М а т е м а т и к а . П р и к л а д н а я м а т е м а т и к а

УДК 004.94

Максимова Надежда Николаевна

Амурский государственный университет

г. Благовещенск, Россия

E-mail: knnamursu@mail.ru**Maksimova Nadezhda Nikolaevna**

Amur State University

Blagoveshchensk, Russia

E-mail: knnamursu@mail.ru**Салмиянов Владислав Олегович**

Амурский государственный университет

г. Благовещенск, Россия

E-mail: svsalmiyanov@mail.ru**Salmiyanov Vladislav Olegovich**

Amur State University,

Blagoveshchensk, Russia

E-mail: svsalmiyanov@mail.ru**ОПТИМИЗАЦИЯ ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ТРАНСПОРТНОГО ПОТОКА
НА РЕГУЛИРУЕМОМ ПЕРЕКРЕСТКЕ****OPTIMIZATION OF THE TRAFFIC FLOW SIMULATION MODEL
AT A REGULATED INTERSECTION**

Аннотация. В работе представлена имитационная модель транспортного потока на регулируемом перекрестке (на примере пересечении улиц Калинина и Тенистой в г. Благовещенске). Исследование имитационной модели осуществлено в среде AnyLogic. Проведен оптимизационный эксперимент для минимизации времени проезда перекрестка транспортными средствами.

Abstract. In this paper the traffic flow simulation model at a regulated intersection presents (on the example of the intersection of Kalinina and Tenistaya streets in Blagoveshchensk). The study of the simulation model was carried out in the AnyLogic program. An optimization experiment was carried out to minimize the travel time of the intersection by vehicles.

Ключевые слова: транспортный поток, имитационное моделирование, среда AnyLogic, оптимизационный эксперимент.

Key words: traffic flow, simulation modeling, AnyLogic environment, optimization experiment.

DOI: 10.22250/jasu.95.1

Введение

Вопрос изучения транспортных потоков становится всё более актуальным и востребованным, так как загруженность дорог увеличивается, создавая множество проблем [1]. В России, по данным Росстата, общее количество транспортных средств в среднем увеличивается на 10-15% в год. Данная проблема является актуальной и для мегаполисов, и для обычных городов.

Рост количества автомобилей приводит к увеличению интенсивности дорожного движения и, как следствие, возникновению заторов. Длинные очереди на дорогах создают задержки в движении, ведут к пустому расходованию топлива, времени автомобилистов, износу транспортных средств.

Для решения задачи разгрузки транспортных сетей важно выделить причины возникновения заторов. Условно их можно разделить на предсказуемые (ежедневная пробка в утреннее и вечернее время, плановые дорожные работы и т.п.) и непредсказуемые (дорожно-транспортные происшествия, плохое покрытие дорожного полотна и др.).

Кроме того, причинами заторов могут стать малая ширина дороги и недостаточное количество полос движения, а также ненастроенные фазы светофоров. Например, при движении по широкой улице приходится часто останавливаться на сигналы светофора в то время, как на следующем перекрестке просто так горят разрешающие фазы светофора.

Реконструкция существующих и возведение новых транспортных артерий – очевидное решением данной проблемы, однако такие меры требуют больших материальных и временных затрат и могут оказаться неприменимыми к некоторым участкам дорожной сети (узкие проезды, участки, имеющие историческую ценность, и т.п.).

Оптимизация работы светофоров в сравнении с первым подходом требует не таких больших материальных издержек, однако нуждается во времени и натурных экспериментах.

Одним из упрощенных и не менее эффективных способов разрешения данной проблемы является имитационное моделирование [2]. Имитационная модель вследствие настройки параметров становится похожей на настоящую дорожную ситуацию.

К преимуществам имитационного моделирования также можно отнести наглядность, экономию времени, относительную дешевизну разработки.

Среди пакетов имитационного моделирования выделяется российский продукт AnyLogic [3-5], включающий три метода моделирования (системная динамика, дискретно-событийное (процессное) моделирование, агентное моделирование). В настоящее время данное программное средство используется для исследования и оптимизации работы самых разных объектов, которые можно отнести к системам массового обслуживания.

Для моделирования транспортных потоков в среде AnyLogic используется библиотека дорожного движения, которая позволяет детально планировать, проектировать и моделировать транспортные потоки. Алгоритмы библиотеки изначально настроены в соответствии с правилами дорожного движения, в самой модели можно настраивать правила разъездов и т.п., кроме того, каждое транспортное средство, именуемое агентом, имеет индивидуальные физические параметры и различные поведенческие шаблоны.

Постановка задачи

В качестве объекта имитационного моделирования на карте г. Благовещенска Амурской области был выбран участок ул. Калинина, от ул. Пролетарской до въезда на перекресток кольцевого типа, с учетом перекрестков с ул. Заводской и ул. Тенистой (рис. 1).

Пересечение ул. Калинина и ул. Тенистой – один из самых «проблемных» участков в транспортной сети города в силу своей загруженности. Этот перекресток является одним из трех мест, связывающих микрорайон с главной частью города. Власти города неоднократно пытались решить проблему по разгрузке данного перекрестка. С 2016 г. его реконструировали из Т-образного в четырехсторонний. В сентябре 2020 г. здесь был запрещен поворот налево от торгового центра «Флагман» в сторону кольцевой развязки. Однако и в настоящее время проблема загруженности данного перекрестка, особенно в утренние и вечерние часы пик, остается актуальной.

Рис. 1. Карта местности.

Создание имитационной модели в пакете AnyLogic

Создадим дорожную сеть, воспользовавшись библиотекой дорожного движения и разметкой пространства. Воспользуемся картографическими средствами [6] и создадим снимок, чтобы впоследствии на этом снимке начертить схемы дорог. Отметим, что для правильного отображения дорог следует выставить масштаб.

Один перекресток (на пересечении улиц Калинина и Тенистой) регулируется светофором; другой (на пересечении улиц Калинина и Заводской) – знаками приоритета. При соединении перекрестков следует выбрать направления разрешенного движения как на настоящем перекрестке, тем самым в модели на перекрестке будут указываться разрешенные направления (рис. 2).

Рис. 2. Направления движения на перекрестке улиц Калинина и Тенистой.

Создадим потоковую диаграмму, состоящую из элементов 5 разных видов: Car Source, Car Move To, Car Dispose, относящихся к библиотеке дорожного движения, Select Output, Select Output-5 и взятых из библиотеки моделирования процессов (рис. 3).

Данная потоковая диаграмма разделена на четыре стороны, откуда будут появляться объекты.

Блок *Car Source* создает и помещает автомобили на указанную дорогу или парковку дорожной сети. В данном блоке основным параметром указывается интенсивность прибытия; установим, что интенсивность (количество прибывающих автомобилей) составляет 600 агентов в час с юга, восток, севера и 300 агентов в час с запада.

Блок *Car Move To* управляет движением автомобиля, который рассчитывает свой путь до указанного места назначения при поступлении в блок Car Move To.

Блок *Car Dispose* удаляет автомобили из дорожной сети при достижении цели движения.

Блок *Select Output* распределяет потоки агентов, в нашем случае автомобилей, по выходным портам, которые соединяются с блоком *Car Move To* с заданной вероятностью.

Блок *Select Output 5* выполняет те же функции, что и блок *Select Output*, но вместо двух выходных портов в данном блоке можно задействовать от двух до пяти выходных портов.

Рис. 3. Потокковая диаграмма имитационной модели.

Перечисленные блоки выполняют функцию передвижения и выбора направления автомобилей. Для регулирования потоков используются настройки стоп-линии и блок *Traffic Light*, который позволяет использовать светофор.

В настройках стоп-линии установим галочку напротив соответствующего пункта «Уступить дорогу» в месте пересечения улиц Заводской и Калинина (рис. 4).

Рис. 4. Установка приоритетов движения на пересечении улиц Заводской и Калинина.

Блок *Traffic Light* моделирует работу светофора. В настройках этого блока важно указать, к какому перекрестку следует применить данное устройство, в противном случае он работать не будет, а также произвести настройку фаз светофора (рис. 5).

Рис. 5. Настройка фаз светофора на пересечении улиц Калинина и Тенистой.

После формирования дорог для полноты и правдоподобности картины следует реализовать один из самых загруженных участков, также влияющий на загрузку дорог, – парковку около ТЦ «Флагман», кроме того, необходимо добавить общественный транспорт и места его остановок. Алгоритм создания автобусных маршрутов существенно не отличается от создания маршрутов легковых автомобилей. В данной статье опустим описание создания этих частей имитационной модели.

Создание параметров статистики

Для сбора статистики в модели необходимо добавить некоторые параметры для агентов. Прежде всего следует создать агент «Car», в окне «Параметры агента» указать параметр «времяПоявления» (рис. 6). Этот параметр необходим для того, чтобы программа рассчитывала время проезда перекрестка.

Рис. 6. Создание параметра для агента «Car».

Далее требуется создать популяцию агентов, необходимую для подсчета количества самих агентов (рис. 7). Затем, на втором шаге, следует выбрать пункт, в котором указывается использование существующих агентов. На третьем шаге отмечается, для какого агента создается популяция (в данном случае нужна популяция агентов «Car»). Четвертый шаг остается неизменным, поскольку в имитационной модели база данных использоваться не будет. На пятом шаге выбирается параметр агента «ВремяПоявления», созданного ранее. В заключительном, шестом шаге отмечается пункт создания пустой популяции.

Рис. 7. Окно выбора типа популяции

Далее нужно в свойства объекта «Car» добавить код, который будет рассчитывать количество уничтоженных агентов и вести их статистику (рис. 8).

Рис. 8. Код статистики.

Для наполнения данных статистики необходимо после создания популяции для каждого блока *Car Source* в графе «Специфические» указать популяцию, сгенерированную ранее (рис. 9).

Рис. 9. Настройка блока *Car Source*.

После создания модели и настройки всех необходимых параметров запускаем имитацию, и система начнет подсчитывать количество транспортных средств, проехавших перекресток, и рассчитывать среднее время проезда перекрестка. На рис. 10 представлены статистические данные за время имитации (1 час). Согласно этим данным за промежуток времени перекресток суммарно (со всех направлений) пересекли 437 автомобилей. Среднее время проезда (с момента появления до момента покидания перекрестка) составляет 289 сек., минимальное – 40 сек., максимальное – 2441 сек.

времяПроезда				
Кол-во	437			
Среднее	289.281			
Мин	40.273			
Макс	2,441.447			
Среднеквадр. отклонение	411.893			
Доверит. интервал для среднего	38.619			
Сумма	126,415.951			
От	До	Плотность	вероятности	Функция распределения
37.9	293.9	322	322	
293.9	549.9	82	404	
549.9	805.9	8	412	
805.9	1,061.9	4	416	
1,061.9	1,317.9	1	417	
1,317.9	1,573.9	2	419	
1,573.9	1,829.9	2	421	
1,829.9	2,085.9	7	428	
2,085.9	2,341.9	7	435	
2,341.9	2,597.9	2	437	

Рис. 10. Статистика проезда перекрестков (без оптимизации).

Для понимания дорожной ситуации можно воспользоваться гистограммой, представленной на рис. 11. На гистограмме показано время (в сек., ось абсцисс) и процент автомобилей, которым понадобилось указанное время для пересечения перекрестка (ось ординат).

Рис. 11. Гистограмма времени проезда.

Разумеется, полученные результаты не могут согласовываться с действительностью, поскольку на текущий момент отсутствуют статистические данные о количестве автомобилей, прибывающих на данный перекресток. Однако полученные результаты дают основание для имитационного моделирования реальной дорожной ситуации.

Создание параметров для оптимизации

Одним из решений оптимизации является регулировка фаз светофора. Для оптимизации модели необходимо создать три параметра для каждой фазы светофора $p1$, $p2$, $p3$. Установим эти параметры в настройки блока светофора (рис. 12).

Рис. 12. Выбор параметров для фаз светофора.

Далее создадим новый эксперимент «Оптимизация». В качестве целевой функции укажем среднее время проезда перекрестка и отметим основные параметры эксперимента (рис. 13).

Рис. 13. Настройка эксперимента оптимизации.

Для нахождения оптимальных фаз светофора укажем дискретный тип созданных ранее параметров, их минимальное и максимальное значение и шаг, с которым будут меняться параметры (рис. 14).

Параметры					
Параметры:					
Параметр	Тип	Значение			
		Мин.	Макс.	Шаг	Начальное
p1	дискретный	30	90	5	
p2	дискретный	20	40	5	
p3	дискретный	30	90	5	

Рис. 14. Настройка параметров для эксперимента.

Далее следует проведение эксперимента: программа будет перебирать различные сочетания фаз светофоров и предлагать лучший из них (рис. 15). В результате создается изменяющаяся таблица, в которой указываются текущие значения установленных фаз светофоров и лучшие их значения.

После запуска имитационной модели с новыми оптимальными значениями фаз светофора получим следующие данные (рис. 16): среднее время проезда составляет 241 сек., минимальное – 40 сек., максимальное – 905 сек. Полученные результаты свидетельствуют, что с новыми значениями фаз светофора водители будут тратить меньше времени на проезд перекрестка. Тем самым количество автомобилей, стоящих на перекрестке и ожидающих проезда, может значительно сократиться.

Рис. 15. Результат выполнения оптимизации.

времяПроезда				
Кол-во	313			
Среднее	240.595			
Мин	40.26			
Макс	904.953			
Среднеквадр. отклонение 168.159				
Доверит. интервал для среднего 18.63				
Сумма	75,306.133			
От	До	Плотность вероятности	Функция распределения	
23.2	176.8	142	142	
176.8	330.4	94	236	
330.4	484	44	280	
484	637.6	25	305	
637.6	791.2	7	312	
791.2	944.8	1	313	

Рис. 16. Статистика проезда перекрестков (с оптимизацией).

Одним из решений для оптимизации транспортного потока является добавление еще одного перекрестка с регулируемым движением. Таким перекрестком является пересечение улиц Заводская и Калинина. После добавления можно создать оптимизационный эксперимент для обоих пересечений одновременно с целью сократить время на проезд.

Заключение

Дальнейшая работа заключается в получении статистических данных об интенсивности прибытия автомобилей на перекресток с каждого направления и в моделировании реальной дорожной ситуации. В настоящее время в г. Благовещенске отсутствуют автоматизированные средства получения такой информации.

1. Маркуц, В.М. Транспортные потоки автомобильных дорог. Учебное пособие. – М.: Инфра-Инженерия, 2018. – 148 с.
2. Колышкина, Д.В. Обзор программ имитационного моделирования движения транспортных потоков / Д.В. Колышкина, Я.А. Дрогачева, А.Г. Шевцова // Воронежский научно-технический вестник. – 2019. – Т. 3, № 3(29). – С. 111-117.
3. Киселева, М.В. Имитационное моделирование систем в среде AnyLogic. Учебно-методическое пособие. – Екатеринбург: УГТУ – УПИ, 2009. – 88 с.
4. Лимановская, О.В. Имитационное моделирование в AnyLogic 7: В 2 ч. – Ч. 1 – учебное пособие. – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2017. – 152 с.
5. Лимановская, О.В. Имитационное моделирование в AnyLogic 7: В 2 ч. – Ч. 2 – лабораторный практикум. – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2017. – 104 с.
6. Яндекс. Карты. – URL: https://yandex.ru/maps/77/blagoveshchensk/?l=sat%2Cskl&ll=127.526640%2C50.285713&utm_source=main_stripe_big&z=17 (дата обращения: 28.09.2020)