УДК 681.3.06

State Machine — расширение языка *Java* для эффективной реализации автоматов

Н. Н. Шамгунов,
аспирант
Г. А. Корнеев,
аспирант
А. А. Шалыто,
д-р техн. наук, профессор
Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики

В данной статье предлагается новый язык объектно-ориентированного программирования State Machine*, являющийся расширением языка программирования* Java*. В язык вводится ряд синтаксических конструкций, позволяющих программировать с использованием понятий* автомат*,* состояние *и* событие*. Для обработки новых синтаксических конструкций разработан препроцессор, преобразующий код на языке* State Machine *в код на языке* Java*. При этом новые синтаксические конструкции преобразуются в код на языке* Java *в соответствии с предложенным ранее авторами паттерном* State Machine*.*

This paper presents a new Object-oriented programming language State Machine*. This language is an extension of the* Java*. This language presents a number of syntactic constructions that provides an ability to create programs with notion of* automaton*,* state *and* event*. Author developed a preprocessor that transforms* State Machine *code to Java code. This preprocessor transforms new syntactic constructions to* Java *code according to* State Machine *pattern which was presented by these authors earlier.*

Введение

В программировании часто возникает потребность в объектах, изменяющих свое поведение в зависимости от состояния. Обычно поведение таких объектов описывается при помощи конечных автоматов. Существуют различные паттерны проектирования для реализации указанных объектов, приведенные, например, в работах [1, 2]. В большинстве из этих паттернов или автоматы реализуются неэффективно, или сильно затруднено повторное использование компонентов автомата. Эти недостатки устранены в предложенном авторами паттерне *State Machine* [3].

В последнее время имеет место тенденция создания языков, ориентированных на предметную область [4]. В данном случае такой областью является автоматное программирование.

Одним из способов создания предметно-ориентированных языков является расширение существующих, например, за счет введения в них автоматных конструкций [5, 6].

В работе [7] был предложен язык *State* (расширяющий язык *C#* [8]), который предназначен для реализации объектов с изменяющимся поведением. Однако, конструкции, вводимые в этом языке, невозможно реализовать эффективно, поскольку в нем вызов метода объекта влечет за собой вычисление набора предикатов.

Зарекомендовавшим себя способом расширения языков программирования является встраивание в них поддержки паттернов проектирования. Например, в язык *C#* встроен паттерн *Observer* [1], широко используемый, например, для реализации графического интерфейса пользователя.

В данной работе предлагается язык программирования *State Machine*, расширяющий язык *Java* [9], который основывается на одноименном паттерне. В качестве основного языка был выбран язык программирования *Java*, так как для него существуют современные инструменты создания компиляторов, для которых есть не только документация, но и книга [11].

Статья состоит из пяти частей. В первой части описываются особенности предлагаемого языка *State Machine*. Во второй — приведен пример класса, реализующего сетевое соединение, и его реализация на предлагаемом языке. Третья часть содержит описание грамматики вводимых

синтаксических конструкций. В четвертой части рассматривается повторное использование кода, написанного на предлагаемом языке. Пятая часть содержит описание реализации препроцессора.

1. Особенности языка *State Machine*

В предлагаемом языке, как и в паттерне *State Machine*, основной идей является описание объектов, варьирующих свое поведение, в виде автоматов. В предложенном в работе [3] подходе разделяются классы, реализующие логику переходов (контексты), и классы состояний. Переходы инициируются состояниями путем уведомления контекста о наступлении событий. При этом в зависимости от события и текущего состояния, контекст устанавливает следующее состояние в соответствии с графом переходов.

Отметим, что если в паттерне *State* [1] следующее состояние указывается текущим, то в паттерне *State Machine* это выполняется путем уведомления класса контекста о наступлении события.

Логика переходов задается в терминах состояний и событий. При этом в языке *State Machine* полностью скрывается природа событий. Для пользователя они представляют собой сущности, принадлежащие классу состояния и участвующие в формировании таблицы переходов. Для описания логики переходов на этапе проектирования используются специальные графы переходов, предложенные в работе [3]. Эти графы состоят только из состояний и переходов, помеченных событиями.

По сравнению с языком *Java* в язык *State Machine* введены дополнительные конструкции, позволяющие описывать объекты с варьирующимся поведением в терминах автоматного программирования, определенных в работе [3]: *автоматов*, *состояний* и *событий*. Для описания автоматов и состояний в язык введены ключевые слова `automaton` и `state` соответственно, а для событий — ключевое слово `events`.

Отметим, что в предлагаемом языке, также как и паттерне *State Machine*, события являются основным способом воздействия объекта состояния на контекст. В указанном паттерне программист должен самостоятельно создавать объекты, представляющие события в виде статических переменных класса `Event`, в то время как в языке *State Machine* события введены как часть описания состояний. Это сделано для того, чтобы подчеркнуть их важность.

В паттерне *State Machine* реализация интерфейса автомата в контексте делегирует вызовы методов интерфейса текущему экземпляру состояния, причем делегирование реализовывалось вручную. В программе на языке *State Machine* это делать не требуется, так как препроцессор автоматически сгенерирует соответствующий код. Для этого используется технология *Reflection* [12]. Поэтому важно, чтобы препроцессор и генерируемый им код были реализованы на одном языке программирования. В частности, если бы язык расширял язык *C#* (как язык *State*), то и сам препроцессор необходимо было бы написать на языке *C#*.

Также как в паттерне *State Machine*, в предлагаемом языке состояние может делегировать дальнейшее выполнение действия автомату. При этом для ссылки на автомат используется ключевое слово `automaton` (также как и при описании автоматов).

Делегирование действия автомату требуется, например, при восстановлении после ошибки (соответствующий пример рассмотрен в разделе «Повторное использование»). В этом случае состояние, обрабатывающее ошибку, осуществляет действия по восстановлению и, в случае успеха, передает управление новому состоянию автомата.

Описание автоматов и состояний на языке *State Machine* помещаются в файлы с расширением `.sm`. Авторами разработан препроцессор, преобразующий код, написанный на предлагаемом языке, в код на языке *Java* (в файлы с расширением `.java`). При этом новые синтаксические конструкции преобразуются в соответствии с паттерном *State Machine*. Препроцессор генерирует код, содержащий параметры типа (`generics`) [10], что позволяет осуществлять проверку типов во время компиляции. Полученный код компилируется при помощи *Java*-компилятора, поддерживающего параметры типа.

2. Пример использования языка *State Machine*

В данном разделе особенности новых синтаксических конструкций языка *State Machine* рассматриваются на примере проектирования и реализации класса `Connection`, описанного в работе [3]. Приведем его краткое описание.

2.1. Описание примера

Требуется спроектировать класс `Connection`, представляющий сетевое соединение, имеющее два управляющих состояния: *соединено* и *разъединено*. Переход между ними происходит или при возникновении ошибки или посредством вызовов методов *установить соединение* (`connect`) и *разорвать соединение* (`disconnect`). В состоянии *соединено* может производиться получение (метод `receive`) и отправка (метод `send`) данных. В случае возникновения ошибки при передаче данных генерируется исключительная ситуация (`IOException`) и сетевое соединение переходит в состояние *разъединено*, в котором прием и отправка данных невозможны. При попытке осуществить передачу данных в этом состоянии объект также генерирует исключительную ситуацию.

Интерфейс, который требуется реализовать в классе `Connection`, выглядит следующим образом:

```
package connection;

import java.io.IOException;

public interface IConnection {
  public void connect() throws IOException;
  public void disconnect() throws IOException;
  public int receive() throws IOException;
  public void send(int value) throws IOException;
}
```

В работе [3] для реализации состояний *соединено* и *разъединено,* предложено использовать классы `ConnectedState` и `DisconnectedState` соответственно. Состояния уведомляют контекст о событиях: класс `ConnectedState` — о событиях `DISCONNECT` и `ERROR`, а класс `DisconctedState` — о событиях `CONNECT` и `ERROR`.

Для рассматриваемого примера на рис. 1 представлен граф переходов вида, используемого в предлагаемом подходе [3].

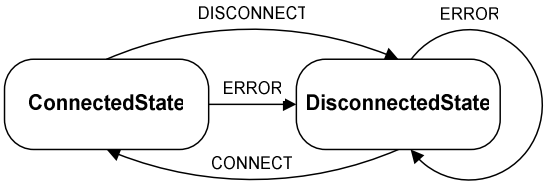

Рис. 1. Граф переходов для класса `Connection`

2.2. Описание состояний

Для описания состояния используется ключевое слово `state`. Приведем код состояния `ConnectedState` на языке *State Machine*:

```
package connection;

import java.io.IOException;

public state ConnectedState implements IConnection events DISCONNECT, ERROR {
  protected final Socket socket;

  public ConnectedState(Socket socket) {
    this.socket = socket;
  }

  public void connect() throws IOException {
  }

  public void disconnect() throws IOException {
    try {
      socket.disconnect();
    } finally {
      castEvent(DISCONNECT);
```

```
    }
  }

  public int receive() throws IOException {
    try {
      return socket.receive();
    } catch (IOException e) {
      castEvent(ERROR);
      throw e;
    }
  }

  public void send(int value) throws IOException {
    try {
      socket.send(value);
    } catch (IOException e) {
      castEvent(ERROR);
      throw e;
    }
  }
}
```

При описании состояния указан интерфейс автомата (`IConnection`) и список событий, которые это состояние может сгенерировать (`ERROR`, `DISCONNECT`). Также как в паттерне *State Machine*, контекст уведомляется о наступлении события вызовом метода `castEvent`. За исключением этого, состояния описываются аналогично классу на языке *Java*.

В предлагаемом языке состояние может реализовывать несколько интерфейсов. При этом первый из реализуемых состоянием интерфейсов будет считаться интерфейсом автомата.

Для реализации автомата `Connection`, необходимо также описать состояние `DisconnectedState`:

```
package connection;

import java.io.IOException;

public state DisconnectedState implements IConnection events CONNECT, ERROR {
  protected final Socket socket;

  public DisconnectedState(Socket socket) {
    this.socket = socket;
  }

  public void connect() throws IOException {
    try {
      socket.connect();
      castEvent(CONNECT);
    } catch (IOException e) {
      castEvent(ERROR);
      throw e;
    }
  }

  public void disconnect() throws IOException {
  }

  public int receive() throws IOException {
    throw new IOException("Connection is closed");
  }

  public void send(int value) throws IOException {
    throw new IOException("Connection is closed");
  }
}
```

2.3. Описание автомата

В языке *State Machine* автомат предназначен для определения набора состояний и переходов.

Для описания автомата применяется ключевое слово `automaton`. Приведем код на предлагаемом языке для автомата `Connection`, реализующий граф переходов (рис. 1):

```
package connection;

public automaton Connection implements IConnection {
  state DisconnectedState disconnected(CONNECT -> connected, ERROR ->
        disconnected);
  state ConnectedState connected(ERROR -> disconnected, DISCONNECT ->
        disconnected);
  public Connection(Socket socket) {
    disconnected @= new DisconnectedState(socket);
    connected @= new ConnectedState(socket);
  }
}
```

Обратим внимание, что класс автомата должен реализовывать ровно один интерфейс, который и считается интерфейсом автомата. В данном примере — это интерфейс `IConnection`.

Состояния (`connected` и `disconnected` классов `ConnectedState` и `DisconnectedState` соответственно) описываются при помощи ключевого слова `state`. Первое из состояний, описанных в автомате, является стартовым. В данном примере это состояние `disconnected`.

Переходы по событиям описываются в круглых скобках, после имени состояния. Для одного состояния переходы разделяются запятыми. Например, для состояния `connected` переходами являются `DISCONNECT -> disconnected` и `ERROR -> disconnected`. Первый из них означает, что при поступлении события `DISCONNECT` в состоянии `connected` автомат переходит в состояние `disconnected`.

В конструкторе `public Connection(Socket socket)` производится создание объектов состояний. Отметим, что состояния, входящие в автомат, должны реализовать интерфейс автомата. Инициализация объектов состояний производится при помощи нового оператора `@=`, специально введенного для этой цели в язык *State Machine*. Таким образом, оператор `connected @= new ConnectedState(socket)` означает инициализацию состояния `connected` новым объектом класса `ConnectedState`.

За исключением этого, автомат описывается аналогично классу на языке *Java*.

Отметим, что состояния автомата перечисляются, но не определяются в нем. Таким образом, одни и те же состояния могут использоваться для реализации различных автоматов.

2.4. Компиляция примера

Для генерации *Java*-кода из файлов с расширением `.sm` необходимо выполнить команду `java ru.ifmo.is.sml.Main <имя файла1> [,имя файла2,…,имя файлаN]`.

В результате будет сформирован одноименный файл с расширением `.java`. Отметим, что для генерации класса `Connection` необходимо предварительно скомпилировать *Java*-компилятором интерфейс `IConnection`. Это требуется для генерации реализации этого интерфейса в соответствующем классе.

Для полной компиляции данного примера необходимо выполнить следующую последовательность команд:

```
rem Компиляция интерфейса автомата
javac IConnection.java

rem Преобразование состояний
java ru.ifmo.is.sml.Main ConnectedState.sm DisconnectedState.sm

rem Компиляция классов состояний
javac ConnectedState.java DisconnectedState.java

rem Преобразование автомата Connection
java ru.ifmo.is.sml.Main Connection.sm

rem Компиляция автомата
javac Connection.java
```

В результате будут сформированы соответствующие *Java*-файлы, которые будут скомпилированы *Java*-компилятором `javac`.

Отметим, что для компиляции и работы полученных классов требуется только класс `AutomatonBase`, определенный в пакете `ru.ifmo.is.sml.runtime`.

3. Грамматика описания автоматов и состояний

Как отмечено выше, язык программирования *State Machine* основан на языке *Java*, в который вводятся синтаксические конструкции для поддержки программирования в терминах *автомат* и *состояние*.

В данном разделе приводятся грамматики в расширенной форме Бэкуса-Наура [13] для описания этих конструкций.

3.1. Грамматика описания состояния

```
state_decl          ::=  modifiers state
                         type
                         extends_decl?
                         implements_decl
                         events?
                         {
                         balanced
                         }
extends_decl        ::=  extends type
implements_decl     ::=  implements type (, type)*
type                ::=  id (. id)*
events              ::=  events id (, id)*
balanced            ::=  <сбалансированная по скобкам
                         последовательность>
modifiers           ::=  (abstract | final | strictfp | public)*
```

Здесь и далее терминальные символы выделены полужирным шрифтом, а нетерминальные — наклонным. Для краткости не раскрывается определение нетерминала *balanced*. Он соответствует сбалансированной относительно использования круглых и фигурных скобок последовательности терминальных и нетерминальных символов [14].

Состояние должно реализовывать не менее одного интерфейса. При этом первый из них считается интерфейсом автомата.

В коде состояния возможно делегирование методов текущему состоянию автомата. Для этого используется ключевое слово `automaton`, которое имеет тип интерфейса автомата.

Отметим, что в данной версии языка состояния не могут содержать параметры типа.

3.2. Грамматика описания автомата

```
automaton_decl      ::=  modifiers automaton
                         type
                         implements_decl
                         {
                         state_var_decl+ balanced
                         }
state_var_decl      ::=  state type id ( event_mapping (, event_mapping)* ) ;
event_mapping       ::=  id (, id)* -> id
```

Отметим, что интерфейс автомата должен совпадать у автомата и всех состояний, которые он использует. Это семантическое правило, поэтому оно не может быть выражено грамматикой.

Для инициализации состояний в конструкторе автомата применяется оператор `@=`. Слева от него указывается имя состояния, а справа — объект, реализующий это состояние. Тип указанного объекта должен в точности совпадать с типом, указанным при описании автомата.

В конструкторе все состояния автомата должны быть проинициализированы. При этом каждое — не более одного раза (как если бы они были обыкновенными переменными, описанными с модификатором `final`).

Использование оператора `@=` вне конструктора является ошибкой.

4. Повторное использование

Одним из преимуществ объектно-ориентированного программирования является возможность повторного использования кода. Эта возможность также поддерживается и в предлагаемом языке.

4.1. Допустимые способы повторного использования

В *Java* объектно-ориентированном программировании интерфейс объекта представляет собой некоторый контракт [18]. При этом возможно наследование класса, основываясь только на его контракте. Наследование от автомата как класса допустимо, но для расширения его поведения в наследнике необходимо изменять набор состояний и функцию переходов. Таким образом, пользователь не может воспринимать базовый автомат как черный ящик, поскольку доступ к реализации функции переходов базового автомата нарушает инкапсуляцию. Поэтому наследование автомата от класса или другого автомата в языке *State Machine* запрещено.

При этом предлагаемый язык допускает повторное использование классов состояний. Также как и в паттерне *State Machine*, это может быть сделано двумя способами.

1. Наследование состояний.
2. Использование классов состояний в нескольких автоматах.

В первом способе создаются наследники состояний, реализующие более широкий интерфейс по сравнению с базовым состоянием. Из полученных состояний конструируется новый автомат. Во втором способе одни и те же классы состояний используются для конструирования различных автоматов. В обоих случаях определяется новый автомат со своим набором состояний и переходов в нем. Также возможна комбинация этих подходов.

Ниже оба способа повторного использования классов состояний будут рассмотрены на примерах.

4.2. Описание примеров

Следуя работе [3], рассмотрим две модификации автомата `Connection`.

Автомат `PushBackConnection` предоставляет возможность возврата данных в объект соединения и их последующего считывания. Интерфейс этого автомата — `IPushBackConnection` расширяет интерфейс `IConnection`:

```
package push_back_connection;

import connection.IConnection;
import java.io.IOException;

public interface IPushBackConnection extends IConnection {
   void pushBack(int value) throws IOException;
}
```

Автомат `ResumableConnection` реализует следующую логику поведения класса, представляющего сетевое соединение. В случае возникновения ошибки при передаче данных автомат закрывает канал связи и генерирует исключительную ситуацию. При очередном вызове метода передачи данных производится попытка восстановить соединение.

Для описания такого поведения требуется ввести новое состояние — *ошибка*, переход в которое означает, что канал передачи данных закрыт из-за ошибки. Полученный граф переходов, используемого в предлагаемом подходе вида, изображен на рис. 2.

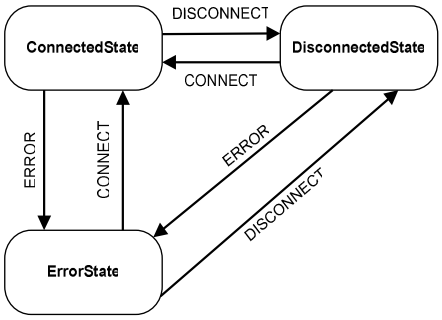

Рис. 2. Граф переходов автомата `ResumableConnection`

4.3. Наследование состояний

Для реализации автомата `PushBackConnection` необходимо описать два новых состояния `PushBackConnectedState` и `PushBackDisconnectedState`, унаследованных от состояний `ConnectedState` и `DisconnectedState` соответственно, Это позволяет обеспечить повторное использование кода состояний.

Приведем код состояния `PushBackConnectedState`:

```
package push_back_connection;

import connection.*;
import java.util.Stack;
import java.io.IOException;

public state PushBackConnectedState extends ConnectedState implements
         IPushBackConnection {
  private final Stack<Integer> stack = new Stack<Integer>();

  public PushBackConnectedState(Socket socket) {
    super(socket);
  }

  public int receive() throws IOException {
    return stack.empty() ? super.receive() : stack.pop();
  }

  public void pushBack(int value) {
    stack.push(value);
  }
}
```

Состояние `PushBackDisconnectedState` реализуется аналогично:

```
package push_back_connection;

import connection.*;
import java.io.IOException;

public state PushBackDisconnectedState extends DisconnectedState implements
         IPushBackConnection {
  public PushBackDisconnectedState(Socket socket) {
    super(socket);
  }

  public void pushBack(int value) throws IOException {
    throw new IOException("Connection is closed (pushBack)");
  }
}
```

Автомат `PushBackConnection` не наследует автомат `Connection`. Повторное использование кода достигается за счет применения наследников состояний `ConnectedState` и `DisconnectedState`.

```
package push_back_connection;
```

```
import connection.Socket;

public automaton PushBackConnection
  implements IPushBackConnection
  states
    PushBackConnectedState connected {
      ERROR -> disconnected,
      DISCONNECT -> disconnected
    },
    PushBackDisconnectedState disconnected {
      CONNECT -> connected,
      ERROR -> disconnected
    }
{
  public PushBackConnection(Socket socket) {
    connected @= new PushBackConnectedState(socket);
    disconnected @= new PushBackDisconnectedState(socket);
  }
}
```

4.4. Использование одного состояния в различных автоматах

Для реализации автомата `ResumableConnection` необходимо дополнительно реализовать состояние `ErrorState`, определяющее поведение в состоянии *ошибка*. В автомате также будут использованы состояния `ConnectedState` и `DisconnectedState`, разработанные для автомата `Connection`.

Приведем код состояния `ErrorState`:

```
package resumable_connection;

import connection.*;
import java.io.IOException;

public state ErrorState implements IConnection events CONNECT, DISCONNECT {
  protected final Socket socket;

  public ErrorState(Socket socket) {
    this.socket = socket;
  }

  public void connect() throws IOException {
    socket.connect();
    castEvent(CONNECT);
  }

  public void disconnect() throws IOException {
    castEvent(DISCONNECT);
  }

  public int receive() throws IOException {
    connect();
    return automaton.receive();
  }

  public void send(int value) throws IOException {
    connect();
    automaton.send(value);
  }
}
```

Теперь можно определить автомат `ResumableConnection`:

```
package resumable_connection;

import connection.*;
```

```
public automaton ResumableConnection implements IConnection {
  state DisconnectedState disconnected(CONNECT -> connected, ERROR -> error);
  state ConnectedState connected(DISCONNECT -> disconnected, ERROR -> error);
  state ErrorState error(DISCONNECT -> disconnected, CONNECT -> connected);

  private ResumableConnection() {
    Socket socket = new Socket();

    connected @= new ConnectedState(socket);
    disconnected @= new DisconnectedState(socket);
    error @= new ErrorState(socket);
  }
}
```

Из приведенных примеров следует, что состояния могут быть использованы повторно.

5. Реализация препроцессора

Для реализации препроцессора были использованы инструменты создания компиляторов *JLex* и *Cup*, описанные в работе [11], которые распространяются по лицензии *open source license* [15]. Первый из них предназначен для построения лексических анализаторов, а второй — синтаксических [14].

В результате работы препроцессора производится преобразование переданных ему в качестве параметров файлов с расширением `.sm`, содержащих код автоматов и состояний на языке *State Machine*, в файлы с расширением `.java`. В процессе преобразования теряется исходное форматирование программы и комментарии. Однако это не является недостатком, поскольку получаемый код является промежуточным и не предназначен для редактирования вручную.

Препроцессор (в открытых кодах) можно скачать по адресу http://is.ifmo.ru, раздел *Статьи*. Для работы препроцессора необходимо также установить инструменты создания компиляторов *JLex* и *Cup*, доступные по адресу [16].

5.1. Генерация *Java*-классов по описанию состояний

Каждое состояние, описанное на языке *State Machine*, преобразуется в одноименный класс на языке *Java*. При этом все методы и их реализация переходят в генерируемый класс.

В случае если одно состояние расширяет другое, то генерируемый класс будет расширять соответствующий ему *Java*-класс. В противном случае, генерируемый класс будет расширять класс `AutomatonBase.StateBase`, входящий в пакет `ru.ifmo.is.sml.runtime`.

Указанный класс является базовым для всех классов состояний. В нем определено поле `automaton`, позволяющее вызывать методы автомата, в котором содержится данный экземпляр состояния. Отметим, что в языке *StateMachine* `automaton` является ключевым словом. Таким образом, конфликтов с полями, определенными пользователем, не возникает.

В классе `StateBase` также реализован метод `castEvent`, который состояния вызывают для уведомления автомата о наступлении события. Для реализации событий используется класс `AutomatonBase.StateBase.Event`.

Рассмотрим код, сгенерированный препроцессором для состояния `ConnectedState`. Отметим, что здесь и ниже форматирование сгенерированного кода и вставка комментариев выполнены вручную:

```
package connection;

import java.io.IOException;

public class ConnectedState<AI extends IConnection>
  // Базовый класс, для всех состояний
  extends ru.ifmo.is.language.AutomatonBase.StateBase<AI>
  implements IConnection {
  // События преобразуются в набор статических переменных
  public final static Event DISCONNECT = new Event(ConnectedState.class,
         "DISCONNECT", 0);
  public final static Event ERROR = new Event(ConnectedState.class, "ERROR",
         1);

  // В остальном -- без изменений
```

```
  protected final Socket socket;

  public ConnectedState(Socket socket) {
    this.socket = socket;
  }

  public void connect() throws IOException {}

  public void disconnect() throws IOException {
    try {
      socket.disconnect();
    } finally {
      castEvent(DISCONNECT);
    }
  }

  public int receive() throws IOException {
    try {
      return socket.receive();
    } catch (IOException e) {
      castEvent(ERROR);
      throw e;
    }
  }

  public void send(int value)throws IOException {
    try {
      socket.send(value);
    } catch (IOException e) {
      castEvent(ERROR);
      throw e;
    }
  }
}
```

Обратим внимание, что в этом коде, также как в паттерне *State Machine*, для представления событий используются статические переменные. При создании экземпляров событий (класса `Event`) первыми двумя параметрами конструктора являются ссылка на класс, определивший событие и имя события, которые могут быть использованы для автоматического протоколирования [17]. Третий параметр необходим для эффективной реализации графов переходов. Он представляет собой порядковый номер события в состоянии, отсчитываемый от нуля. При этом учитываются события, определенные в базовом состоянии, которым присваиваются меньшие номера.

5.2. Генерация *Java*-классов по описанию автоматов

Автомат в языке *State Machine* также преобразуется в одноименный класс, унаследованный от класса `AutomatonBase`, определенного в пакете `ru.ifmo.is.sml.runtime`.

Препроцессор автоматически генерирует методы, реализующие интерфейс автомата. В каждом из них вызывается соответствующий метод текущего состояния. Такой метод гарантированно присутствует в состоянии, поскольку автомат и состояние реализуют интерфейс автомата.

Для автомата `Connection` препроцессор генерирует следующий *Java*-класс:

```
package connection;

import java.io.IOException;
import ru.ifmo.is.sml.runtime.AutomatonBase;

public class Connection
  extends AutomatonBase<IConnection>
  implements IConnection
{
  private final static int[][] $TRANSITION_TABLE
    = new int[][] {
      {
        /* CONNECT     */ 0, /* connected */
        /* ERROR       */ 1, /* disconnected */
      },
      {
```

```
            /* DISCONNECT  */ 1, /* disconnected */
            /* ERROR       */ 1, /* disconnected */
        },
      };

    public Connection(Socket socket) {
      super(new IConnection[2/*количество состояний*/]);
      {
        DisconnectedState<IConnection> $state = new
          DisconnectedState<IConnection>(socket);
        state(0/*disconnected*/, $state, $state, this,
          $TRANSITION_TABLE[0/*disconnected*/]);
      }
      {
        ConnectedState<IConnection> $state = new
          ConnectedState<IConnection>(socket);
        state(1/*connected*/, $state, $state, this,
          $TRANSITION_TABLE[1/*connected*/]);
      }
    }

    // Делегирование методов интерфейса автомата
    public void connect() throws IOException { state.connect(); }
    public void disconnect() throws IOException { state.disconnect(); }
    public int receive() throws IOException { return state.receive(); }
    public void send(int value) throws IOException { state.send(value); }
}
```

Отметим, что использование имени `state` для поля, хранящего текущее состояние, не приводит к неоднозначности, так как в предлагаемом языке оно является ключевым словом. По этой же причине метод, связывающий состояние с автоматом, также называется `state`. Интересной особенностью является необходимость дважды передавать в этот метод ссылку на состояние (`state`), а так же ссылку на сам автомат (`this`). Это связано с невозможностью на языке *Java* определить класс, унаследованный от своего параметра типа.

На основе переходов, заданных в описании автомата, препроцессор строит таблицу переходов, хранящуюся в статическом поле `$TRANSITION_TABLE`. Таблица представляет собой массив массивов целых чисел. В приведенном коде таблица переходов является матрицей `2x2`. Однако, в общем случае, она матрицей не является, поскольку состояния могут порождать разное количество событий.

Строки таблицы переходов передаются объектам состояний при помощи вызова метода `init`, входящего в класс `AutomatonBase`. Это позволяет представить функцию уведомления о событии (`castEvent`) в компактном виде.

При такой реализации для осуществления каждого перехода требуется фиксированное время, существенно меньшее, чем в реализации, предложенной в работе [3]. Таким образом, базовый класс для всех автоматов выглядит следующим образом:

```
package ru.ifmo.is.sml.runtime;

public abstract class AutomatonBase<AI> {
  private final AI[] states;
  protected AI state;

  public AutomatonBase(AI[] states) {
    this.states = states;
  }

  protected void state(int index, StateBase<AI> state, AI stateI, AI automaton,
          int[] transitions) {
    states[index] = stateI;
    state.base = this;
    state.automaton = automaton;
    state.transitions = transitions;
    if (index == 0) this.state = states[index];
  }

  public static abstract class StateBase<AI> {
    protected AI automaton;
```

```
        private AutomatonBase<AI> base;
        private int[] transitions;

        protected void castEvent(Event event) {
          base.state = base.states[transitions[event.index]];
        }

        public final static class Event {
          private final Class state;
          private final String name;
          private final int index;

          public Event(Class state, String name, int index) {
            this.state = state;
            this.name = name;
            this.index = index;
          }
        }
      }
    }
```

Обратим внимание, что класс `AutomatonBase` содержит класс `StateBase` как вложенный.

Выводы

Предложенный язык программирования *State Machine* обладает следующими достоинствами.

1. Позволяет писать программы в терминах автоматного программирования.
2. Непосредственно поддерживает одноименный паттерн.
3. Повышает компактность и облегчает восприятие кода, по сравнению с реализацией паттерна *State Machine* непосредственно на языке *Java*.
4. Обеспечивает более быстрое выполнение переходов по сравнению с реализацией паттерна *State Machine*, приведенного в работе [3].
5. Предложенный синтаксис позволяет распознавать паттерн в коде, в том числе и автоматически, что может быть использовано при построении диаграмм и документации.

Литература

1. **Gamma E., Helm R., Johnson R., Vlissides J.** Design Patterns. MA: Addison-Wesley Professional, 2001. — P.395 (**Гамма Э., Хелм Р., Джонсон Р., Влассидес Дж.** Приемы объектно-ориентированного проектирования. Паттерны проектирования. СПб.: Питер, 2001. — 368 с).
2. **Adamczyk P.** The Anthology of the Finite State Machine Design Patterns. http://jerry.cs.uiuc.edu/~plop/plop2003/Papers/Adamczyk-State-Machine.pdf
3. **Шамгунов Н. Н., Корнеев Г А. Шалыто А. А.** Паттерн *State Machine* для объектно-ориентированного проектирования автоматов // Информационно-управляющие системы. 2004. № 5, с.
4. **Эндрю Х., Дэвид Т.** Программист-прагматик. М.: Лори, 2004. — 288 с.
5. Язык прикладного программирования STL 1.0. Руководство пользователя (v1.0.13b). http://lmt-automation.ifmo.ru/pdfs/stlguide_1_0_13b.pdf
6. **Ваганов С. А.** FloraWare — ускорить разработку приложений. http://www.softcraft.ru/paradigm/oop/flora/index.shtml
7. **Шамгунов Н. Н., Шалыто А. А.** Язык автоматного программирования с компиляцией в *Microsoft CLR*. // Microsoft Research Academic Days in St. Petersburg, 2004.
8. http://msdn.microsoft.com/vcsharp/team/language/default.aspx C# Language.
9. **Gosling J., Joy B., Steele G., Bracha G.** The Java Language Specification. http://java.sun.com/docs/books/jls/second_edition/html/j.title.doc.html.
10. Generics. http://java.sun.com/j2se/1.5.0/docs/guide/language/generics.html
11. **Appel A. W.** Modern Compiler Implementation in Java. — NY, Cambridge, 1998. — 512 с.
12. **Green A.** Trail: The Reflection API. http://java.sun.com/d1ocs/books/tutorial/reflect/
13. **Naur P. et al**. Revised Report on the Algorithmic Language ALGOL 60 //Communications of the ACM. 1960. Vol. 3. No.5, pp. 299-314.

14. **Aho A., Sethi R., Ullman J.** Compilers: Principles, Techniques and Tools. MA: Addison-Wesley, 1985, 500 p. (**Ахо А., Сети Р., Ульман Дж.** Компиляторы: принципы, технологии и инструменты. М.: Вильямс, 2001. —768 с).
15. *Open Source License*. http://www.opensource.org/licenses/historical.php
16. http://www.cs.princeton.edu/~appel/modern/java/ Modern Compiler Implementation in Java.
17. **Шалыто А. А., Туккель Н. И.** SWITCH-технология — автоматный подход к созданию программного обеспечения «реактивных» систем // Программирование. 2001. № 5. С. 45-62. (http://is.ifmo.ru, раздел «Статьи»).
18. *Object-Oriented Programming Concepts* http://java.sun.com/docs/books/tutorial/java/concepts/