УДК 656.13.05

Моделирование работы перекрестков различных типов управления с визуализацией процесса

С. В. Анфилец, В. Н. Шуть
Брестский государственный технический университет, Республика Беларусь

В статье приводится реализация параллельного моделирования работы светофорных объектов с жестким методом управления и адаптивным. Параллельное моделирование и визуализация позволяют в процессе выполнения следить за работой алгоритмов. Статистика по очередям доступна так же и после выполнения моделирования и в процессе моделирования. Приводятся основные результаты моделирования перекрестков двух типов управления.

Ключевые слова: *адаптивное управление, светофорные объекты, компьютерное моделирование.*

У статті розглядається реалізація параллельного моделювання роботи світлофорних об'єктів з жорстким методом управління і адаптивним. Паралельнемоделювання та візуалізація дозволяють в процесі виконання стежити за роботою алгоритмів. Статистика по чергах доступна так само і після виконання моделювання та в процесі моделювання. Наводяться основні результати моделювання перехресть двох типів управління.

Ключові слова: *адаптивне управління, світлофорні об'єкти, комп'ютерне моделювання.*

This article provides an implementation of the parallel simulation of traffic lights with a rigid method, and adaptive management. Parallel modeling and visualization allow the process to monitor the implementation of the algorithm. Statistics queues are available during the simulation. The main results of simulations of two types of intersection control.

Key words: *adaptive control, traffic light object, computer simulation.*

1. Общая постановка задачи и её актуальность

За последние годы в нашей стране и за рубежом интенсивно ведутся работы по созданию сложных автоматизированных систем с применением управляющих ЭВМ, средств автоматики, телемеханики, диспетчерской связи и телевидения для управления движением в масштабах крупного района или целого города. Опыт эксплуатации таких систем убедительно свидетельствует об их эффективности в решении транспортной проблемы.

Основные недостатки жесткого метода управления светофорным объектом (СФО):

- Работа вхолостую, когда определённому направлению открыт зелёный, а машин по этому направлению нет. В то время как на других направлениях машины стоят перед красным сигналом светофора.
- По направлению был открыт зелёный, который через некоторое время сменился на красный, в тоже время не все машины с данного направления успели проехать перекрёсток. И более того, частая смена фаз светофора не позволяет автомобилю пересечь перекрёсток в два и менее приёма. Автомобиль приближается к

перекрёстку рывками, путём остановок и новых движений. Последнее ухудшает экологию города, ведёт к перерасходу горючего, снижает моторесурс автомобиля, увеличивает аварийность перед перекрёстком.

- Несогласованность длительности включенной фазы с истинной интенсивностью потока по направлению снижает пропускную способность перекрёстка и ведёт к пробкам, которые вредно действуют на психическое состояние водителей и их здоровье. Последнее напрямую связано с аварийностью.
- Современное состояние пересечения транспортом перекрёстка не учитывают интенсивность потоков с разных направлений, которая носит случайный характер и меняется не только в течении суток, но и часов, и минут.

Целью работы является разработка программного средства параллельно моделирующего работу жёсткого и адаптивного управления светофорным объектом.

2. Постановка задачи

Прежде чем начать разработку, создание и внедрение любой дорогостоящей системы, необходимо удостовериться в её необходимости. Для этого используется моделирование, которое позволяет оценить возможности той или иной системы, в данном случае разрабатывались программы моделирования дорожных перекрёстков, использующих различные методы управления.

Моделирование основывается на теории массового обслуживания. Перекрёсток можно представить как систему с четырьмя обслуживающими приборами и четырьмя потоками заявок (рис. 1).

Время задержки в обслуживающих устройствах зависит от времени зелёных и красных фаз светофора, а так же времени переходного процесса. Интенсивность потоков на дорогах меняются не только в течении суток, но и носят случайный характер в целом. Поэтому для удобства проведения моделирования, следует написать программу, в которой можно изменять параметры системы, а именно средние значения интенсивности входных потоков и длительность фаз светофора.

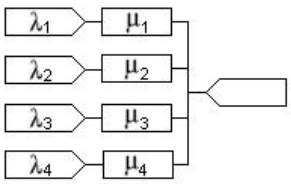

Рис. 1. Схема моделирования перекрёстка

Для моделирования был выбран язык программирования Delphi 7.0 (Borland). Существует множество языков программирования, каждый из которых предназначен для решения определенного класса задач. Это один из популярных языков программирования общего назначения. Разработка

программного обеспечения в среде Borland отличается простотой и более высокой скоростью разработки.

3. Описание реализации

Структурная схема модели представлена на рисунке 2. Она включает в себя генерацию автомобилей, буфер перекрестка, карту перекрестка, сигналы светофора, графическое отображение и сбор статистики.

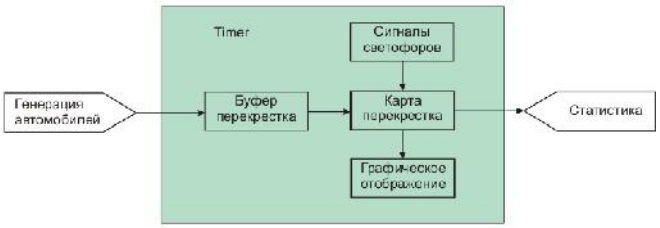

Рис. 2. Структура модели

Параметры моделирования: интенсивность потоков для каждой полосы (рис. 3), длительность фаз адаптивного и жесткого светофоров (рис. 6) определяется пользователем. Интенсивность потока вычисляется по заданным пользователем значениям для каждого направления по формуле (1).

$$I_k = \frac{\sum_{3}^{tip=1} N}{3600 \cdot t}, \qquad (1)$$

где, I_k – интенсивность для k-го направления;

tip – тип автомобиля (легковой, грузовой общественный);

N – количество автомобилей данного типа;

t – время генерации (в секундах).

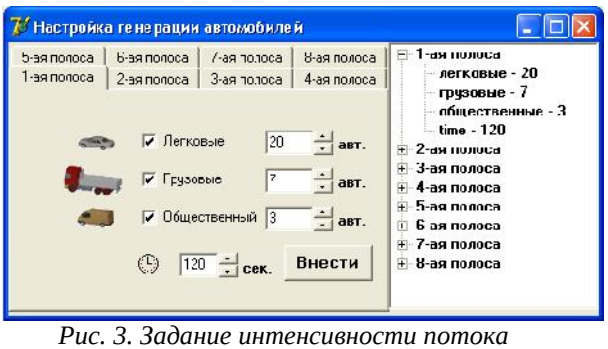

Рис. 3. Задание интенсивности потока

После начала моделирования происходит определение текущего времени посредством процедуры `TIMEnow`. Даная процедура определяет текущий час,

минуту, секунду с начала моделирования и необходима для заполнения буфера перекрестка.

Буфер перекрестка имеет такой же размер как и массив списка автомобилей и служит посредником между генерацией автомобилей и картой перекрестка, который позволяет разрешить следующие тупиковые ситуации:

1) если сразу несколько автомобилей появляются на перекрестке в одно время;
2) в случае нехватки места для отрисовки автомобилей;
3) в случае возникновения очереди превосходящей размеры перекрестка.

Карта перекрестка (LAP_DVIZH) представляет собой двумерный массив (рис. 4). Если элемент массива равен 0, то это означает, что соответствующий пиксель изображения перекрестка свободен. Занятые пиксели в массиве обозначены числам, являющимся номером автомобиля. На рисунке 4 номером автомобиля является число 101.

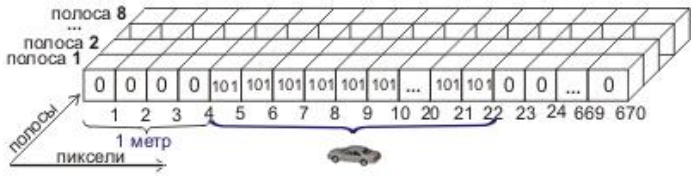

Рис. 4. Графическое представление массива карты перекрестка

Физический размер изображения перекрестка в программе составляет 600 пикселей. Размерность массива карты движения перекрестка составляет 670 пикселей. 70 пикселей необходимы для полного отображения изображения автомобилей различных типов. Четыре пикселя изображения перекрестка равны одному метру реального перекрестка.

Характеристики автомобилей хранятся в массиве MAS_car (см. таблицу 1). Скорость автомобилей для моделирования вычисляется по формуле 2.

$$V = \frac{V_П}{t_C \cdot M} \cdot \frac{3600}{1000}, \qquad (2)$$

где, V – скорость автомобиля (км/ч);

$V_П$ – скорость автомобиля (пикселей/долю секунды);

t_C – продолжительность 1 секунды (доль);

M – масштаб 1 метра (пикселей).

Табл. 1. Характеристики различных типов автомобилей (MAS_car)

Наименование	Тип	Длина, пикселей	Скорость, пикселей в 1/25 секунды
Легковой	1	18	2
Грузовой	2	35	2
Общественный	3	25	2

Перемещение автомобилей по карте перекрестка происходит путем заполнения его номером ячеек массива карты перекрестка со скоростью соответствующей данному типу автомобиля (см. таблицу 1). Также для перемещения берется во внимание наличие необходимых свободных ячеек и сигнал светофора. Принцип перемещения представлен на рисунке 8.

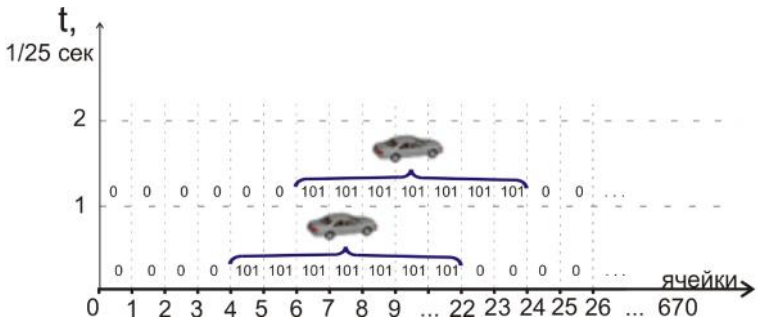

Рис. 5. Принцип перемещения автомобилей

Эффект графического перемещения автомобилей по перекрестку создан путем периодической прорисовки изображения автомобиля с заданным его скоростью смещением относительно его прежнего положения. При этом перед выводом изображения в новой точке сначала удаляется предыдущее изображение. Удаление картинки выполнено путем перерисовки той части картинки, которая перекрыта битовым образом движущегося объекта.

В данной имитационной модели регулирование движения осуществляется двухфазным светофорным объектом. Настройка управления фазами жесткого и адаптивного светофоров ведется пользователем из формы, показанной на рисунке 6.

Рис. 6. Настройка длительности фаз светофоров

Переключение сигналов жёсткого светофорного объекта (СФО) ведется циклично исходя из длительности фаз красного и зеленого сигнала для каждого направления.

Моделирование светофора с адаптивным управлением ведётся с использованием числовых значений указанных в таблице 2.

Табл. 2. Управляющие переменные адаптивного светофора

Наименование переменной	Характеристика переменной
T_min_A	Минимальная длительность зеленой фазы СФО на А направлении
T_max_A	Максимальная длительность зеленой фазы СФО на А направлении
Traz_A	Интервал времени при котором на А направлении произойдет переключение сигнала
T_min_B	Минимальная длительность зеленой фазы СФО на В направлении
T_max_B	Максимальная длительность зеленой фазы СФО на В направлении
Traz_B	Интервал времени при котором на В направлении произойдет переключение сигнала

Время разрыва для каждого направления определяется по 4 полосам карты перекрестка. Полосы с 1 по 4 соответствуют переменной Traz_A, а полосы с 5 по 8 – Traz_B. Если в определенный интервал времени 50 ячейка соответствующей полосы равна нулю, то происходит увеличение соответствующей переменной. В противном случае она обнуляется. Схема переключения сигнала для адаптивного светофора схожа с жёстким управлением, разница заключается в

длительности фаз СФО. Схема алгоритма переключения фаз адаптивного светофора изображена на рисунке 7.

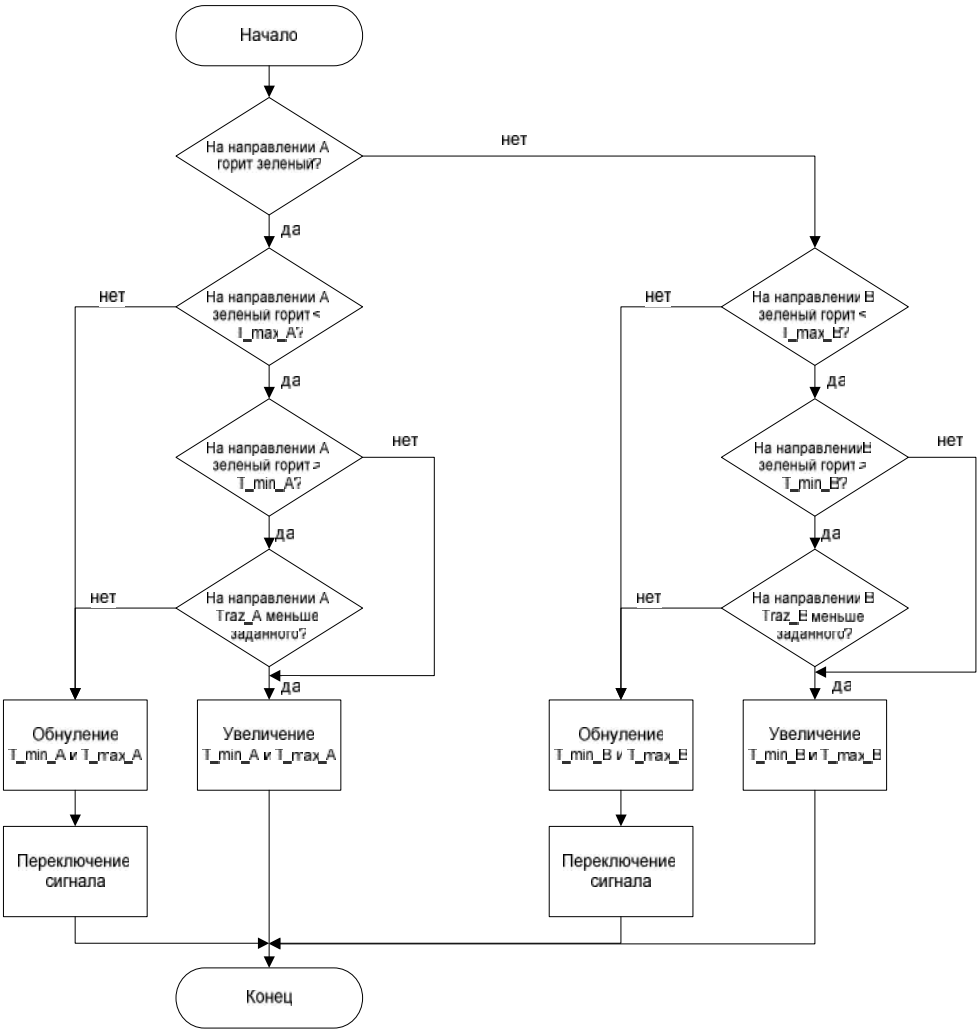

Рис. 7. Схема алгоритма переключения адаптивного СФО

4. Результаты моделирования

Моделирование проводилось на потоках различной интенсивности. Поступление транспортных средств на карту перекрестка в моделях происходит одновременно, таким можно в реальном режиме отслеживать длины очередей на перекрестках, а также статистику по процессу моделирования.

Основные результаты моделирования перекрёстка с жёстким регулированием сведены в таблицу 3, время фазы зелёного света 30 секунд. Всего две фазы на моделируемом перекрёстке.

Табл. 3. Тестирование перекрёстка с жёстким регулированием, неравномерный поток

Полоса движения	Интенсивность, авто/час	Максимальная длина очереди, авто	Средняя длина очереди, авто
Запад 1	800	16	2.39
Запад 2	800	9	1.89
Восток 1	800	12	2.14
Восток 2	800	8	1.75
Север 1	400	6	1.07
Север 2	360	6	1.56
Юг 1	360	7	1.31
Юг 2	400	9	1.25

Основные результаты моделирования перекрёстка с адаптивным регулированием сведены в таблицу 4. Всего две фазы на моделируемом перекрёстке. Моделирование на неравномерном потоке.

Табл. 4. Тестирование перекрёстка с адаптивным регулированием, неравномерный поток

Полоса движения	Интенсивность, авто/час	Максимальная длина очереди, авто	Средняя длина очереди, авто
Запад 1	800	7	0.88
Запад 2	800	5	0.87
Восток 1	800	5	0.78
Восток 2	800	6	0.70
Север 1	400	8	0.98
Север 2	360	3	0.38
Юг 1	360	3	0.23
Юг 2	400	4	0.49

Для сравнения методов управления моделирование проводилось на насыщенном транспортном потоке.

Табл. 5. Тестирование перекрёстка с жёстким регулированием, насыщенный поток

Полоса движения	Интенсивность, авто/час	Максимальная длина очереди, авто	Средняя длина очереди, авто
Запад 1	900	17	4.01
Запад 2	1200	8	1.64
Восток 1	1500	12	2.88
Восток 2	1500	18	3.99
Север 1	1200	16	3.31
Север 2	1500	12	2.80
Юг 1	900	17	3.04
Юг 2	900	12	3.61

Основные результаты моделирования перекрёстка с адаптивным регулированием сведены в таблицу 6. Всего две фазы на моделируемом перекрёстке.

Табл.6. Тестирование перекрёстка с адаптивным регулированием, насыщенный поток

Полоса движения	Интенсивность, авто/час	Максимальная длина очереди, авто	Средняя длина очереди, авто
Запад 1	900	13	2.89
Запад 2	1200	10	2.39
Восток 1	1500	10	2.74
Восток 2	1500	15	2.87
Север 1	1200	16	3.94
Север 2	1500	9	1.91
Юг 1	900	14	3.2
Юг 2	900	7	1.72

Пример визуального отображения процесса моделирования работы перекрестков приведен на рисунке 8.

Рис .8. Визуальное представление процесса моделирования

В процессе моделирования ведется сбор статистики, которую можно просматривать в реальном времени (рис. 9). Статистику можно выбирать по каждой полосе, направлению или для всего перекрестка. В данной статистике присутствуют графики:

1. График загруженности перекрестка (рис. 9а);
2. Интегральный график загруженности перекрестка (рис. 9б);
3. График длины очередей (рис. 9в);
4. Диаграмма сгенерированного появления автомобилей на перекрестке (рис. 9г).

Данная информация позволяет следить за динамикой очередей и ситуацией на перекрестках.

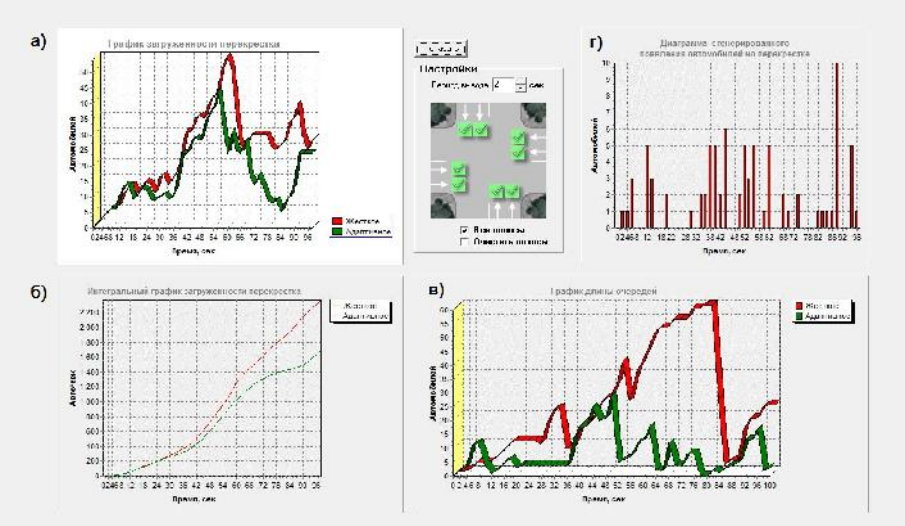

Рис. 9. Окно графиков программы

5. Выводы по результатам работы

В результате выполненной работы были созданы модели перекрёстков с жестким типом регулирования и с адаптивным регулированием, с визуализацией процесса моделирования. В результате сравнения выяснено, что для наиболее оптимального регулирования дорожным движением необходимо применять адаптивное управление. Жесткое программное регулирование не способно учитывать случайные кратковременные колебания в числе автомобилей, подходящих к перекрестку.

Таким образом, адаптивное управление улучшает управление движением на перекрестке, и состоит из таких технических средств и алгоритмов управления, которые обеспечивают адаптацию режимов регулирования к изменению условий движения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Тёрнер Д. Вероятность, статистика и исследование операций. – М.: Статистика, 1976.
2. Афанасьев М.Б., Кременец Ю.А., Печёрский М.П. Технические средства организации дорожного движения. – М.: «Академкнига», 2005.
3. Шеннон. Имитационное моделирование систем – искусство и наука. – М.: «Мир», 1978.
4. Клинковштейн Г.И., Афанасьев М.Б. Организация дорожного движения: Учеб. для вузов. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Транспорт, 1977.
5. А. Хомоненко, В. Гофман, Е. Мещеряков, В. Никифоров. Delphi 7. Наиболее полное руководство. – 2008.

Надійшла у першій редакції 13.03.2012, в останній – 21.03.2012.