

<b>1. Постановка задачи</b>	<b>3</b>
<b>2. Конфигурация перекрестка</b>	<b>4</b>
<b>3. Архитектура модели Promela</b>	<b>5</b>
3.1. Структура модели	5
3.2. Схема работы	6
<b>4. LTL</b>	<b>8</b>
4.1. Безопасность	8
4.2. Живость	16
<b>4.3. Справедливость</b>	<b>20</b>
<b>5. Заключение</b>	<b>24</b>

## 1. Постановка задачи

Необходимо разработать корректные алгоритмы захвата/освобождения ресурсов для контроллера светофора, контролирующим трафик на перекрестке. Каждая дорога обладает датчиком, который загорается зеленым, когда на ней находится машина. Аналогичный датчик находится на пешеходном переходе.

Ресурсы – это точки пересечения дорог/пешеходного перехода.

Для успешного выполнения домашнего задания необходимо:

1. Построить соответствующую модель Promela
2. Проверить модель на свойства безопасности (англ. safety), живости (liveness) и справедливости (fairness)

2. Конфигурация перекрестка

Согласно распределению, необходимо реализовать конфигурацию перекрестка, представленного на рис. 1.

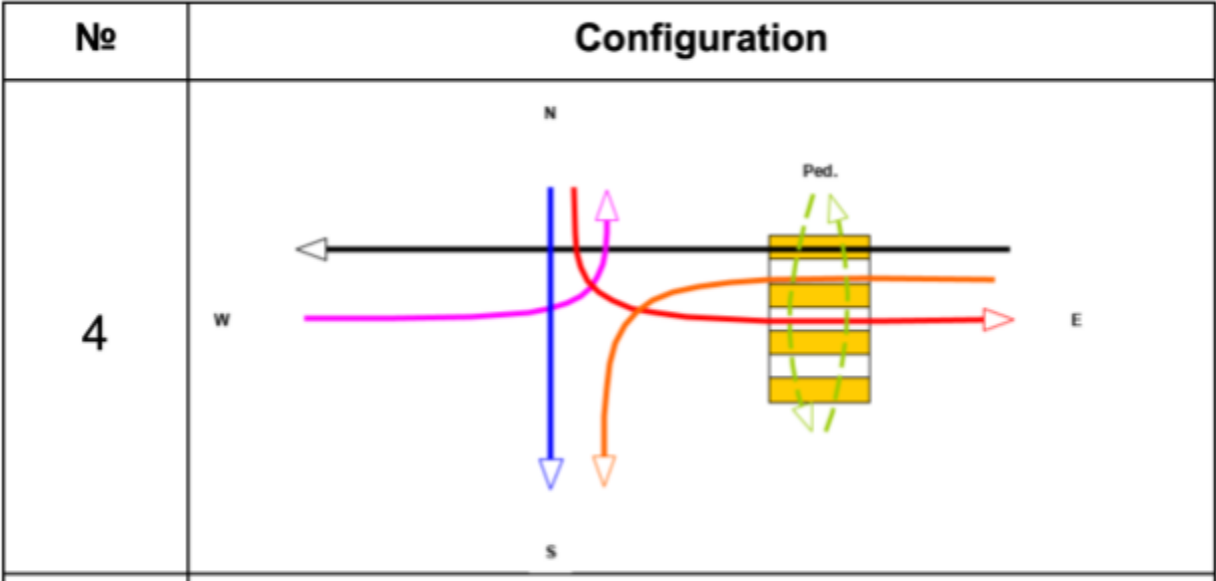


Рисунок 1. Схема перекрестка

Для упрощения взаимодействия с моделью были введены обозначения представленные на рис. 2.

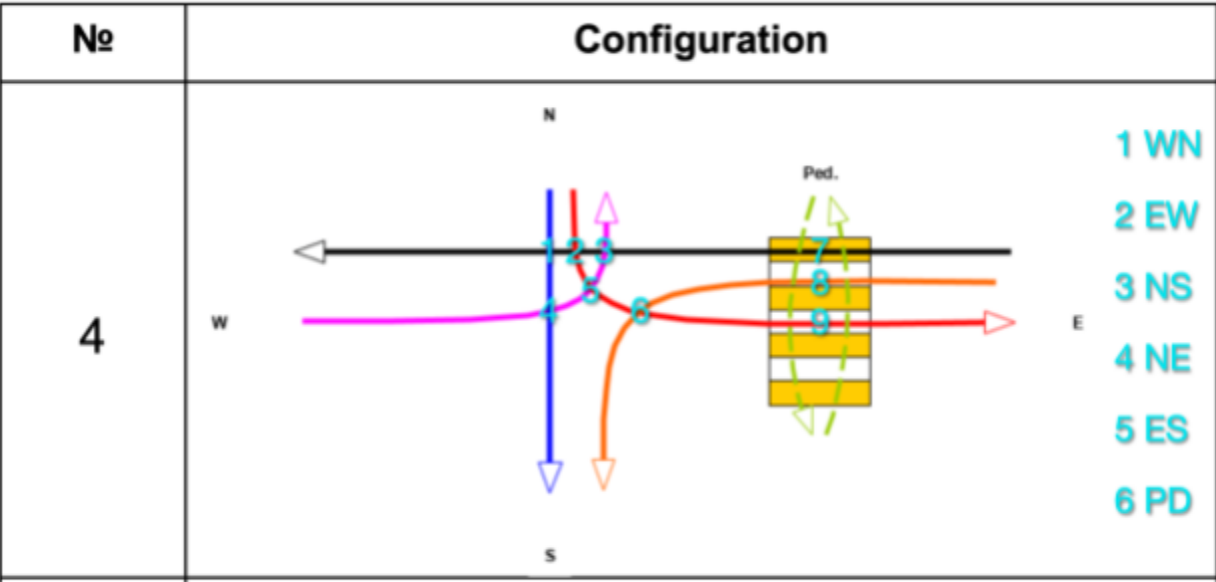


Рисунок 2. Обозначения элементов на перекрестке

Все маршруты были пронумерованы и названы:

- 1. WN – розовая дорога
- 2. EW – черная дорога

3. NS – синяя дорога
4. NE – красная дорога
5. ES – оранжевая дорога
6. PD – пешеходный переход

Аналогичным образом были пронумерованы точки пересечения дорог:

1. Пересечение EW x NS
2. Пересечение EW x NE
3. Пересечение EW x WN
4. Пересечение WN x NS
5. Пересечение WN x NE
6. Пересечение NE x ES
7. Пересечение EW x PD
8. Пересечение ES x PD
9. Пересечение NE x PD

### **3. Архитектура модели Promela**

#### **3.1. Структура модели**

Модель состоит из двух сущностей:

1. Light – процесс светофора/датчика, который запускается для каждой дороги
2. Generator – процесс создающий постоянный поток машин/пешеходов

Взаимодействие нескольких Light и Generator происходит с помощью каналов, которые создаются в блоке `init`. Generator создает запросы для каждого Light, имитирующие запросы машин/пешеходов. Создание запросов происходит в бесконечном цикле с недетерминированным выбором, что гарантирует независимость поступающих запросов.

Для упрощения работы с моделью дорога и пешеходный переход являются одной сущностью, также как и машина/пешеход, которые могут появиться на соответствующей дороге.

Каждая из дорог обладает следующими атрибутами:

1. `id` – идентификатор дороги
2. `conflicts` – массив дорог, с которыми есть пересечение
3. `nextLight` – следующий светофор/датчик, которому нужно передать ход
4. `lightChan` – канал, по которому сообщается о появлении трафика на дороге

И есть ряд глобальных переменных, которые необходимы для корректного захвата/освобождения ресурсов:

1. `isLightsRequested` – byte массив размеров в `LIGHTS_NUM=6` элементов, обозначающий есть ли запрос определенной дороги для движения
2. `priorityByLights` – short массив размеров в `LIGHTS_NUM=6` элементов, обозначающий приоритеты по дорогам. Данный массив нужен для разрешения проблемы определения дороги для захвата ресурса. Используется, чтобы один из маршрутов случайно не получал постоянно ресурс
3. `isLightGreen` – bool массив размеров в `LIGHTS_NUM=6` элементов, обозначающий состояние светофора/датчике

### 3.2. Схема работы

Общение нескольких Light и Generator происходит посредством каналов. Generator отправляет запросы на каждую из дорог. Далее для корректной реализации процесса по захвату/освобождения ресурсов используется алгоритм token ring. Каждая из дорог передает “токен” следующей дороге, чтобы у каждой была возможность захватить ресурс.

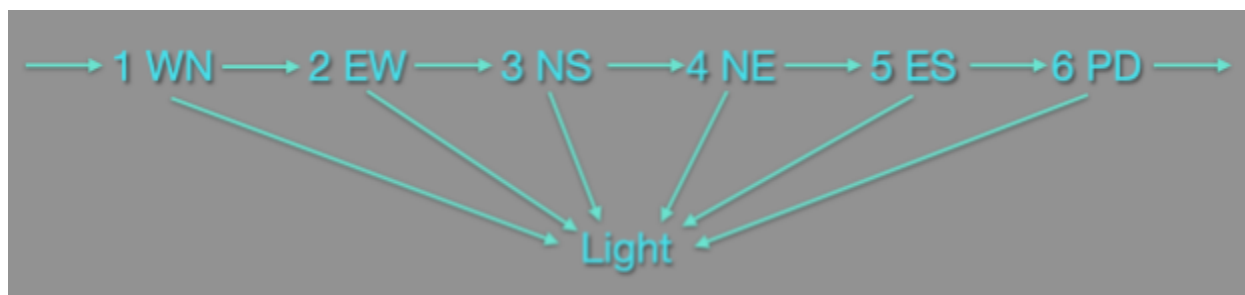


Рисунок 3. Схема работы

Каждая дорога при получении токена “активируется” и пробует захватить ресурс по следующему алгоритму:

Определяется максимальный приоритет с конфликтующими дорогами по `priorityByLights` (рис. 4):

```

// Определяем текущий максимальный приоритет
curPriority = priorityByLights[id-1];
maxPriority = 0;
idx = 0;
do
  :: idx < MAX_INTERSECT_NUM ->
    lightIdx = conflicts[id-1].c[idx];
    if
      :: lightIdx != 0 && priorityByLights[lightIdx-1] > maxPriority ->
        maxPriority = priorityByLights[lightIdx-1]
      :: else -> skip
    fi;
    idx++
  :: else -> break
od;

```

Рисунок 4. Определение максимального приоритета

1. Если максимальный приоритет нулевой, значит конфликтующие дороги недавно захватили ресурс и освободили его, либо нет конфликтующих дорог. Захватываем ресурс, увеличивая приоритет текущей дороги на MAX\_PRIORITY\_INCREASE, чтобы остальные конфликтующие дороги не захватили ресурс (рис. 5).

```

if
  // Делаем светофор зеленым, если текущий максимальный приоритет = 0
  :: maxPriority == 0 ->
    isLightGreen[id-1] = true;
    isLightRequested[id-1] = false;
    priorityByLights[id-1] = MAX_PRIORITY_INCREASE + id

```

Рисунок 5. Захват ресурса

2. Если максимальный приоритет больше приоритета текущей дороги, то не захватываем ресурс, а увеличиваем приоритет у текущей дороги и конфликтующих на DEF\_PRIORITY\_INCREASE (рис.6).

```

// Если у другой дороги больше приоритет, то не забираем ресурс. Увеличиваем приоритет
:: maxPriority > curPriority ->
  priorityByLights[id-1] = curPriority + DEF_PRIORITY_INCREASE;
  idx = 0;
  do
    :: idx < MAX_INTERSECT_NUM ->
      lightIdx = conflicts[id-1].c[idx];
      if
        :: lightIdx != 0 ->
          priorityByLights[lightIdx-1] = priorityByLights[lightIdx-1] + DEF_PRIORITY_INCREASE
        :: else -> skip
      fi;
      idx++
    :: else -> break
  od
:: else ->

```

Рисунок 6. Увеличение приоритета

3. Иначе захватываем ресурс, увеличивая приоритет текущей дороги на MAX\_PRIORITY\_INCREASE, чтобы остальные конфликтующие дороги не захватили ресурс (рис. 7).

```
// Если у нас самый высокий приоритет, то захватываем ресурс
    isLightGreen[id-1] = true;
    isLightRequested[id-1] = false;
    priorityByLights[id-1] = MAX_PRIORITY_INCREASE + id
fi;
```

Рисунок 7. Захват ресурса

## 4. LTL

Модель должна пройти проверку на свойства безопасности (англ. safety), живости (liveness) и справедливости (fairness).

### 4.1. Безопасность

Не должно быть одновременного передвижения по двум пересекающимся путям. Для проверки данного свойства были написаны LTL для каждой пары пересекающихся дорог проверялось, что датчики не могут быть одновременно зелеными.

Код LTL для проверки безопасности с комментариями представлен на рисунке 8.

```

// Safety
// 1x -- EW(2) x NS(3)
// spin -search -bfs -ltl p1 light.pml
ltl p1 { [](!(isLightGreen[1] && isLightGreen[2])) }

// 2x -- EW(2) x NE(4)
// spin -search -bfs -ltl p2 light.pml
ltl p2 { [](!(isLightGreen[1] && isLightGreen[3])) }

// 3x -- EW(2) x WN(1)
// spin -search -bfs -ltl p3 light.pml
ltl p3 { [](!(isLightGreen[1] && isLightGreen[0])) }

// 4x -- WN(1) x NS(3)
// spin -search -bfs -ltl p4 light.pml
ltl p4 { [](!(isLightGreen[0] && isLightGreen[2])) }

// 5x -- WN(1) x NE(4)
// spin -search -bfs -ltl p5 light.pml
ltl p5 { [](!(isLightGreen[0] && isLightGreen[3])) }

// 6x -- NE(4) x ES(5)
// spin -search -bfs -ltl p6 light.pml
ltl p6 { [](!(isLightGreen[3] && isLightGreen[4])) }

// 7x -- EW(2) x PD(6)
// spin -search -bfs -ltl p7 light.pml
ltl p7 { [](!(isLightGreen[1] && isLightGreen[5])) }

// 8x -- ES(5) x PD(6)
// spin -search -bfs -ltl p8 light.pml
ltl p8 { [](!(isLightGreen[4] && isLightGreen[5])) }

// 9x -- NE(4) x PD(6)
// spin -search -bfs -ltl p9 light.pml
ltl p9 { [](!(isLightGreen[3] && isLightGreen[5])) }

```

Рисунок 8. Проверка безопасности

Запуска LTL p1-p9 можно увидеть на рисунках 9-17 соответственно.



```

• + homework spin -search -bfs -ltl p1 light.pml
pan: ltl formula p1
Depth= 10 States= 11 Transitions= 11 Memory= 128.195
Depth= 20 States= 21 Transitions= 21 Memory= 128.195
Depth= 30 States= 31 Transitions= 31 Memory= 128.195
Depth= 40 States= 472 Transitions= 1.56e+03 Memory= 128.293
Depth= 50 States= 1.06e+03 Transitions= 3.55e+03 Memory= 128.391
Depth= 60 States= 1.63e+03 Transitions= 5.61e+03 Memory= 128.586
Depth= 70 States= 2.27e+03 Transitions= 7.99e+03 Memory= 128.684

Depth= 7130 States= 4.45e+05 Transitions= 1.2e+06 Memory= 236.691 t= 0.63 R= 7e+05
Depth= 7140 States= 4.45e+05 Transitions= 1.2e+06 Memory= 236.887 t= 0.63 R= 7e+05
Depth= 7150 States= 4.46e+05 Transitions= 1.2e+06 Memory= 236.984 t= 0.63 R= 7e+05
Depth= 7160 States= 4.46e+05 Transitions= 1.21e+06 Memory= 237.180 t= 0.63 R= 7e+05

(Spin Version 6.5.2 -- 6 December 2019)
+ Breadth-First Search
+ Partial Order Reduction

Full statespace search for:
never claim + (p1)
assertion violations + (if within scope of claim)
cycle checks - (disabled by -DSAFETY)
invalid end states - (disabled by never claim)

State-vector 260 byte, depth reached 7163, errors: 0
446367 states, stored
446367 nominal states (stored-atomic)
758881 states, matched
1205248 transitions (= stored+matched)
0 atomic steps
hash conflicts: 21566 (resolved)

Stats on memory usage (in Megabytes):
122.598 equivalent memory usage for states (stored*(State-vector + overhead))
109.239 actual memory usage for states (compression: 89.10%)
state-vector as stored = 229 byte + 28 byte overhead
128.000 memory used for hash table (~w24)
237.180 total actual memory usage

```

Рисунок 9. Запуск LTL p1 по свойству безопасности

```

* homework spin -search -bfs -ltl p2 light.pml

Depth= 10 States= 11 Transitions= 11 Memory= 128.195
Depth= 20 States= 21 Transitions= 21 Memory= 128.195
Depth= 30 States= 31 Transitions= 31 Memory= 128.195
Depth= 40 States= 472 Transitions= 1.56e+03 Memory= 128.293
Depth= 50 States= 1.06e+03 Transitions= 3.55e+03 Memory= 128.391
Depth= 60 States= 1.63e+03 Transitions= 5.61e+03 Memory= 128.586
Depth= 70 States= 2.27e+03 Transitions= 7.99e+03 Memory= 128.684
Depth= 80 States= 2.85e+03 Transitions= 9.89e+03 Memory= 128.879
Depth= 90 States= 3.44e+03 Transitions= 1.21e+04 Memory= 128.977
Depth= 100 States= 4.06e+03 Transitions= 1.43e+04 Memory= 129.172
Depth= 110 States= 4.64e+03 Transitions= 1.63e+04 Memory= 129.270

Depth= 7140 States= 4.45e+05 Transitions= 1.2e+06 Memory= 236.887 t= 0.56 R= 8e+05
Depth= 7150 States= 4.46e+05 Transitions= 1.2e+06 Memory= 236.984 t= 0.57 R= 8e+05
Depth= 7160 States= 4.46e+05 Transitions= 1.21e+06 Memory= 237.180 t= 0.57 R= 8e+05

(Spin Version 6.5.2 -- 6 December 2019)
+ Breadth-First Search
+ Partial Order Reduction

Full statespace search for:
  never claim          + (p2)
  assertion violations + (if within scope of claim)
  cycle checks         - (disabled by -DSAFETY)
  invalid end states   - (disabled by never claim)

State-vector 260 byte, depth reached 7163, errors: 0
  446367 states, stored
    446367 nominal states (stored-atomic)
    758881 states, matched
  1205248 transitions (= stored+matched)
    0 atomic steps
hash conflicts: 23217 (resolved)

Stats on memory usage (in Megabytes):
  122.598 equivalent memory usage for states (stored*(State-vector + overhead))
  109.239 actual memory usage for states (compression: 89.10%)
           state-vector as stored = 229 byte + 28 byte overhead
  128.000 memory used for hash table (-w24)
  237.180 total actual memory usage

```

Рисунок 10. Запуск LTL p2 по свойству безопасности

```
+ homework spin -search -bfs -ltl p3 light.pml
```

Depth=	10	States=	11	Transitions=	11	Memory=	128.195
Depth=	20	States=	21	Transitions=	21	Memory=	128.195
Depth=	30	States=	31	Transitions=	31	Memory=	128.195
Depth=	40	States=	472	Transitions=	1.56e+03	Memory=	128.293
Depth=	50	States=	1.06e+03	Transitions=	3.55e+03	Memory=	128.391
Depth=	60	States=	1.63e+03	Transitions=	5.61e+03	Memory=	128.586

Depth=	7140	States=	4.45e+05	Transitions=	1.2e+06	Memory=	236.887	t=	0.51	R=	9e+05
Depth=	7150	States=	4.46e+05	Transitions=	1.2e+06	Memory=	236.984	t=	0.51	R=	9e+05
Depth=	7160	States=	4.46e+05	Transitions=	1.21e+06	Memory=	237.180	t=	0.51	R=	9e+05

(Spin Version 6.5.2 -- 6 December 2019)  
+ Breadth-First Search  
+ Partial Order Reduction

Full statespace search for:  
never claim + (p3)  
assertion violations + (if within scope of claim)  
cycle checks - (disabled by -DSAFETY)  
invalid end states - (disabled by never claim)

State-vector 260 byte, depth reached 7163, errors: 0  
446367 states, stored  
446367 nominal states (stored-atomic)  
758881 states, matched  
1205248 transitions (= stored+matched)  
0 atomic steps  
hash conflicts: 19426 (resolved)

Stats on memory usage (in Megabytes):  
122.598 equivalent memory usage for states (stored\*(State-vector + overhead))  
109.239 actual memory usage for states (compression: 89.10%)  
state-vector as stored = 229 byte + 28 byte overhead  
128.000 memory used for hash table (-w24)  
237.180 total actual memory usage

Рисунок 11. Запуск LTL p3 по свойству безопасности

```
+ homework spin -search -bfs -ltl p4 light.pml
```

Depth=	10	States=	11	Transitions=	11	Memory=	128.195
Depth=	20	States=	21	Transitions=	21	Memory=	128.195
Depth=	30	States=	31	Transitions=	31	Memory=	128.195
Depth=	40	States=	472	Transitions=	1.56e+03	Memory=	128.293
Depth=	50	States=	1.06e+03	Transitions=	3.55e+03	Memory=	128.391
Depth=	60	States=	1.63e+03	Transitions=	5.61e+03	Memory=	128.586

Depth=	7140	States=	4.45e+05	Transitions=	1.2e+06	Memory=	236.887	t=	0.51	R=	9e+05
Depth=	7150	States=	4.46e+05	Transitions=	1.2e+06	Memory=	236.984	t=	0.51	R=	9e+05
Depth=	7160	States=	4.46e+05	Transitions=	1.21e+06	Memory=	237.180	t=	0.51	R=	9e+05

(Spin Version 6.5.2 -- 6 December 2019)  
+ Breadth-First Search  
+ Partial Order Reduction

Full statespace search for:  
never claim + (p4)  
assertion violations + (if within scope of claim)  
cycle checks - (disabled by -DSAFETY)  
invalid end states - (disabled by never claim)

State-vector 260 byte, depth reached 7163, errors: 0  
446367 states, stored  
446367 nominal states (stored-atomic)  
758881 states, matched  
1205248 transitions (= stored+matched)  
0 atomic steps  
hash conflicts: 23602 (resolved)

Stats on memory usage (in Megabytes):  
122.598 equivalent memory usage for states (stored\*(State-vector + overhead))  
109.239 actual memory usage for states (compression: 89.10%)  
state-vector as stored = 229 byte + 28 byte overhead  
128.000 memory used for hash table (-w24)  
237.180 total actual memory usage

Рисунок 12. Запуск LTL p4 по свойству безопасности

```

+ homework spin -search -bfs -ltl p5 light.pml

Depth=   10 States=    11 Transitions=    11 Memory= 128.195
Depth=   20 States=    21 Transitions=    21 Memory= 128.195
Depth=   30 States=    31 Transitions=    31 Memory= 128.195
Depth=   40 States=   472 Transitions= 1.56e+03 Memory= 128.293
Depth=   50 States= 1.06e+03 Transitions= 3.55e+03 Memory= 128.391

Depth=  7140 States= 4.45e+05 Transitions= 1.2e+06 Memory= 236.887 t= 0.93 R= 5e+05
Depth=  7150 States= 4.46e+05 Transitions= 1.2e+06 Memory= 236.984 t= 0.93 R= 5e+05
Depth=  7160 States= 4.46e+05 Transitions= 1.21e+06 Memory= 237.180 t= 0.93 R= 5e+05

(Spin Version 6.5.2 -- 6 December 2019)
+ Breadth-First Search
+ Partial Order Reduction

Full statespace search for:
  never claim      + (p5)
  assertion violations + (if within scope of claim)
  cycle checks     - (disabled by -DSAFETY)
  invalid end states - (disabled by never claim)

State-vector 260 byte, depth reached 7163, errors: 0
  446367 states, stored
  446367 nominal states (stored-atomic)
  758881 states, matched
  1205248 transitions (= stored+matched)
  0 atomic steps
hash conflicts: 17369 (resolved)

Stats on memory usage (in Megabytes):
  122.598 equivalent memory usage for states (stored+(State-vector + overhead))
  109.239 actual memory usage for states (compression: 89.10%)
          state-vector as stored = 229 byte + 28 byte overhead
  128.000 memory used for hash table (-w24)
  237.180 total actual memory usage

```

Рисунок 13. Запуск LTL p5 по свойству безопасности

```

+ homework spin -search -bfs -ltl p6 light.pml

Depth=   10 States=    11 Transitions=    11 Memory= 128.195
Depth=   20 States=    21 Transitions=    21 Memory= 128.195
Depth=   30 States=    31 Transitions=    31 Memory= 128.195
Depth=   40 States=   472 Transitions= 1.56e+03 Memory= 128.293

Depth=  7130 States= 4.45e+05 Transitions= 1.2e+06 Memory= 236.691 t= 0.79 R= 6e+05
Depth=  7140 States= 4.45e+05 Transitions= 1.2e+06 Memory= 236.887 t= 0.79 R= 6e+05
Depth=  7150 States= 4.46e+05 Transitions= 1.2e+06 Memory= 236.984 t= 0.79 R= 6e+05
Depth=  7160 States= 4.46e+05 Transitions= 1.21e+06 Memory= 237.180 t= 0.8 R= 6e+05

(Spin Version 6.5.2 -- 6 December 2019)
+ Breadth-First Search
+ Partial Order Reduction

Full statespace search for:
  never claim      + (p6)
  assertion violations + (if within scope of claim)
  cycle checks     - (disabled by -DSAFETY)
  invalid end states - (disabled by never claim)

State-vector 260 byte, depth reached 7163, errors: 0
  446367 states, stored
  446367 nominal states (stored-atomic)
  758881 states, matched
  1205248 transitions (= stored+matched)
  0 atomic steps
hash conflicts: 15773 (resolved)

Stats on memory usage (in Megabytes):
  122.598 equivalent memory usage for states (stored+(State-vector + overhead))
  109.239 actual memory usage for states (compression: 89.10%)
          state-vector as stored = 229 byte + 28 byte overhead
  128.000 memory used for hash table (-w24)
  237.180 total actual memory usage

```

Рисунок 14. Запуск LTL p6 по свойству безопасности

```

+ homework spin -search -bfs -ltl p7 light.pml
Depth= 10 States= 11 Transitions= 11 Memory= 128.195
Depth= 20 States= 21 Transitions= 21 Memory= 128.195
Depth= 30 States= 31 Transitions= 31 Memory= 128.195
Depth= 40 States= 472 Transitions= 1.56e+03 Memory= 128.293

Depth= 7140 States= 4.45e+05 Transitions= 1.2e+06 Memory= 236.887 t= 0.59 R= 8e+05
Depth= 7150 States= 4.46e+05 Transitions= 1.2e+06 Memory= 236.984 t= 0.59 R= 8e+05
Depth= 7160 States= 4.46e+05 Transitions= 1.21e+06 Memory= 237.180 t= 0.59 R= 8e+05

(Spin Version 6.5.2 — 6 December 2019)
+ Breadth-First Search
+ Partial Order Reduction

Full statespace search for:
  never claim          + (p7)
  assertion violations  + (if within scope of claim)
  cycle checks         - (disabled by -OSAFETY)
  invalid end states   - (disabled by never claim)

State-vector 260 byte, depth reached 7163, errors: 0
  446367 states, stored
    446367 nominal states (stored-atomic)
  758881 states, matched
  1205248 transitions (= stored+matched)
    0 atomic steps
hash conflicts: 19423 (resolved)

Stats on memory usage (in Megabytes):
  122.598    equivalent memory usage for states (stored*(State-vector + overhead))
  109.239    actual memory usage for states (compression: 89.10%)
             state-vector as stored = 229 byte + 28 byte overhead
  128.000    memory used for hash table (-w24)
  237.180    total actual memory usage

```

Рисунок 15. Запуск LTL p7 по свойству безопасности

```
+ homework spin -search -bfs -ltl p8 light.pml

Depth= 10 States= 11 Transitions= 11 Memory= 128.195
Depth= 20 States= 21 Transitions= 21 Memory= 128.195
Depth= 30 States= 31 Transitions= 31 Memory= 128.195
Depth= 40 States= 472 Transitions= 1.56e+03 Memory= 128.293
Depth= 50 States= 1.06e+03 Transitions= 3.55e+03 Memory= 128.391

Depth= 7150 States= 4.46e+05 Transitions= 1.2e+06 Memory= 236.984 t= 0.54 R= 8e+05
Depth= 7160 States= 4.46e+05 Transitions= 1.21e+06 Memory= 237.180 t= 0.54 R= 8e+05

(Spin Version 6.5.2 -- 6 December 2019)
+ Breadth-First Search
+ Partial Order Reduction

Full statespace search for:
  never claim          + (p8)
  assertion violations  + (if within scope of claim)
  cycle checks         - (disabled by -DSAFETY)
  invalid end states   - (disabled by never claim)

State-vector 260 byte, depth reached 7163, errors: 0
  446367 states, stored
  446367 nominal states (stored-atomic)
  758881 states, matched
  1205248 transitions (= stored+matched)
  0 atomic steps
hash conflicts: 16247 (resolved)

Stats on memory usage (in Megabytes):
  122.598 equivalent memory usage for states (stored*(State-vector + overhead))
  109.239 actual memory usage for states (compression: 89.10%)
  state-vector as stored = 229 byte + 28 byte overhead
  128.000 memory used for hash table (-w24)
  237.180 total actual memory usage
```

Рисунок 16. Запуск LTL p8 по свойству безопасности

```
+ homework spin -search -bfs -ltl p9 light.pml

Depth= 10 States= 11 Transitions= 11 Memory= 128.195
Depth= 20 States= 21 Transitions= 21 Memory= 128.195
Depth= 30 States= 31 Transitions= 31 Memory= 128.195
Depth= 40 States= 472 Transitions= 1.56e+03 Memory= 128.293

Depth= 7140 States= 4.45e+05 Transitions= 1.2e+06 Memory= 236.887 t= 0.71 R= 6e+05
Depth= 7150 States= 4.46e+05 Transitions= 1.2e+06 Memory= 236.984 t= 0.72 R= 6e+05
Depth= 7160 States= 4.46e+05 Transitions= 1.21e+06 Memory= 237.180 t= 0.72 R= 6e+05

(Spin Version 6.5.2 -- 6 December 2019)
+ Breadth-First Search
+ Partial Order Reduction

Full statespace search for:
  never claim          + (p9)
  assertion violations  + (if within scope of claim)
  cycle checks         - (disabled by -DSAFETY)
  invalid end states   - (disabled by never claim)

State-vector 260 byte, depth reached 7163, errors: 0
  446367 states, stored
  446367 nominal states (stored-atomic)
  758881 states, matched
  1205248 transitions (= stored+matched)
  0 atomic steps
hash conflicts: 17056 (resolved)

Stats on memory usage (in Megabytes):
  122.598 equivalent memory usage for states (stored*(State-vector + overhead))
  109.239 actual memory usage for states (compression: 89.10%)
  state-vector as stored = 229 byte + 28 byte overhead
  128.000 memory used for hash table (-w24)
  237.180 total actual memory usage
```

Рисунок 17. Запуск LTL p9 по свойству безопасности

После запуска проверки не появилось trail, что говорит о том, что не нашлось контрпримера и свойство выполняется.

## 4.2. Живость

Когда на дороге появляется машина/пешеход, то они по итогу получают возможность перейти дорогу.

Для проверки данного свойства для каждой дороги была написана LTL, которая проверяет, есть ли запрос на переход дороги и текущее состояние датчика не зеленое, то в какой-то момент времени датчик станет зеленым.

Код LTL для проверки безопасности с комментариями представлен на рисунке 18.

```
// Liveness
// WN(1)
// spin -search -bfs -ltl p10 light.pml
ltl p10 { [] ( (isLightRequested[0] && !isLightGreen[0]) -> (⟨⟩ isLightGreen[0]) ) }

// EW(2)
// spin -search -bfs -ltl p11 light.pml
ltl p11 { [] ( (isLightRequested[1] && !isLightGreen[1]) -> (⟨⟩ isLightGreen[1]) ) }

// NS(3)
// spin -search -bfs -ltl p12 light.pml
ltl p12 { [] ( (isLightRequested[2] && !isLightGreen[2]) -> (⟨⟩ isLightGreen[2]) ) }

// NE(4)
// spin -search -bfs -ltl p13 light.pml
ltl p13 { [] ( (isLightRequested[3] && !isLightGreen[3]) -> (⟨⟩ isLightGreen[3]) ) }

// ES(5)
// spin -search -bfs -ltl p14 light.pml
ltl p14 { [] ( (isLightRequested[4] && !isLightGreen[4]) -> (⟨⟩ isLightGreen[4]) ) }

// PD(6)
// spin -search -bfs -ltl p15 light.pml
ltl p15 { [] ( (isLightRequested[5] && !isLightGreen[5]) -> (⟨⟩ isLightGreen[5]) ) }
```

Рисунок 18. Проверка живости

Запуска LTL p10-p15 можно увидеть на рисунке 19-24 соответственно.

```

+ homework spin -search -bfs -ltl p10 light.pml

Depth= 10 States= 11 Transitions= 11 Memory= 128.195
Depth= 20 States= 21 Transitions= 21 Memory= 128.195
Depth= 30 States= 31 Transitions= 31 Memory= 128.195
Depth= 40 States= 472 Transitions= 1.56e+03 Memory= 128.293
Depth= 50 States= 1.5e+03 Transitions= 6.5e+03 Memory= 128.586
Depth= 60 States= 2.66e+03 Transitions= 1.27e+04 Memory= 128.879

Depth= 7130 States= 8.38e+05 Transitions= 3.32e+06 Memory= 332.883 t= 1.33 R= 6e+05
Depth= 7140 States= 8.4e+05 Transitions= 3.33e+06 Memory= 333.176 t= 1.34 R= 6e+05
Depth= 7150 States= 8.41e+05 Transitions= 3.33e+06 Memory= 333.566 t= 1.34 R= 6e+05
Depth= 7160 States= 8.42e+05 Transitions= 3.34e+06 Memory= 333.762 t= 1.34 R= 6e+05

(Spin Version 6.5.2 -- 6 December 2019)
+ Breadth-First Search
+ Partial Order Reduction

Full statespace search for:
never claim + (p10)
assertion violations + (if within scope of claim)
cycle checks - (disabled by -DSAFETY)
invalid end states - (disabled by never claim)

State-vector 260 byte, depth reached 7163, errors: 0
842207 states, stored
842207 nominal states (stored-atomic)
2497697 states, matched
3339904 transitions (= stored+matched)
0 atomic steps
hash conflicts: 97992 (resolved)

Stats on memory usage (in Megabytes):
231.319 equivalent memory usage for states (stored+(State-vector + overhead))
205.919 actual memory usage for states (compression: 89.02%)
state-vector as stored = 228 byte + 28 byte overhead
128.000 memory used for hash table (~w24)
333.859 total actual memory usage

```

Рисунок 19. Запуск LTL p10 по свойству живости

```

+ homework spin -search -bfs -ltl p11 light.pml

Depth= 10 States= 11 Transitions= 11 Memory= 128.195
Depth= 20 States= 21 Transitions= 21 Memory= 128.195
Depth= 30 States= 31 Transitions= 31 Memory= 128.195
Depth= 40 States= 472 Transitions= 1.56e+03 Memory= 128.293
Depth= 50 States= 1.06e+03 Transitions= 3.55e+03 Memory= 128.391

Depth= 7140 States= 8.18e+05 Transitions= 3.22e+06 Memory= 327.902 t= 1.24 R= 7e+05
Depth= 7150 States= 8.19e+05 Transitions= 3.22e+06 Memory= 328.195 t= 1.25 R= 7e+05
Depth= 7160 States= 8.2e+05 Transitions= 3.23e+06 Memory= 328.488 t= 1.25 R= 7e+05

(Spin Version 6.5.2 -- 6 December 2019)
+ Breadth-First Search
+ Partial Order Reduction

Full statespace search for:
never claim + (p11)
assertion violations + (if within scope of claim)
cycle checks - (disabled by -DSAFETY)
invalid end states - (disabled by never claim)

State-vector 260 byte, depth reached 7163, errors: 0
820447 states, stored
820447 nominal states (stored-atomic)
2408737 states, matched
3229184 transitions (= stored+matched)
0 atomic steps
hash conflicts: 69623 (resolved)

Stats on memory usage (in Megabytes):
225.342 equivalent memory usage for states (stored+(State-vector + overhead))
200.548 actual memory usage for states (compression: 89.00%)
state-vector as stored = 228 byte + 28 byte overhead
128.000 memory used for hash table (~w24)
328.488 total actual memory usage

```

Рисунок 20. Запуск LTL p11 по свойству живости



```

+ homework spin -search -bfs -ltl p12 light.pml

Depth=   10 States=    11 Transitions=    11 Memory= 128.195
Depth=   20 States=    21 Transitions=    21 Memory= 128.195
Depth=   30 States=    31 Transitions=    31 Memory= 128.195
Depth=   40 States=   472 Transitions= 1.56e+03 Memory= 128.293
Depth=   50 States= 1.06e+03 Transitions= 3.55e+03 Memory= 128.391

Depth=  7140 States= 8.15e+05 Transitions= 3.2e+06 Memory= 327.316 t= 1.31 R= 6e+05
Depth=  7150 States= 8.17e+05 Transitions= 3.2e+06 Memory= 327.609 t= 1.31 R= 6e+05
Depth=  7160 States= 8.18e+05 Transitions= 3.21e+06 Memory= 327.902 t= 1.32 R= 6e+05

(Spin Version 6.5.2 -- 6 December 2019)
+ Breadth-First Search
+ Partial Order Reduction

Full statespace search for:
  never claim          + (p12)
  assertion violations  + (if within scope of claim)
  cycle checks         - (disabled by -DSAFETY)
  invalid end states   - (disabled by never claim)

State-vector 260 byte, depth reached 7163, errors: 0
  817887 states, stored
    817887 nominal states (stored-atomic)
  2390113 states, matched
  3208000 transitions (= stored+matched)
    0 atomic steps
hash conflicts:    66412 (resolved)

Stats on memory usage (in Megabytes):
  224.639    equivalent memory usage for states (stored*(State-vector + overhead))
  199.962    actual memory usage for states (compression: 89.01%)
             state-vector as stored = 228 byte + 28 byte overhead
  128.000    memory used for hash table (-w24)
  327.902    total actual memory usage

```

Рисунок 21. Запуск LTL p12 по свойству живости

```
+ homework spin -search -bfs -ltl p13 light.pml
```

Depth=	10	States=	11	Transitions=	11	Memory=	128.195
Depth=	20	States=	21	Transitions=	21	Memory=	128.195
Depth=	30	States=	31	Transitions=	31	Memory=	128.195
Depth=	40	States=	472	Transitions=	1.56e+03	Memory=	128.293

Depth=	7130	States=	8.11e+05	Transitions=	3.18e+06	Memory=	326.340	t=	1.32	R=	6e+05
Depth=	7140	States=	8.13e+05	Transitions=	3.19e+06	Memory=	326.633	t=	1.32	R=	6e+05
Depth=	7150	States=	8.14e+05	Transitions=	3.19e+06	Memory=	326.926	t=	1.32	R=	6e+05
Depth=	7160	States=	8.15e+05	Transitions=	3.2e+06	Memory=	327.219	t=	1.32	R=	6e+05

(Spin Version 6.5.2 -- 6 December 2019)  
+ Breadth-First Search  
+ Partial Order Reduction

Full statespace search for:  
never claim + (p13)  
assertion violations + (if within scope of claim)  
cycle checks - (disabled by -DSAFETY)  
invalid end states - (disabled by never claim)

State-vector 260 byte, depth reached 7163, errors: 0  
815199 states, stored  
815199 nominal states (stored-atomic)  
2383649 states, matched  
3198848 transitions (= stored+matched)  
0 atomic steps  
hash conflicts: 82382 (resolved)

Stats on memory usage (in Megabytes):  
223.901 equivalent memory usage for states (stored\*(State-vector + overhead))  
199.278 actual memory usage for states (compression: 89.00%)  
state-vector as stored = 228 byte + 28 byte overhead  
128.000 memory used for hash table (-w24)  
327.219 total actual memory usage

Рисунок 22. Запуск LTL p13 по свойству живости

```
+ homework spin -search -bfs -ltl p14 light.pml
```

Depth=	10	States=	11	Transitions=	11	Memory=	128.195
Depth=	20	States=	21	Transitions=	21	Memory=	128.195
Depth=	30	States=	31	Transitions=	31	Memory=	128.195
Depth=	40	States=	472	Transitions=	1.56e+03	Memory=	128.293

Depth=	7130	States=	8.12e+05	Transitions=	3.18e+06	Memory=	326.535	t=	1.38	R=	6e+05
Depth=	7140	States=	8.14e+05	Transitions=	3.18e+06	Memory=	326.828	t=	1.38	R=	6e+05
Depth=	7150	States=	8.15e+05	Transitions=	3.19e+06	Memory=	327.219	t=	1.38	R=	6e+05
Depth=	7160	States=	8.16e+05	Transitions=	3.2e+06	Memory=	327.414	t=	1.38	R=	6e+05

(Spin Version 6.5.2 -- 6 December 2019)  
+ Breadth-First Search  
+ Partial Order Reduction

Full statespace search for:  
never claim + (p14)  
assertion violations + (if within scope of claim)  
cycle checks - (disabled by -DSAFETY)  
invalid end states - (disabled by never claim)

State-vector 260 byte, depth reached 7163, errors: 0  
816159 states, stored  
816159 nominal states (stored-atomic)  
2379681 states, matched  
3195840 transitions (= stored+matched)  
0 atomic steps  
hash conflicts: 78482 (resolved)

Stats on memory usage (in Megabytes):  
224.165 equivalent memory usage for states (stored\*(State-vector + overhead))  
199.473 actual memory usage for states (compression: 88.99%)  
state-vector as stored = 228 byte + 28 byte overhead  
128.000 memory used for hash table (-w24)  
327.414 total actual memory usage

Рисунок 23. Запуск LTL p14 по свойству живости

```

+ homework spin -search -bfs -ltl p15 light.pml

Depth= 10 States= 11 Transitions= 11 Memory= 128.195
Depth= 20 States= 21 Transitions= 21 Memory= 128.195
Depth= 30 States= 31 Transitions= 31 Memory= 128.195
Depth= 40 States= 472 Transitions= 1.56e+03 Memory= 128.293
Depth= 50 States= 1.06e+03 Transitions= 3.55e+03 Memory= 128.391

Depth= 7130 States= 7.97e+05 Transitions= 3.09e+06 Memory= 322.629 t= 1.36 R= 6e+05
Depth= 7140 States= 7.98e+05 Transitions= 3.1e+06 Memory= 323.020 t= 1.37 R= 6e+05
Depth= 7150 States= 7.99e+05 Transitions= 3.1e+06 Memory= 323.312 t= 1.37 R= 6e+05
Depth= 7160 States= 8e+05 Transitions= 3.11e+06 Memory= 323.605 t= 1.37 R= 6e+05

(Spin Version 6.5.2 -- 6 December 2019)
+ Breadth-First Search
+ Partial Order Reduction

Full statespace search for:
  never claim          + (p15)
  assertion violations + (if within scope of claim)
  cycle checks         - (disabled by -DSAFETY)
  invalid end states   - (disabled by never claim)

State-vector 260 byte, depth reached 7163, errors: 0
  800287 states, stored
    800287 nominal states (stored-atomic)
  2308129 states, matched
  3108416 transitions (= stored+matched)
    0 atomic steps
hash conflicts: 63698 (resolved)

Stats on memory usage (in Megabytes):
  219.805 equivalent memory usage for states (stored+(State-vector + overhead))
  195.665 actual memory usage for states (compression: 89.02%)
         state-vector as stored = 228 byte + 28 byte overhead
  128.000 memory used for hash table (-w24)
  323.605 total actual memory usage

```

Рисунок 24. Запуск LTL p15 по свойству живости

После запуска проверки не появилось trail, что говорит о том, что не нашлось контрпримера и свойство выполняется.

### 4.3. Справедливость

Датчик на каждой полосе не должен быть непрерывным. Это означает, что не должно быть такой ситуации, когда датчик на дороге постоянно горит зеленым, он должен менять свои стейты.

Для проверки данного свойства, для каждой дороги были написаны LTL, которые проверяют, что бесконечно часто датчик на дороге становится красным. Код LTL для проверки справедливости представлен на рисунке 25.

```

// Fairness
// WN(1)
// spin -search -bfs -ltl p16 light.pml
ltl p16 { [](<(!isLightGreen[0])) }

// EW(2)
// spin -search -bfs -ltl p17 light.pml
ltl p17 { [](<(!isLightGreen[1])) }

// NS(3)
// spin -search -bfs -ltl p18 light.pml
ltl p18 { [](<(!isLightGreen[2])) }

// NE(4)
// spin -search -bfs -ltl p19 light.pml
ltl p19 { [](<(!isLightGreen[3])) }

// ES(5)
// spin -search -bfs -ltl p20 light.pml
ltl p20 { [](<(!isLightGreen[4])) }

// PD(6)
// spin -search -bfs -ltl p21 light.pml
ltl p21 { [](<(!isLightGreen[5])) }

```

Рисунок 25. Проверка справедливости

Пример запуска на примере LTL p16-p21 можно увидеть на рисунке 26-31.

```

+ homework spin -search -bfs -ltl p16 light.pml

```

Depth=	10	States=	11	Transitions=	11	Memory=	128.195
Depth=	20	States=	21	Transitions=	21	Memory=	128.195
Depth=	30	States=	31	Transitions=	31	Memory=	128.195
Depth=	40	States=	472	Transitions=	1.56e+03	Memory=	128.293
Depth=	50	States=	1.06e+03	Transitions=	3.55e+03	Memory=	128.391
Depth=	60	States=	1.63e+03	Transitions=	5.61e+03	Memory=	128.586
Depth=	70	States=	2.27e+03	Transitions=	7.99e+03	Memory=	128.684

```

Depth= 7090 States= 4.92e+05 Transitions= 1.46e+06 Memory= 248.312 t= 0.69 R= 7e+05
Depth= 7100 States= 4.93e+05 Transitions= 1.47e+06 Memory= 248.410 t= 0.69 R= 7e+05
Depth= 7110 States= 4.93e+05 Transitions= 1.47e+06 Memory= 248.605 t= 0.69 R= 7e+05
Depth= 7120 States= 4.94e+05 Transitions= 1.47e+06 Memory= 248.703 t= 0.69 R= 7e+05
Depth= 7130 States= 4.94e+05 Transitions= 1.47e+06 Memory= 248.898 t= 0.69 R= 7e+05
Depth= 7140 States= 4.95e+05 Transitions= 1.47e+06 Memory= 249.094 t= 0.69 R= 7e+05
Depth= 7150 States= 4.96e+05 Transitions= 1.47e+06 Memory= 249.191 t= 0.69 R= 7e+05
Depth= 7160 States= 4.96e+05 Transitions= 1.48e+06 Memory= 249.387 t= 0.7 R= 7e+05

(Spin Version 6.5.2 -- 6 December 2019)
+ Breadth-First Search
+ Partial Order Reduction

Full statespace search for:
  never claim          + (p16)
  assertion violations + (if within scope of claim)
  cycle checks         - (disabled by -DSAFETY)
  invalid end states   - (disabled by never claim)

State-vector 260 byte, depth reached 7163, errors: 0
  496287 states, stored
  496287 nominal states (stored-atomic)
  980257 states, matched
  1476544 transitions (= stored+matched)
  0 atomic steps
hash conflicts: 22388 (resolved)

Stats on memory usage (in Megabytes):
  136.309 equivalent memory usage for states (stored+(State-vector + overhead))
  121.446 actual memory usage for states (compression: 89.10%)
         state-vector as stored = 229 byte + 28 byte overhead
  128.000 memory used for hash table (-w24)
  249.387 total actual memory usage

```

Рисунок 26. Запуск LTL p16 по свойству справедливости

```

+ homework spin -search -bfs -ltl p17 light.pml

Depth= 10 States= 11 Transitions= 11 Memory= 128.195
Depth= 20 States= 21 Transitions= 21 Memory= 128.195
Depth= 30 States= 31 Transitions= 31 Memory= 128.195
Depth= 40 States= 472 Transitions= 1.56e+03 Memory= 128.293
Depth= 50 States= 1.06e+03 Transitions= 3.55e+03 Memory= 128.391

Depth= 7140 States= 5.16e+05 Transitions= 1.58e+06 Memory= 254.172 t= 1.06 R= 5e+05
Depth= 7150 States= 5.17e+05 Transitions= 1.58e+06 Memory= 254.270 t= 1.06 R= 5e+05
Depth= 7160 States= 5.17e+05 Transitions= 1.58e+06 Memory= 254.465 t= 1.06 R= 5e+05

(Spin Version 6.5.2 -- 6 December 2019)
+ Breadth-First Search
+ Partial Order Reduction

Full statespace search for:
  never claim          + (p17)
  assertion violations  + (if within scope of claim)
  cycle checks         - (disabled by -DSAFETY)
  invalid end states   - (disabled by never claim)

State-vector 260 byte, depth reached 7163, errors: 0
  517087 states, stored
    517087 nominal states (stored-atomic)
  1063201 states, matched
  1580288 transitions (= stored+matched)
    0 atomic steps
hash conflicts: 26831 (resolved)

Stats on memory usage (in Megabytes):
  142.022 equivalent memory usage for states (stored+(State-vector + overhead))
  126.524 actual memory usage for states (compression: 89.09%)
    state-vector as stored = 229 byte + 28 byte overhead
  128.000 memory used for hash table (-w24)
  254.465 total actual memory usage

```

Рисунок 27. Запуск LTL p17 по свойству справедливости

```

+ homework spin -search -bfs -ltl p18 light.pml

Depth= 10 States= 11 Transitions= 11 Memory= 128.195
Depth= 20 States= 21 Transitions= 21 Memory= 128.195
Depth= 30 States= 31 Transitions= 31 Memory= 128.195
Depth= 40 States= 472 Transitions= 1.56e+03 Memory= 128.293
Depth= 50 States= 1.06e+03 Transitions= 3.55e+03 Memory= 128.391

Depth= 7130 States= 5.17e+05 Transitions= 1.59e+06 Memory= 254.367 t= 0.67 R= 8e+05
Depth= 7140 States= 5.17e+05 Transitions= 1.59e+06 Memory= 254.562 t= 0.67 R= 8e+05
Depth= 7150 States= 5.18e+05 Transitions= 1.59e+06 Memory= 254.660 t= 0.68 R= 8e+05
Depth= 7160 States= 5.19e+05 Transitions= 1.59e+06 Memory= 254.855 t= 0.68 R= 8e+05

(Spin Version 6.5.2 -- 6 December 2019)
+ Breadth-First Search
+ Partial Order Reduction

Full statespace search for:
  never claim          + (p18)
  assertion violations  + (if within scope of claim)
  cycle checks         - (disabled by -DSAFETY)
  invalid end states   - (disabled by never claim)

State-vector 260 byte, depth reached 7163, errors: 0
  518687 states, stored
    518687 nominal states (stored-atomic)
  1075937 states, matched
  1594624 transitions (= stored+matched)
    0 atomic steps
hash conflicts: 26890 (resolved)

Stats on memory usage (in Megabytes):
  142.462 equivalent memory usage for states (stored+(State-vector + overhead))
  126.915 actual memory usage for states (compression: 89.09%)
    state-vector as stored = 229 byte + 28 byte overhead
  128.000 memory used for hash table (-w24)
  254.855 total actual memory usage

```

Рисунок 28. Запуск LTL p18 по свойству справедливости

```
+ homework spin -search -bfs -ltl p19 light.pml
```

Depth=	10	States=	11	Transitions=	11	Memory=	128.195
Depth=	20	States=	21	Transitions=	21	Memory=	128.195
Depth=	30	States=	31	Transitions=	31	Memory=	128.195
Depth=	40	States=	472	Transitions=	1.56e+03	Memory=	128.293
Depth=	50	States=	1.06e+03	Transitions=	3.55e+03	Memory=	128.391

Depth=	7130	States=	5.19e+05	Transitions=	1.59e+06	Memory=	254.758	t=	0.68	R=	8e+05
Depth=	7140	States=	5.19e+05	Transitions=	1.59e+06	Memory=	254.953	t=	0.68	R=	8e+05
Depth=	7150	States=	5.2e+05	Transitions=	1.59e+06	Memory=	255.148	t=	0.68	R=	8e+05
Depth=	7160	States=	5.2e+05	Transitions=	1.6e+06	Memory=	255.246	t=	0.68	R=	8e+05

(Spin Version 6.5.2 -- 6 December 2019)  
+ Breadth-First Search  
+ Partial Order Reduction

Full statespace search for:  
never claim + (p19)  
assertion violations + (if within scope of claim)  
cycle checks - (disabled by -DSAFETY)  
invalid end states - (disabled by never claim)

State-vector 260 byte, depth reached 7163, errors: 0  
520415 states, stored  
520415 nominal states (stored-atomic)  
1076513 states, matched  
1596928 transitions (= stored+matched)  
0 atomic steps  
hash conflicts: 19812 (resolved)

Stats on memory usage (in Megabytes):  
142.936 equivalent memory usage for states (stored\*(State-vector + overhead))  
127.306 actual memory usage for states (compression: 89.06%)  
state-vector as stored = 229 byte + 28 byte overhead  
128.000 memory used for hash table (-w24)  
255.246 total actual memory usage

Рисунок 29. Запуск LTL p19 по свойству справедливости

```
+ homework spin -search -bfs -ltl p20 light.pml
```

Depth=	10	States=	11	Transitions=	11	Memory=	128.195
Depth=	20	States=	21	Transitions=	21	Memory=	128.195
Depth=	30	States=	31	Transitions=	31	Memory=	128.195
Depth=	40	States=	472	Transitions=	1.56e+03	Memory=	128.293
Depth=	50	States=	1.06e+03	Transitions=	3.55e+03	Memory=	128.391
Depth=	60	States=	1.63e+03	Transitions=	5.61e+03	Memory=	128.586

Depth=	7130	States=	5.17e+05	Transitions=	1.59e+06	Memory=	254.367	t=	0.7	R=	7e+05
Depth=	7140	States=	5.17e+05	Transitions=	1.59e+06	Memory=	254.465	t=	0.71	R=	7e+05
Depth=	7150	States=	5.18e+05	Transitions=	1.59e+06	Memory=	254.660	t=	0.71	R=	7e+05
Depth=	7160	States=	5.18e+05	Transitions=	1.59e+06	Memory=	254.758	t=	0.71	R=	7e+05

(Spin Version 6.5.2 -- 6 December 2019)  
+ Breadth-First Search  
+ Partial Order Reduction

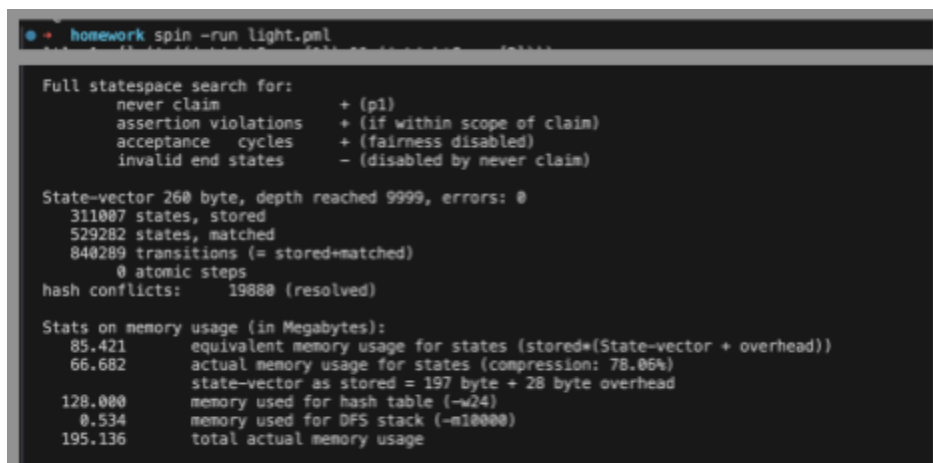
Full statespace search for:  
never claim + (p20)  
assertion violations + (if within scope of claim)  
cycle checks - (disabled by -DSAFETY)  
invalid end states - (disabled by never claim)

State-vector 260 byte, depth reached 7163, errors: 0  
518495 states, stored  
518495 nominal states (stored-atomic)  
1074593 states, matched  
1593088 transitions (= stored+matched)  
0 atomic steps  
hash conflicts: 30618 (resolved)

Stats on memory usage (in Megabytes):  
142.409 equivalent memory usage for states (stored\*(State-vector + overhead))  
126.817 actual memory usage for states (compression: 89.05%)  
state-vector as stored = 228 byte + 28 byte overhead  
128.000 memory used for hash table (-w24)  
254.758 total actual memory usage

Рисунок 30. Запуск LTL p20 по свойству справедливости





```

homework spin -run light.pml
Full statespace search for:
  never claim          + (p1)
  assertion violations  + (if within scope of claim)
  acceptance cycles    + (fairness disabled)
  invalid end states    - (disabled by never claim)

State-vector 260 byte, depth reached 9999, errors: 0
  311007 states, stored
  529282 states, matched
  840289 transitions (= stored+matched)
  0 atomic steps
hash conflicts: 19800 (resolved)

Stats on memory usage (in Megabytes):
  85.421 equivalent memory usage for states (stored*(State-vector + overhead))
  66.682 actual memory usage for states (compression: 78.06%)
         state-vector as stored = 197 byte + 28 byte overhead
 128.000 memory used for hash table (-v24)
   0.534 memory used for DFS stack (-m10000)
 195.136 total actual memory usage

```

Рисунок 32. Симуляция модели

## 5. Заключение

В рамках данной работы была реализована программа на языке Promela, с помощью которой моделируются перекресток с корректным захватом/освобождением ресурса в виде точек пересечения. Реализованная модели была проверена на свойства безопасности, живости и справедливости.

Полный рабочий код с комментариями представлен по следующей ссылке:

[https://github.com/2gury/formal\\_methods/blob/main/light.pml](https://github.com/2gury/formal_methods/blob/main/light.pml).