

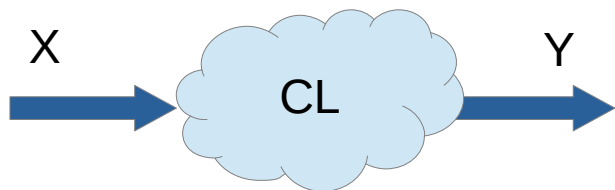
Основы проектирования ЭКБ

Занятие N+1

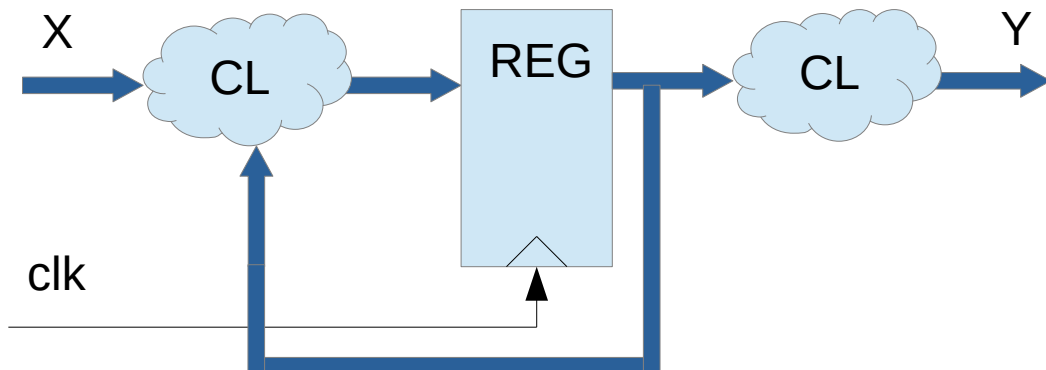
Конечные автоматы
(finite state machine, FSM)

Цифровые схемы

Комбинационная схема



Цифровые автоматы с памятью



Описание автоматов

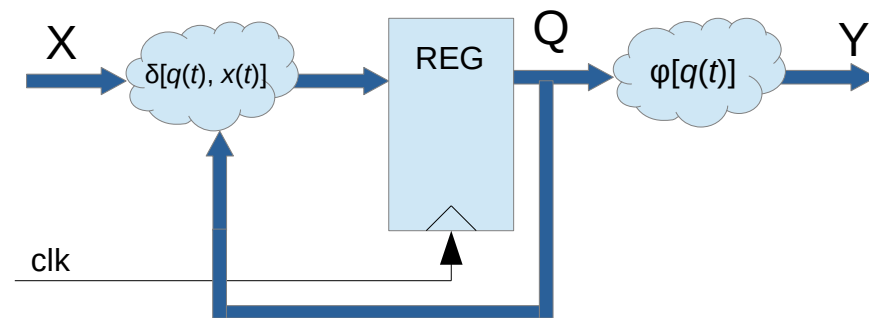
Входной набор: $X = \{x_1, x_2, x_3, \dots, x_n\}$

Выходной набор: $Y = \{y_1, y_2, y_3, \dots, y_m\}$

Множество конечных состояний: $Q = \{q_1, q_2, q_3, \dots, q_k\}$

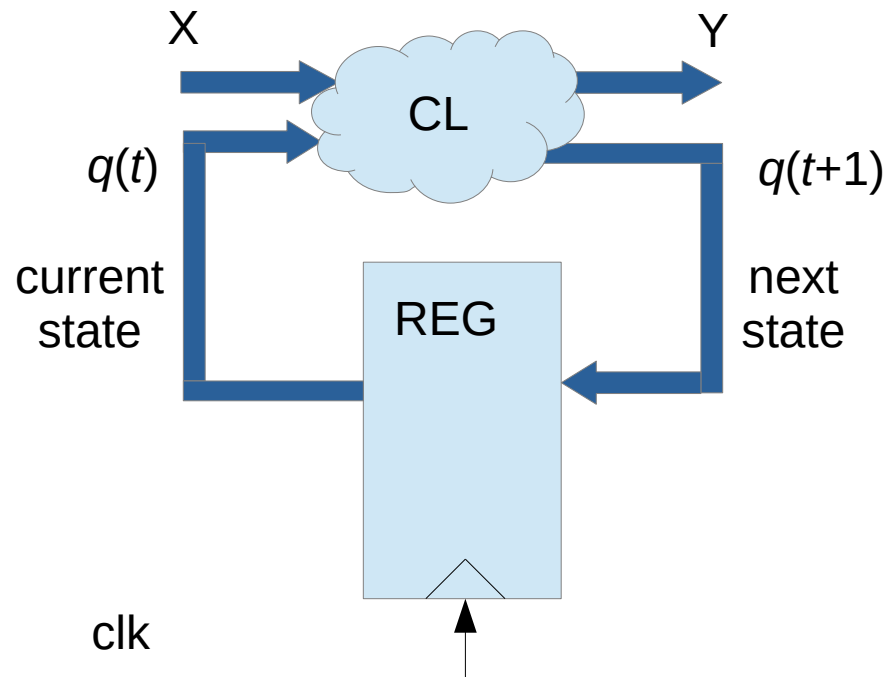
Функция состояний: $q(t+1) = \delta[q(t), x(t)]$

Функция выходов: $y(t+1) = \phi[q(t)]$



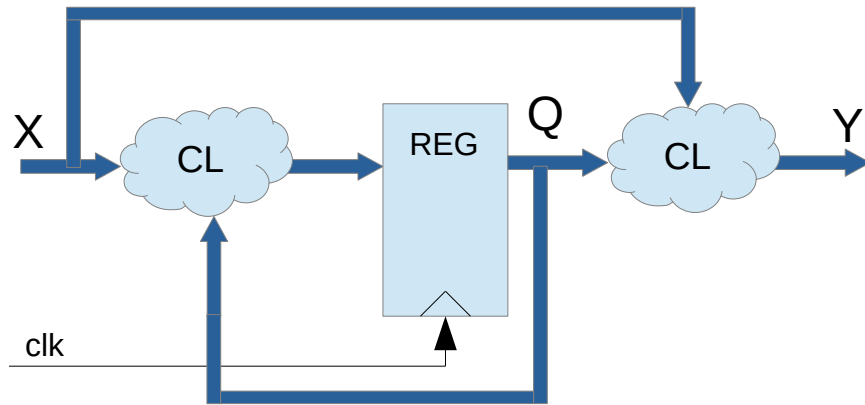
Описание $\{X, Y, Q, \delta, \phi, q_1\}$

Автомат Хаффмана



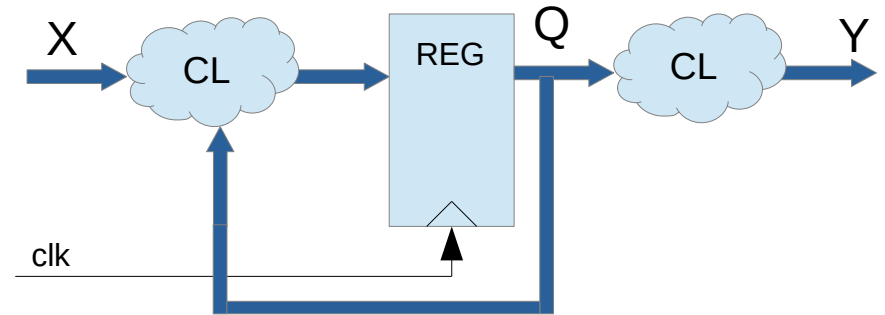
Автоматы Мили и Мура

Автомат первого рода
(автомат Мили)



$$y(t) = \varphi[q(t), x(t)]$$

Автомат второго рода
(автомат Мура)



$$y(t) = \varphi[q(t)]$$

Описание автоматов

Пусть есть

- $X = \{x_1, x_2, x_3\}$
- $Q = \{q_1, q_2, q_3, q_4\}$
- $Y = \{y_1, y_2, y_3\}$

Описать автомат Мили и Мура

Описание переходов автомата Мили

Таблица переходов

	q_1	q_2	q_3	q_4
x_1	q_2	q_4	q_4	q_2
x_2	q_1	q_3	q_1	q_1
x_3	q_3	q_2	q_1	q_3

Таблица выходов

	q_1	q_2	q_3	q_4
x_1	y_1	y_2	y_3	y_4
x_2	y_4	y_4	y_3	y_1
x_3	y_1	y_1	y_2	y_4

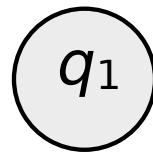
Описание переходов автомата Мили

Таблица переходов

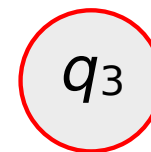
	q_1	q_2	q_3	q_4
x_1	q_2	q_4	q_4	q_2
x_2	q_1	q_3	q_1	q_1
x_3	q_3	q_2	q_1	q_3

Таблица выходов

	q_1	q_2	q_3	q_4
x_1	y_1	y_2	y_3	y_4
x_2	y_4	y_4	y_3	y_1
x_3	y_1	y_1	y_2	y_4



вершина



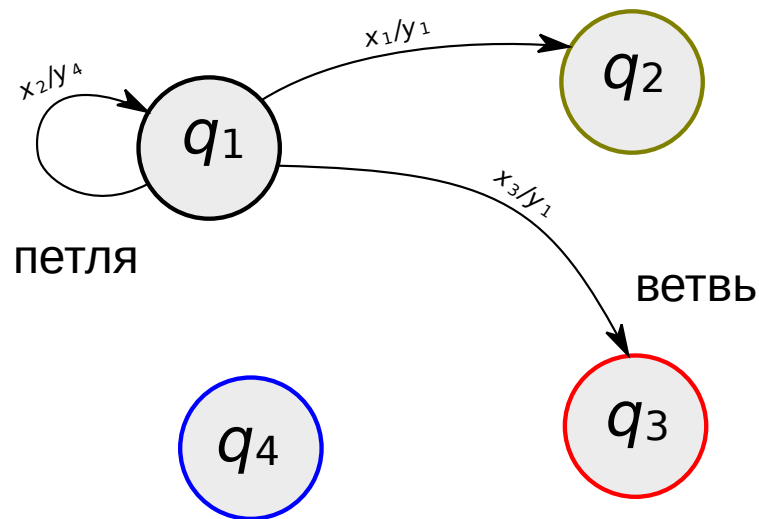
Описание переходов автомата Мили

Таблица переходов

	q_1	q_2	q_3	q_4
x_1	q_2	q_4	q_4	q_2
x_2	q_1	q_3	q_1	q_1
x_3	q_3	q_2	q_1	q_3

Таблица выходов

	q_1	q_2	q_3	q_4
x_1	y_1	y_2	y_3	y_4
x_2	y_4	y_4	y_3	y_1
x_3	y_1	y_1	y_2	y_4



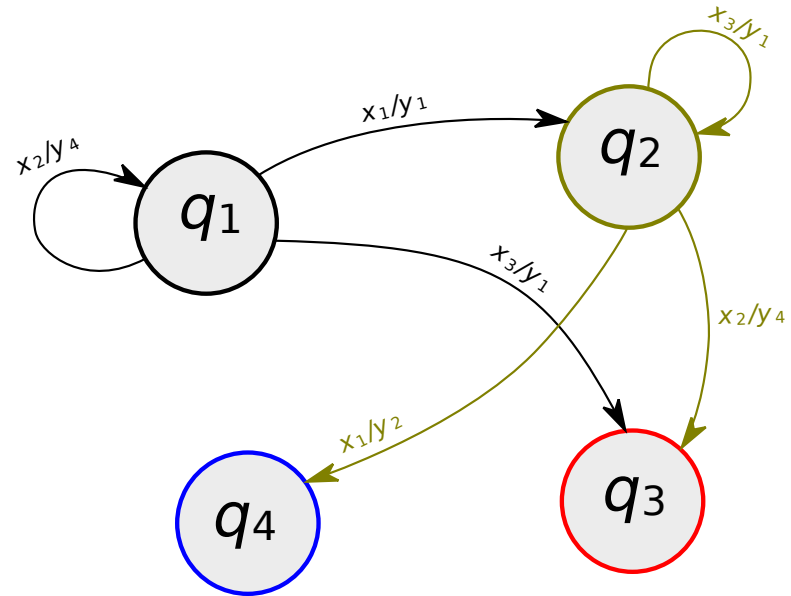
Описание переходов автомата Мили

Таблица переходов

	q_1	q_2	q_3	q_4
x_1	q_2	q_4	q_4	q_2
x_2	q_1	q_3	q_1	q_1
x_3	q_3	q_2	q_1	q_3

Таблица выходов

	q_1	q_2	q_3	q_4
x_1	y_1	y_2	y_3	y_4
x_2	y_4	y_4	y_3	y_1
x_3	y_1	y_1	y_2	y_4



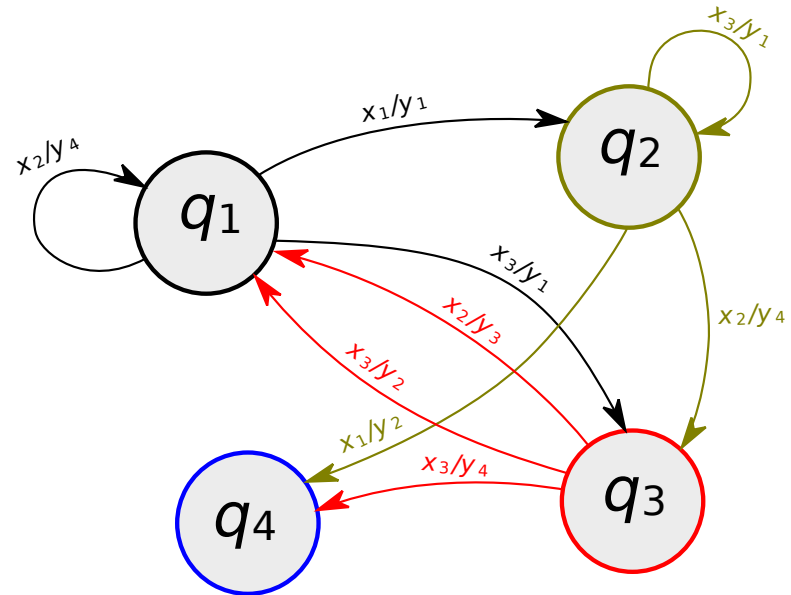
Описание переходов автомата Мили

Таблица переходов

	q_1	q_2	q_3	q_4
x_1	q_2	q_4	q_4	q_2
x_2	q_1	q_3	q_1	q_1
x_3	q_3	q_2	q_1	q_3

Таблица выходов

	q_1	q_2	q_3	q_4
x_1	y_1	y_2	y_3	y_4
x_2	y_4	y_4	y_3	y_1
x_3	y_1	y_1	y_2	y_4



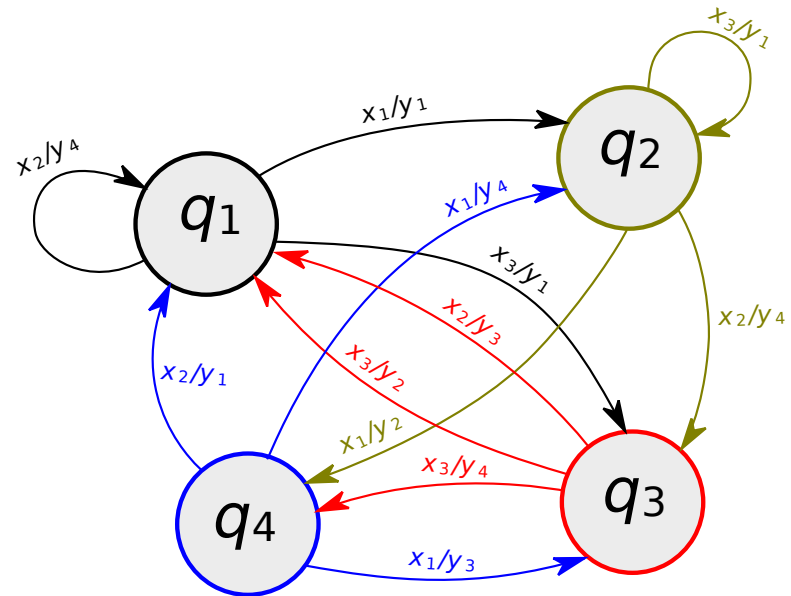
Описание переходов автомата Мили

Таблица переходов

	q_1	q_2	q_3	q_4
x_1	q_2	q_4	q_4	q_2
x_2	q_1	q_3	q_1	q_1
x_3	q_3	q_2	q_1	q_3

Таблица выходов

	q_1	q_2	q_3	q_4
x_1	y_1	y_2	y_3	y_4
x_2	y_4	y_4	y_3	y_1
x_3	y_1	y_1	y_2	y_4



Описание переходов автомата Мура

Начальное состояние

	q_1	q_2	q_3	q_4
x_1	q_2	q_4	-	q_2
x_2	q_1	q_3	q_1	-
x_3	q_3	-	-	q_3

Что
действует

Куда попадаем

Описание переходов автомата Мура

Начальное состояние

	q_1 / y_2	q_2 / y_1	q_3 / y_1	q_4 / y_3
x_1	q_2	q_4	-	q_2
x_2	q_1	q_3	q_1	-
x_3	q_3	-	-	q_3

Что
действует

Куда попадаем

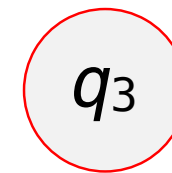
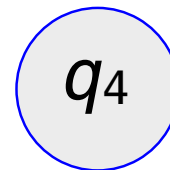
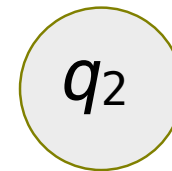
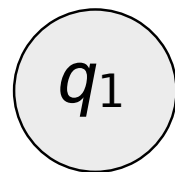
Описание переходов автомата Мура

Начальное состояние

	q_1 / y_2	q_2 / y_1	q_3 / y_1	q_4 / y_3
x_1	q_2	q_4	-	q_2
x_2	q_1	q_3	q_1	-
x_3	q_3	-	-	q_3

Что
действует

Куда попадаем



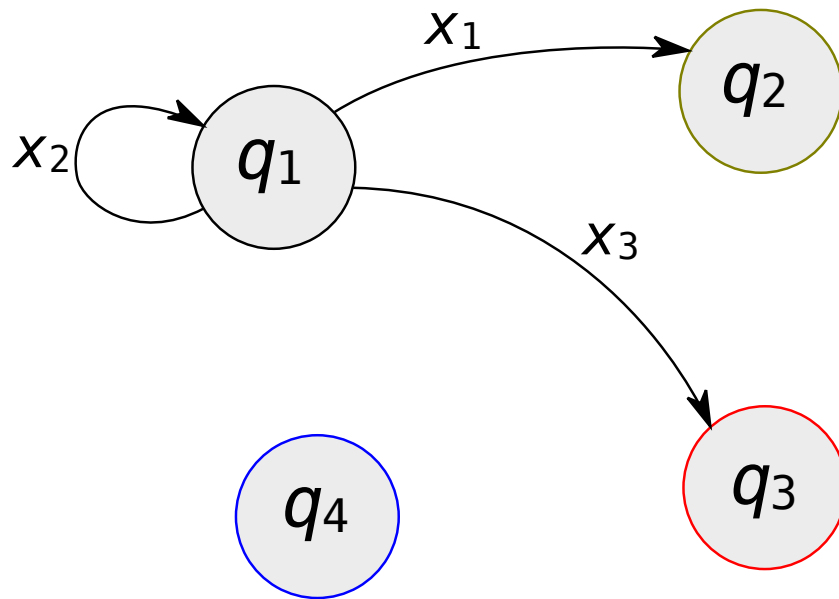
Описание переходов автомата Мура

Начальное состояние

	q_1 / y_2	q_2 / y_1	q_3 / y_1	q_4 / y_3
x_1	q_2	q_4	-	q_2
x_2	q_1	q_3	q_1	-
x_3	q_3	-	-	q_3

Что
действует

Куда попадаем



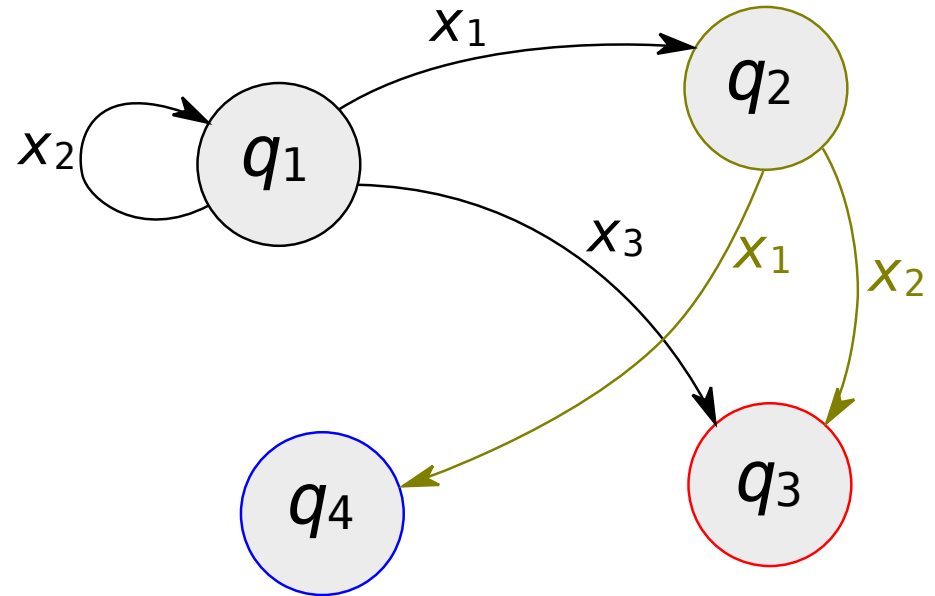
Описание переходов автомата Мура

Начальное состояние

	q_1 / y_2	q_2 / y_1	q_3 / y_1	q_4 / y_3
x_1	q_2	q_4	-	q_2
x_2	q_1	q_3	q_1	-
x_3	q_3	-	-	q_3

Что
действует

Куда попадаем



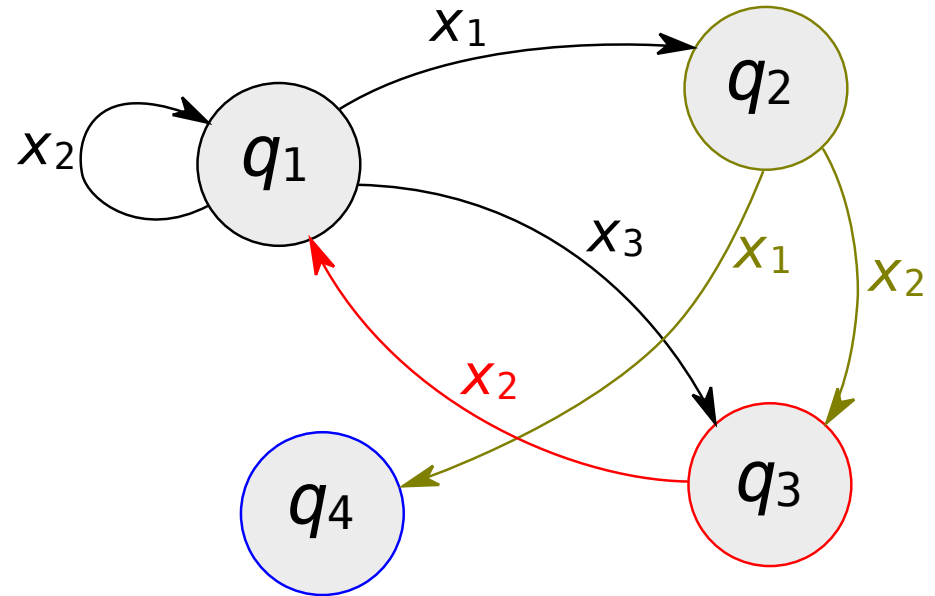
Описание переходов автомата Мура

Начальное состояние

	q_1 / y_2	q_2 / y_1	q_3 / y_1	q_4 / y_3
x_1	q_2	q_4	-	q_2
x_2	q_1	q_3	q_1	-
x_3	q_3	-	-	q_3

Что
действует

Куда попадаем



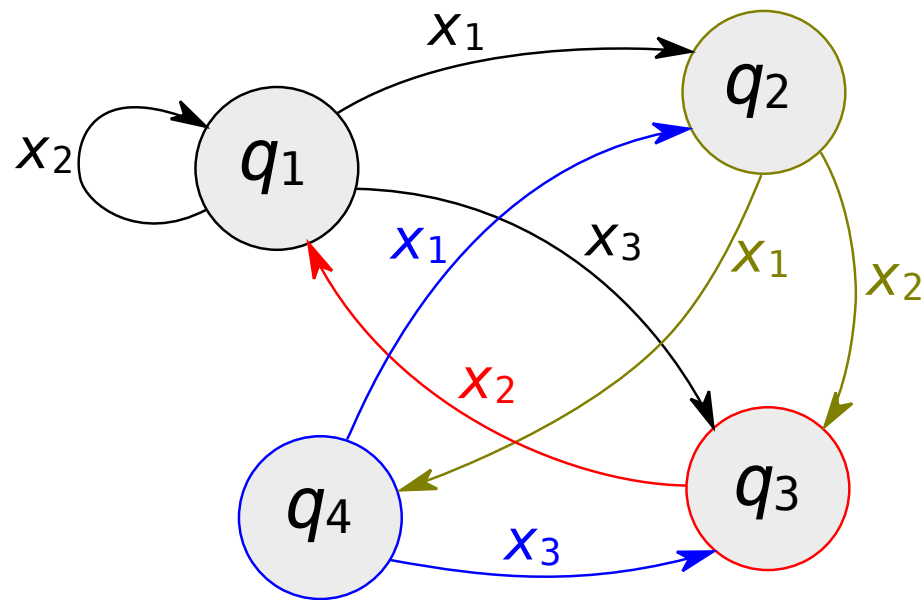
Описание переходов автомата Мура

Начальное состояние

	q_1 / y_2	q_2 / y_1	q_3 / y_1	q_4 / y_3
x_1	q_2	q_4	-	q_2
x_2	q_1	q_3	q_1	-
x_3	q_3	-	-	q_3

Что
действует

Куда попадаем



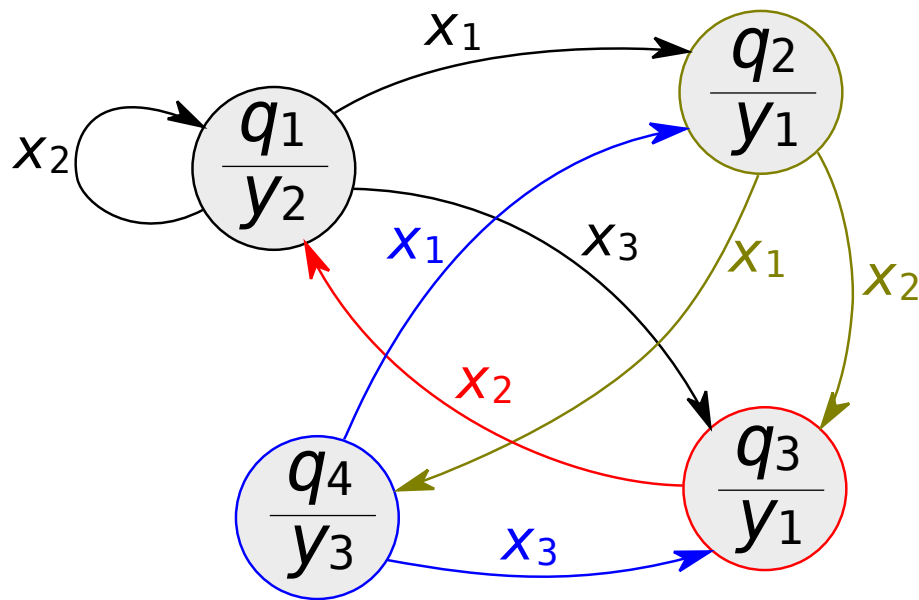
Описание переходов автомата Мура

Начальное состояние

	q_1 / y_2	q_2 / y_1	q_3 / y_1	q_4 / y_3
x_1	q_2	q_4	-	q_2
x_2	q_1	q_3	q_1	-
x_3	q_3	-	-	q_3

Что
действует

Куда попадаем

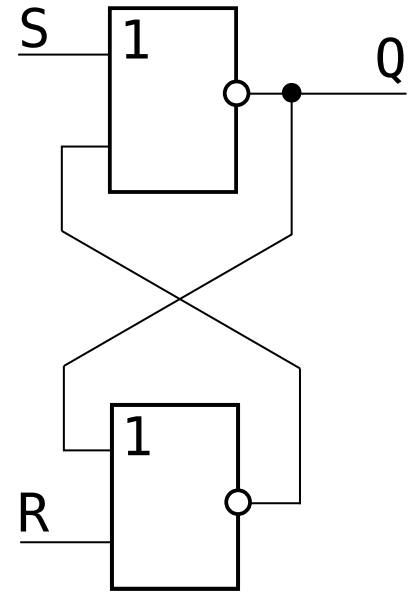


RS-триггер

Входное множество $X = \{(SR)_i\} = \{00, 01, 10\}$

Состояния автомата $Q = \{0, 1\}$

Выходное множество $Y = Q = \{0, 1\}$



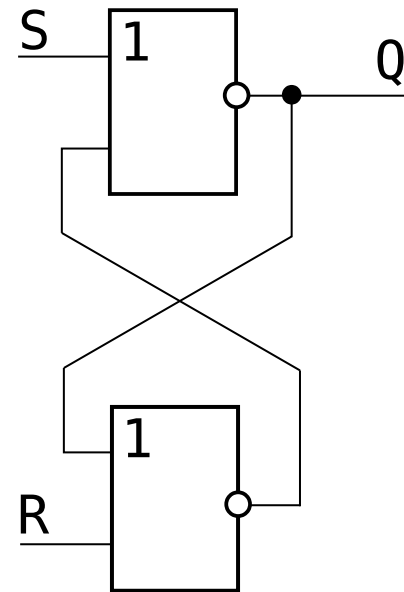
RS-триггер (автомат Мура)

Входное множество $X = \{(SR)_i\} = \{00, 01, 10\} = \{x_1, x_2, x_3\}$

Состояния автомата $Q = \{0, 1\} = \{q_1, q_2\}$

Выходное множество $Y = Q = \{0, 1\} = \{y_1, y_2\}$

	$q_1 (0)$	$q_2 (1)$
$x_1 (00)$	$q_1 (0)$	$q_2 (1)$
$x_2 (01)$	$q_1 (0)$	$q_1 (0)$
$x_3 (10)$	$q_2 (1)$	$q_2 (1)$

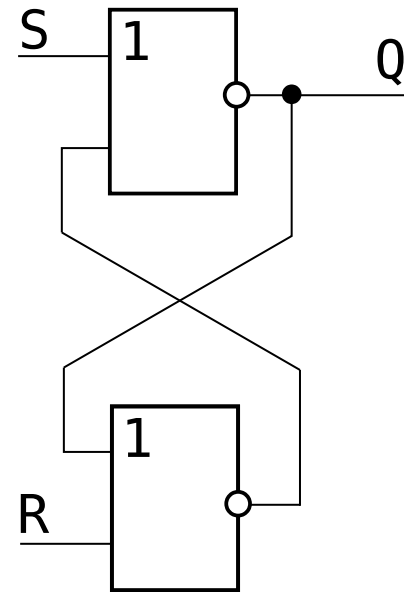


RS-триггер (автомат Мура)

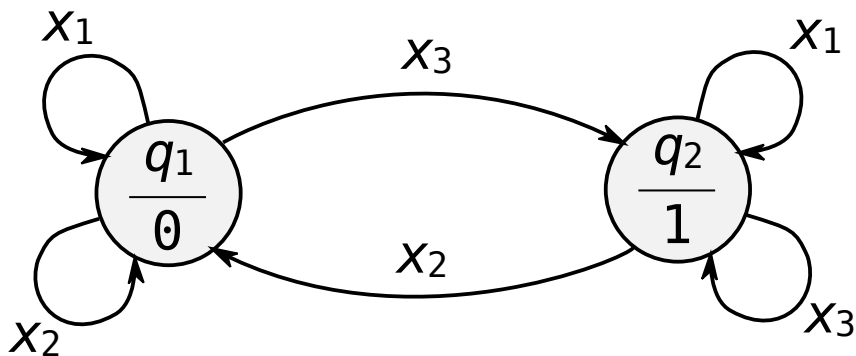
Входное множество $X = \{(SR)_i\} = \{00, 01, 10\} = \{x_1, x_2, x_3\}$

Состояния автомата $Q = \{0, 1\} = \{q_1, q_2\}$

Выходное множество $Y = Q = \{0, 1\} = \{y_1, y_2\}$



	q_1 (0)	q_2 (1)
x_1 (00)	q_1 (0)	q_2 (1)
x_2 (01)	q_1 (0)	q_1 (0)
x_3 (10)	q_2 (1)	q_2 (1)



Кодирование состояний

- **Двоичное** {000, 001, 010, 011, 100, 101, 110, 111}
- **Унарное («one-hot»)** {00000001, 00000010, 00000100, 00001000, 00010000, 00100000, 01000000, 10000000, 00000000}
- **Код Грэя** {000, 001, 011, 010, 110, 111, 101, 100}
- **Код Джонсона** {0000, 0001, 0011, 0111, 1111, 1110, 1100, 1000, 0000}
- и так далее

Safe и Unsafe FSM

// unsafe FSM

case(state)

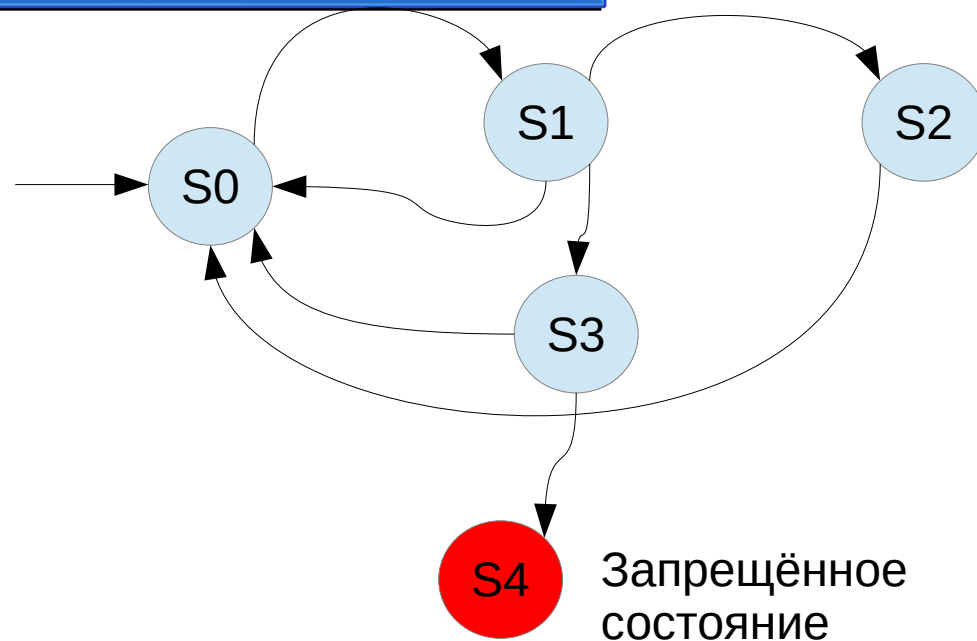
S0 : ... ;

S1 : ... ;

S2 : ... ;

S3 : ... ;

endcase



Safe и Unsafe FSM

```
// safe FSM
```

case(state)

S0 : ... ;

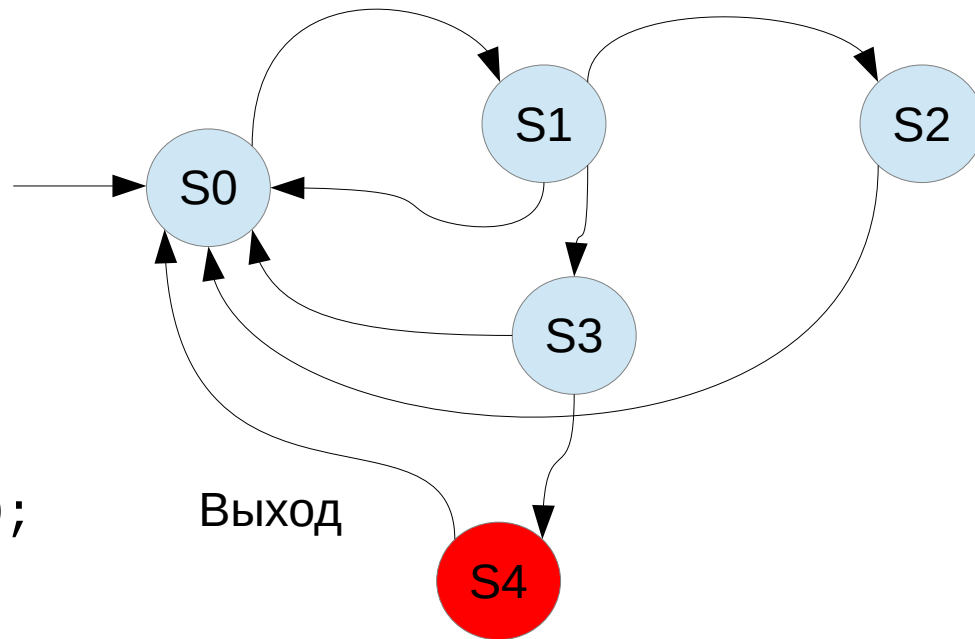
S1 : ... ;

S2 : ... ;

S3 : ... ;

```
default : nextstate <= S0;
```

endcase



Счётчик (не FSM)

```
module cnt3 (clk, rstn, qo);
```

```
input clk, rstn;
```

```
output reg [2:0] qo;
```

```
always @ (posedge clk, negedge rstn)
```

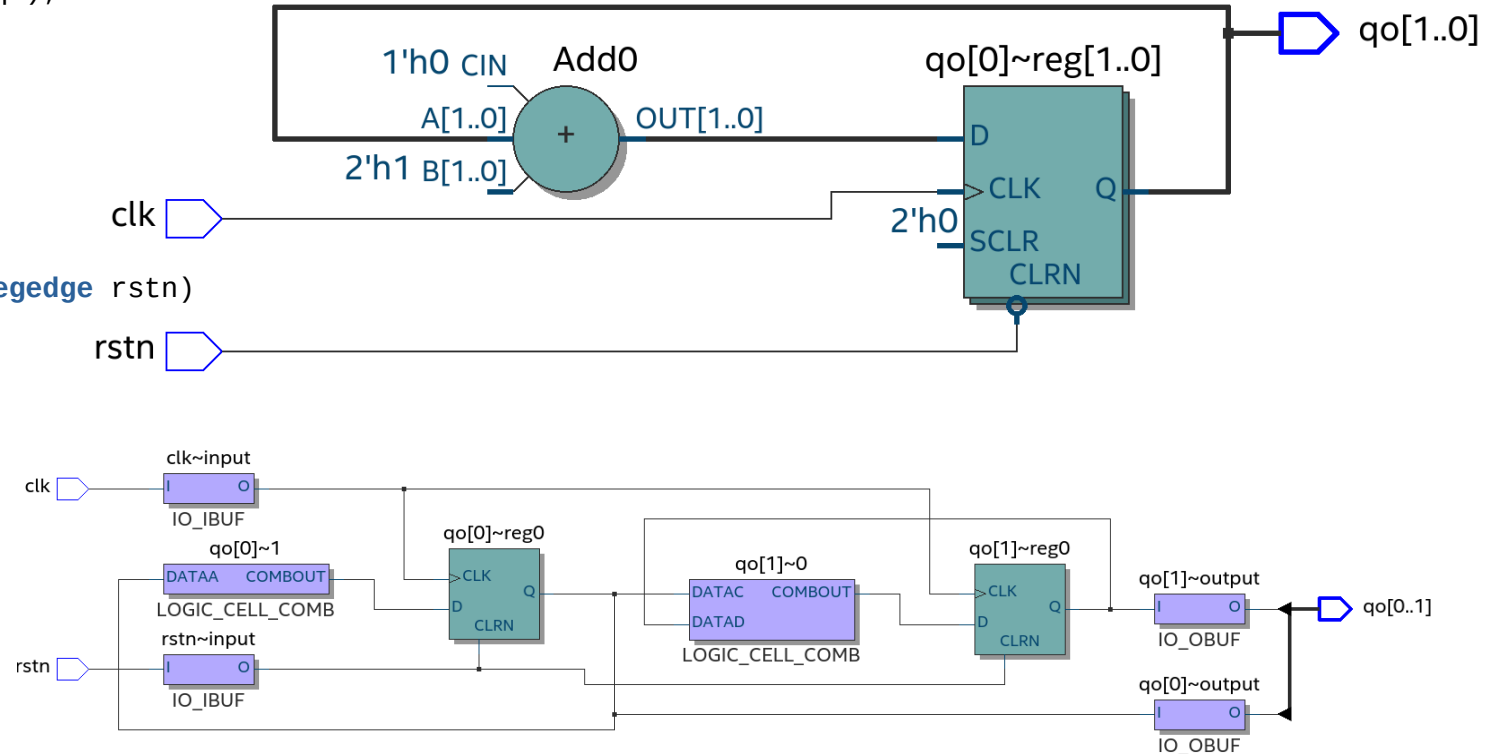
```
if ( !rstn )
```

```
    qo <= 2'b00;
```

```
else
```

```
    qo <= qo + 1'b1;
```

```
endmodule
```



Счётчик (FSM)

```
module cnt2 (clk, rstn, qo);
```

```
  localparam NULL = 0,
```

```
          S1  = 1,
```

```
          S2  = 2,
```

```
          S3  = 3;
```

```
  input clk, rstn;
```

```
  output reg [1:0] qo;
```

```
  reg [1:0] state, nextstate;
```

```
  //функция переходов
```

```
  always @ ( posedge clk, negedge rstn )
```

```
  if ( !rstn )
```

```
    state <= NULL;
```

```
  else
```

```
    state <= nextstate;
```

```
  //функция состояний
```

```
  always @ (*)
```

```
  case ( state )
```

```
    NULL : nextstate = S1;
```

```
    S1   : nextstate = S2;
```

```
    S2   : nextstate = S3;
```

```
    S3   : nextstate = NULL;
```

```
    default : nextstate = NULL;
```

```
  endcase
```

```
  //функция выходов
```

```
  always @ (*)
```

```
  case ( state )
```

```
    NULL : qo = 0;
```

```
    S1   : qo = 1;
```

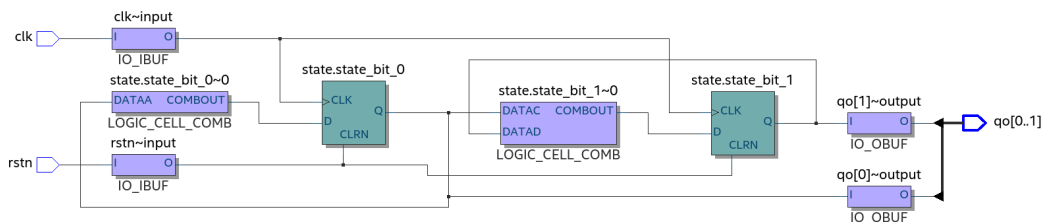
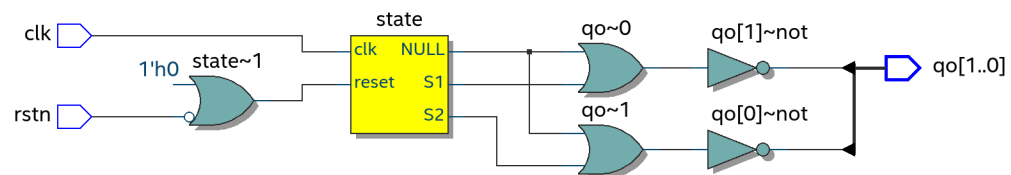
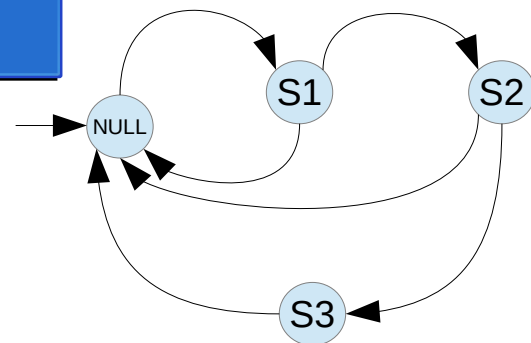
```
    S2   : qo = 2;
```

```
    S3   : qo = 3;
```

```
    default : qo = 0;
```

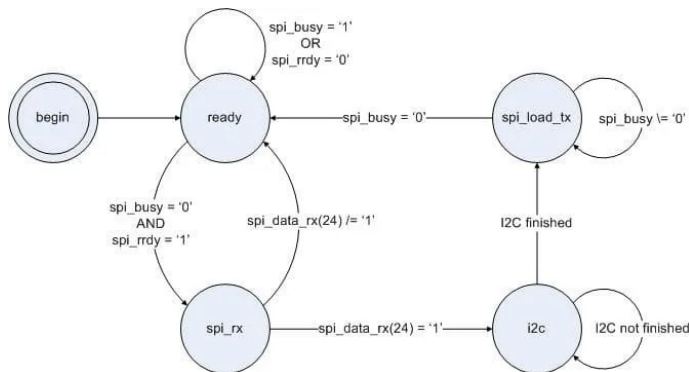
```
  endcase
```

```
endmodule
```

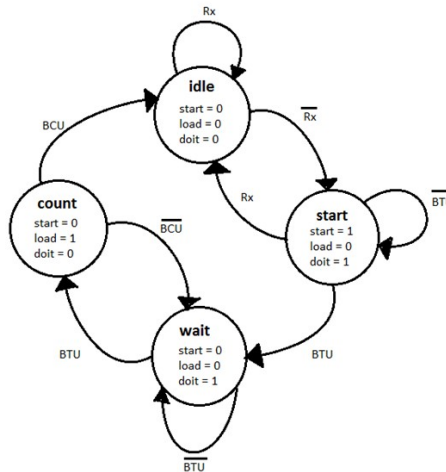


Примеры FSM

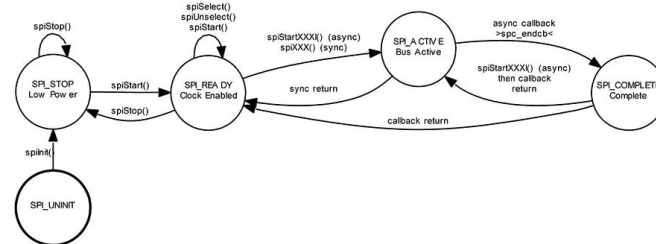
Мост SPI-I2C



UART



SPI



Улитка улыбается

Улитка ползёт по последовательности нулей и единиц и улыбается, когда проползает две подряд идущие единицы. Реализовать автоматы Мура и Мили, реализующие определение радости улитки. Провести моделирование и сравнить два автомата.



СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!