., Крылов И.П., Столяр С.С.* Об инструментальных средствах для курса информатики // II Всероссийская конференция «Компьютеры в образовании». СПб., 1994.

4. *Казаков М.А., Столяр С.Е.* Визуализаторы алгоритмов как элемент технологии преподавания дискретной математики и программирования // Международная научно-методическая конференция «Телематика'2000». СПб., 2000. С. 189–191.

5. Complete Collection of Algorithm Animations http://www.cs.hope.edu/~alganim/ccaa/

6. Interactive Data Structure Visualizations http://www.student.seas.gwu.edu/~idsv/idsv.html

7. Jawaa examples http://www.cs.duke.edu/csed/jawaa2/examples.html

8. Sorting Algorithms http://www.cs.rit.edu/~atk/Java/Sorting/sorting.html

9. A Testbed for Pedagogical Requirements in Algorithm Visualizations http://nibbler.tk.informatik.tu-darmstadt.de/publications/2002/TestbedPedReqinAV.pdf

10. *Шалыто А.А.* Технология автоматного программирования // Мир ПК. 2003, № 10. С. 74–78. http://is.ifmo.ru, раздел «Статьи».

11. *Гамма Э., Хэлм Р., Джонсон Р., Влиссидес Дж.* Приемы объектно-ориентированного проектирования. Паттерны проектирования. СПб.: Питер, 2001. 325 с.

12. *Шалыто А.А., Туккель Н.И.* Преобразование итеративных алгоритмов в автоматные // Программирование, 2002, № 5. С. 12–26. http://is.ifmo.ru, раздел «Статьи».

13. *Шалыто А.А.* SWITCH-технология. Алгоритмизация и программирование задач логического управления. СПб.: Наука, 1998. 628 с.

14. *Кормен Т., Лайзерсон Ч., Ривест Р.* Алгоритмы. Построение и анализ. М.: МЦМНО, 2000. 960 с.

15. *Седжвик Р.* Фундаментальные алгоритмы на C++. Анализ. Структуры данных. Сортировка. Поиск. М.: DiaSoft, 2001. 687 с.

16. *Непейвода Н.Н., Скопин И.Н.* Основания программирования. Ижевск: Научно-издат. центр «Регулярная хаотическая динамика», 2003. 896 с.

Казаков Матвей Алексеевич,
аспирант кафедры «Компьютерные технологии» СПбГУ ИТМО,

Шалыто Анатолий Абрамович,
доктор технических наук,
профессор кафедры «Компьютерные технологии» СПбГУ ИТМО.