

Санкт-Петербургский Политехнический университет
Петра Великого
Институт прикладной математики и механики
Высшая школа прикладной математики и вычислительной физики

КУРСОВАЯ РАБОТА
Разработка контроллера светофоров и его верификация
по дисциплине
"Верификация распределённых алгоритмов и протоколов"

Выполнил:
студент гр.3640102/00201
Преподаватель:
к.т.н, доцент ВШПИ ИКНТ

Лансков.Н.В.
Шошмина И.В

Санкт-Петербург
2020

Содержание

1	Список иллюстраций	1
2	Список таблиц	1
3	Постановка задачи	2
4	Построение модели	4
4.1	Внешняя среда	4
4.2	Дорожные пересечения	4
4.3	Светофоры	4
4.4	Взаимодействие процессов	4
5	Верификация алгоритма средствами spin	5
6	Анализ результатов работы	5
7	Список литературы	6
1	Список иллюстраций	
1	Перекрёсток	2
2	Список таблиц	
1	Варианты пересечений	2

3 Постановка задачи

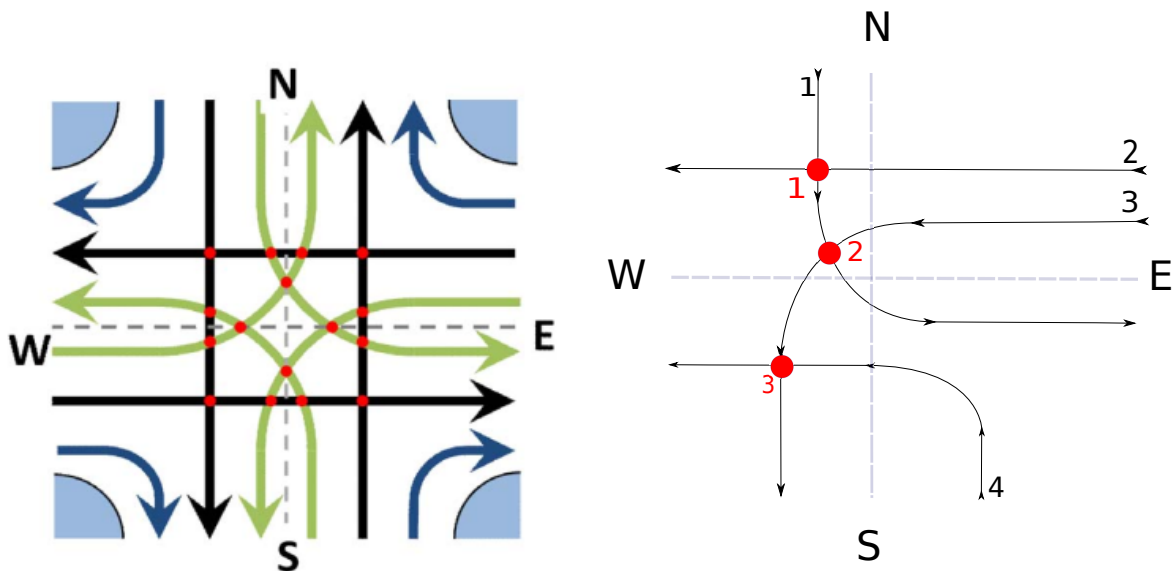
Дан перекрёсток с четырьмя двухсторонними направлениями движения. В каждом направлении имеются три полосы. Точная схема перекрёстка задаётся пересечениями направлений движения, указанными в таблице 1

Вариант: 12, 13, 15

Вариант	Пересечение	Вариант	Пересечение
1	WN, NS	9	SN, WE
2	WN, NE	10	SN, EW
3	WN, SW	11	SN, ES
4	WN, EW	12	NE, EW
5	NS, SW	13	NE, ES
6	NS, WE	14	SW, WE
7	NS, EW	15	SW, ES
8	SN, NE	16	WE, ES

Таблица 1: Варианты пересечений

Для наглядности также привожу схематическое изображение полос движения и пересечений для своего варианта 1.



(a) Схема всех направлений движения

(b) Схема направлений и пересечений для текущего варианта

Рис. 1: Перекрёсток

Каждое направление движения регулируется своим светофором. Если машин нет - светофор горит красным светом. Если машины есть - светофор загорается зелёным (как только появится такая возможность) и пропускает все машины, после чего снова загорается красным. Требуется разработать модель контроллера светофоров, которая бы удовлетворяла следующим свойствам, заданным в виде ltl формул.

Также в модели требуется отразить поведение внешней среды.

Листинг 1: Формулы линейной темпоральной логики, отражающие требования к системе

```

1 #define crash_1 (traffic_lights_color[0] == GREEN && traffic_lights_color[1] == GREEN)
2 #define crash_2 (traffic_lights_color[0] == GREEN && traffic_lights_color[2] == GREEN)
3 #define crash_3 (traffic_lights_color[2] == GREEN && traffic_lights_color[3] == GREEN)
4
5 #define car_sense_0 (len(car_sensor[0]) > 0)
6 #define car_sense_1 (len(car_sensor[1]) > 0)
7 #define car_sense_2 (len(car_sensor[2]) > 0)
8 #define car_sense_3 (len(car_sensor[3]) > 0)
9
10 #define tl_green_0 (traffic_lights_color[0] == GREEN)
11 #define tl_green_1 (traffic_lights_color[1] == GREEN)
12 #define tl_green_2 (traffic_lights_color[2] == GREEN)
13 #define tl_green_3 (traffic_lights_color[3] == GREEN)
14
15 /* LTL formulae descriptions */
16
17 /* Safety */
18 [] (!crash_1)
19 [] (!crash_2)
20 [] (!crash_3)
21
22 /* Liveness */
23 [] (car_sense_0 -> <> tl_green_0)
24 [] (car_sense_1 -> <> tl_green_1)
25 [] (car_sense_2 -> <> tl_green_2)
26 [] (car_sense_3 -> <> tl_green_3)
27
28 /* Fairness */
29 [] <> !(tl_green_0 && car_sense_0)
30 [] <> !(tl_green_1 && car_sense_1)
31 [] <> !(tl_green_2 && car_sense_2)
32 [] <> !(tl_green_3 && car_sense_3)

```

4 Построение модели

4.1 Внешняя среда

Внешняя среда моделируется при помощи процессов, которые генерируют потоки машин по каждому из доступных направлений. Каждый такой процесс посылает в бесконечном цикле сообщение о прибывших машинах в канал ёмкостью 1, и затем блокируется до тех пор, пока это сообщение не будет обработано контроллером светофора, обслуживающего соответствующее направление движения.

4.2 Дорожные пересечения

Дорожные пересечения моделируются процессами, которые блокируются и разблокируются процессами светофоров.

4.3 Светофоры

Светофоры также моделируются соответствующими процессами. Суть работы светофора - при поступлении сообщения о наличии машин:

1. Заблокировать соответствующие пересечения
2. Пропустить поток машин
3. Разблокировать "захваченные" пересечения в обратном порядке

4.4 Взаимодействие процессов

Таким образом, модель состоит из процессов, моделирующих поведение светофоров, дорожных пересечений, а также из процессов, генерирующих потоки машин. Процесс, генерирующий поток машин для определённого направления, оставляет сообщение в канале `car_sense[i]` ёмкостью 1. Контроллер светофора, обслуживающий тоже направление, читает сообщение из этого канала, и затем начинает последовательно захватывать ресурсы (пересечения). Это делается посредством отправки сообщений процессам, обслуживающим соответствующие пересечения по каналам блокировки. Процесс, управляющий пересечением, читает сообщение о блокировке, отправляет по рандеву каналу сообщение о подтверждении блокировки, и блокируется, ожидая сообщения об освобождении от блокирующего контроллера светофора. Когда контроллер светофора заблокировал все пересечения, через которые проходит регулируемый маршрут, он читает сообщение из канала о том, что машины ожидают проезда, меняет свой цвет на зелёный, и переключается обратно на красный. После этого отправляются сообщения о разблокировке пересечений в обратном порядке. Каналы, передающие пересечениям сообщения о блокировке, выглядят следующим образом:

Листинг 2: Каналы сообщений, обеспечивающие взаимодействие процессов контроллеров светофоров и процессов дорожных пересечений

```
23 chan lock [N_OF_INTERSECTIONS] = [N_OF_TRAFFIC_LIGHTS] of { mtype, byte }
```

```
24 chan accept [N_OF_TRAFFIC_LIGHTS] = [0] of { mtype }  
25 chan release [N_OF_INTERSECTIONS] = [0] of { mtype }
```

Таким образом обеспечивается последовательная обработка светофорами входящие потоки машин по всем направлениям, а рандеву каналы позволяют осуществлять синхронное взаимодействие между процессами контроллеров светофоров и дорожных пересечений.

5 Верификация алгоритма средствами spin

При верификации, за один "такт" верификатор spin делает только 1 шаг в одном из активных процессов, тем самым переводя систему в следующее состояние. Чтобы spin мог корректно верифицировать построенную модель, будем проводить процедуру верификации при условии "слабой справедливости" [1]. Эта опция spin позволяет гарантировать, что каждый доступный к исполнению процесс рано или поздно будет выбран верификатором spin для исполнения. Также при верификации были увеличены такие параметры, как доступный при верификации объём оперативной памяти, а также число допустимых состояний, которое может быть достигнуто при верификации.

6 Анализ результатов работы

В результате работы были изучены особенности проектирования систем параллельных вычислений, [2] построена корректно работающая модель контроллера светофоров, а также получены практические навыки работы с пакетом spin [3], [4], [5].

7 Список литературы

- [1] Distributed Systems Programming, SPIN: Formal Analysis II. <http://www.macs.hw.ac.uk/~air/dsp-spin/lectures/lec-7spin-3.pdf>. Последняя дата обращения: 12.12.2020.
- [2] И.В. Карпов, Ю.Г. Шошмина. *Верификация распределённых систем*. СПбГПУ, 2011.
- [3] Документация spin. http://spinroot.com/spin/Man/promela.html?__cf_chl_captcha_tk__=6bfcf3511d32655ea33ef230c208180f84e5d3bc-1607926865-0-AXZNeIvHu9DhFeS7xf3L3T0K83qHzJZ4XUai5R0HCfnSoYgOVRwXLWB762cmefC7HwtmKTzCLY01-1A831MrAvi36VUiMlWdiypbwhK-InmG_gKfzohn0SPpDxXr_6bpESECgbh2KkzQ9nTlmCXznkvVm1BBrkTz7l_fiHfpzk-qqlalXWoL9oJZQaTkb_TBvr2kUnEfC0hISPvWUQi0hLaLjYLiYnXtwy-pCcAqIYDwuTzRIYH2oZZ1tcBaAXY8Bi5i2mFLIBRYgol82RemQWaB0o9bzjuGTUb04uzdNMFQvGVpYNl8p0lmZw_CkxlbMOWFFSly27mQzdKhWa8si3fuAzNvbalBRQVlilNfezdx2nExGqCk7sy78qNE1q4AMPiHE1GPbg_xfzlbIbQt269Ycc8inpeziaal20MkDYCO. Последняя дата обращения: 14.12.2020.
- [4] Basic spin manual. http://spinroot.com/spin/Man/Manual.html?__cf_chl_captcha_tk__=cf65aac61d92ef18f7ecaab4316b29f91b728c72-1607926722-0-ATZupsv6eiwEwB9TgXE_zbAHAP8yl8eFDUfk3_oDnUIXD1zLHkblacS5rkA-RWXPp2pu0ZcmPhcIG8bSiZkqaKFHQgwKqBbqmhaPY9YBAMt5qrfKsdU0ynG3zzk7YwttzB5rsaZSLlvn4uh4bI_GLzkg0udQ-0j_MtOpbm5VqqBtELdWWB4zgV. Последняя дата обращения: 14.12.2020.
- [5] A primer on Model Checking. http://spinroot.com/spin/Doc/p40-ben-ari.pdf?__cf_chl_captcha_tk__=51e897af2052b559268ba385421744e2fc3b2a0f-1607926708-0-AZqFJ2qsu0AtxaC0g05pyHT62m09v0ZgzUeVIYaYzp1c0zWEsHcU67fhmeu0kHCrMKlt6KAC7XsPHQHoja51DiZWJE1gaxwW_CDPbJzzCqY1xzDYeJvNbr1j1-RWu349nM3cAg0wvpgzZ-d-botCfurtm3vyMibTdqlc1m-yYzb0yp-m83-sCrIV-qiHEVl36bUoN0d_1ZsPqzNcEKdvs_iyi50bS9Qs7RtU0ofv4abY-blHwEA3CcJ3Z4U7obS7zx0oIpGAdTKfZ8uXN7RqTfWljCG51-Y0V4GHj09iatEdNM7j5zHKKGocx0-xjYrj0ZyhrJawaU3mcJdx2L0Yf0Zrfhxn9gYM. Последняя дата обращения: 14.12.2020.