

## **ПОДХОДЫ К ИМИТАЦИОННОМУ МОДЕЛИРОВАНИЮ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ**

### **APPROACHES FOR IMITATION SIMULATION TRAFFIC ON CROSSROAD**

Задача, связанная с урегулированием дорожной ситуации на транспортных развязках, в условиях постоянного роста количества машин, является очень сложной и трудоемкой. Для решения данной задачи необходимо построение новых дорог и транспортных развязок, регулировка режимов работы светофоров в зависимости от интенсивности потока машин, времени суток, погодных условий и т. д. Однако процесс строительства новых транспортных развязок является очень дорогостоящим, требующим постоянных денежных вложений (в связи с увеличением транспортного потока необходима постоянная модернизация развязок, смена дорожного покрытия и т.д.) [3].

В современных условиях, ввод в эксплуатацию новых развязок со временем так же перестает решать существующую проблему и приводит к необходимости построения еще более новых и наиболее пригодных для использования дорог.

К сожалению, как показывает практика, строительство новых дорог и развязок, происходит очень медленно и к моменту ввода их в эксплуатацию необходима уже новая реорганизация того же участка дороги. Это хорошо подтверждает идею, что дорожная ситуация день ото дня становится только хуже, нарушая нормальную жизнедеятельность в условиях города. Поэтому при строительстве новых дорог и развязок необходимо учитывать много факторов, к примеру, таких как ежедневный прирост машин, т.е. статистические данные по увеличению интенсивности транспортного потока на реконструируемом участке дороги, чтобы вводимый в эксплуатацию участок дороги в дальнейшем смог на какое-то время решить проблему заторов и снизить плотность потока на данном участке.

Поэтому, можно утверждать, что процесс строительства новых дорог и развязок очень сложен. При проектировании участка дорожной сети необходима проектно-сметная документация. Проектная документация включает в себя информацию о технологии строительства, а так же анализ характеристик магистралей. Самая важная характеристика магистрали – это интенсивность дорожного движения. Интенсивность движения транспорта

(дорожного движения) - общее количество транспортных средств, проходящих через некоторое сечение дороги в единицу времени. Но при этом рассматриваются усредненные характеристики транспортного потока, что не дает четкой картины происходящего в каждый момент времени на определенном участке дорожной сети. Интенсивность движения машин на дороге неравномерна и зависит от большого количества внешних факторов (погодных условий, освещения, особенностей рельефа и т.д.). К примеру, скорость движения потока в будние дни в час пик одна, а днем, когда поток не большой скорость больше. Но если, например, произойдет серьезная авария в дневные часы, то скорость потока может заметно упасть даже ниже скорости в час пик, а в ночное время движение по магистрали не затруднено. В проектной же документации используются средние значения, полученные от источника информации за весь день и выводится средняя интенсивность потока за сутки.

Для более полной картины при проектировании участка дорожной сети и необходимо имитационное моделирование транспортных систем. Имитационное моделирование — это метод, позволяющий строить описывающие процессы так, как они проходили бы в действительности. Их можно «проиграть» во времени как для одного испытания, так и заданного их множества. При этом результаты будут определяться случайным характером процессов.

Имитационное моделирование — это метод исследования, при котором изучаемая система заменяется моделью с достаточной точностью описывающей реальную систему и с ней проводятся эксперименты с целью получения информации об этой системе. Экспериментирование с моделью называют имитацией (имитация — это постижение сути явления, не прибегая к экспериментам на реальном объекте).

С помощью имитационного моделирования можно проанализировать дорожно-транспортную обстановку не только на основе усредненных данных, но и учитывая ряд особенностей, характерных именно для заданного потока (к примеру, характеристики машин). Так же имитационное моделирование позволяет имитировать поведение системы во времени. При этом временем в модели можно управлять: замедлять в случае с быстропротекающими процессами и ускорять для моделирования систем с медленной изменчивостью.

Имитационная модель позволяет рассматривать поведение исследуемой системы во времени. При имитационном моделировании структура моделируемой системы должна адекватно отображаться в модели, а процесс ее поведения рассматривается на построенной модели. Сравнение характеристик (конструкций, управлений) моделируемого объекта осуществляется путем вариантных просчетов. Особую роль имеет возможность многократного воспроизведения моделируемых процессов с последующей их статистической обработкой, позволяющая учитывать случайные внешние воздействия на изучаемый объект. На основе набираемой

в ходе компьютерных экспериментов статистики делаются выводы в пользу того или иного варианта функционирования или конструкции реального объекта или сущности явления. Имитационное моделирование имеет итерационный характер и предполагает поэтапную детализацию моделируемых подсистем, что позволяет постепенно увеличивать полноту оценки принимаемых решений по мере выявления новых проблем и получения новой информации.

Рассмотрим подходы к построению имитационной модели движения транспортных средств на перекрестке. Пусть имеется некоторый участок дороги с перекрестком.

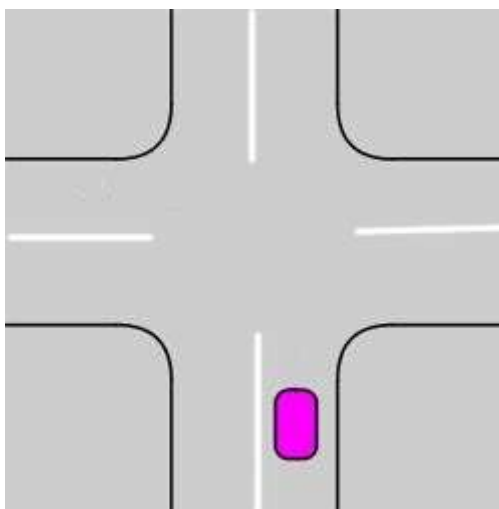


Рис.1. Некоторый перекресток

Для того чтобы задача была наиболее близкой к действительности, необходимо, чтобы каждое транспортное средство, проезжающее по данному участку дороги рассматривалось, как отдельный элемент, а не как отдельная составляющая потока транспортных средств. Поэтому необходимо воспользоваться микромоделированием.

Также, для того, чтобы адаптировать систему под любой перекресток и под любое время суток, а именно сделать ее более адекватной, необходимо усложнить задачу и рассматривать вариант имитации, где возможно варьирование исходных данных.

Необходимо промоделировать во времени движение транспорта по этому участку дороги, поэтому прибегаем к использованию компьютерных имитационных моделей, т.к. оно позволяет исследовать поведение системы во времени.

Имитационное моделирование бывает двух типов:

1. моделирование с непрерывным временем, при котором обрабатываются только те моменты времени, когда происходит изменение состояния системы;
2. моделирование с дискретным временем, которое предполагает сканирование системы через равные малые промежутки времени.

Движение машин происходит постоянно и может быть разбито на элементарные перемещения, которые совершаются каждый момент времени. Поэтому целесообразно воспользоваться дискретно-событийным моделированием, т.к. это подход к моделированию, предлагающий абстрагироваться от непрерывной природы событий и рассматривать только основные события моделируемой системы, такие как: «ожидание», «обработка заказа», «движение с грузом», «разгрузка» и другие. То схему поведения каждого транспортного средства можно описать следующими правилами, которым она подчиняется:

- если возможно двигаться дальше, т.е. дорога свободна и горит разрешающий сигнал светофора, то передвинуться на величину шага.
- если движение дальше не возможно (дорога занята, запрещающий сигнал светофора), не двигаться дальше.

Эта основные правила, описывающие поведение системы во времени с помощью дискретно-событийного подхода в имитационном моделировании.

Введем еще одно понятие. Под системой в нашем случае будет подразумеваться дорожное движение (положения транспортного средства во времени). Данная система будет являться сложной системой и будет взаимодействовать с окружающей средой.

Множество состояний системы — все возможные состояния системы (в нашем случае их 5- машина стоит, машина едет прямо, машина едет налево, машина едет направо, машина тормозит). Тогда систему можно представить в виде конечного автомата.

Конечный автомат — абстрактный автомат без выходного потока, число возможных состояний которого конечно. Результат работы автомата определяется по его конечному состоянию.

Существуют различные варианты задания конечного автомата. Например, конечный автомат может быть задан с помощью пяти параметров:  $M = (Q, \Sigma, \delta, q_0, F)$ , где:

- $Q$  — конечное множество состояний автомата;
- $q_0$  — начальное состояние автомата ( $q_0 \in Q$ );
- $F$  — множество заключительных (или допускающих) состояний, таких что  $F \subseteq Q$ ;
- $\Sigma$  — допустимый входной алфавит (конечное множество допустимых входных символов), из которого формируются строки, считываемые автоматом;
- $\delta$  — заданное отображение множества  $Q \times \Sigma$  во множество  $P(Q)$  подмножеств  $Q$ :

$$\delta : Q \times \Sigma \rightarrow P(Q)$$

(иногда  $\delta$  называют функцией переходов автомата).

Автомат начинает работу в состоянии  $q_0$ , считывая по одному символу входной строки. Считанный символ переводит автомат в новое состояние из  $Q$  в соответствии с функцией переходов. Рассмотрим случай, при котором возможны 4 состояния (рисунок 2):

$q_0$  – начальное состояние, машина стоит;  
 $q_1$  – машина едет прямо;  
 $q_2$  – машина едет налево;  
 $q_3$  – машина едет направо.

Тогда графически конечный автомат будет выглядеть следующим образом:

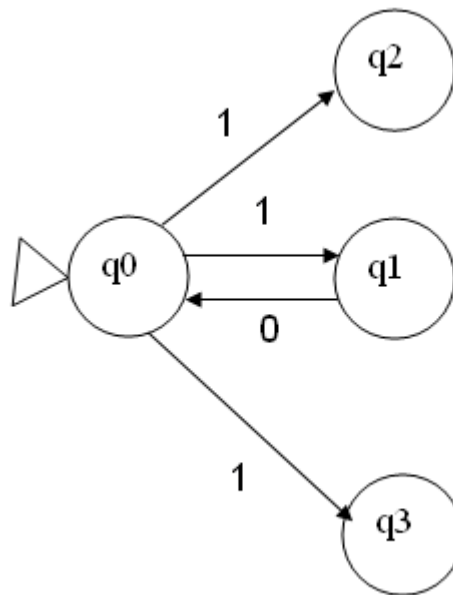


Рис. 2. Конечный автомат для рассматриваемого примера.

Согласно работе [1], основу построения и исследования моделей системы составляет объектно-ориентированный подход. Его суть заключается в рассмотрении сложной системы как совокупности объектов, взаимодействующих друг с другом, в отличие от структурного подхода, предполагающего рассмотрение отдельных действий, выполняемых исследуемой системой. Важным преимуществом объектно-ориентированного подхода является возможность интуитивно понятного и простого представления объектов реального мира в ЭВМ для последующего их моделирования. Поэтому стоит отметить, что целесообразно в нашем случае использовать объектно-ориентированный подход.

Фактически каждая машина – как частица, имеющая свойства, определяющие её поведение, например скорость (со знаком), ускорение, координаты. Кроме свойств есть ещё поведение, определяемое уравнениями, которые ниже показаны (кинематика).

Рассмотрим перекресток, приведенный на рис. 3.

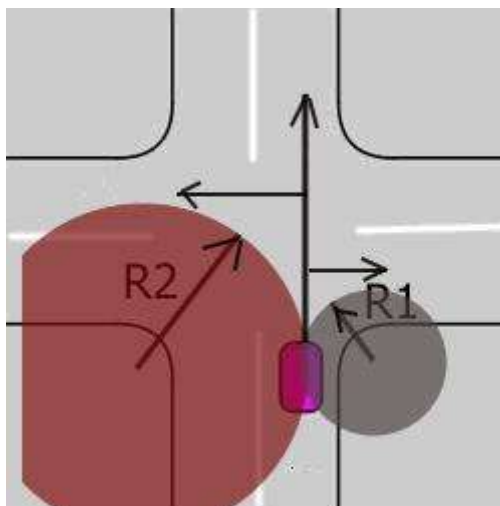


Рис. 3 Движение машины на перекрестке

Движение на данном перекрестке, как видно на рис. 3, может осуществляться в трех направлениях, а именно – прямо, налево и направо.

Случай, когда транспортное средство движется прямо относится к случаю движения материальной точки по прямой. Когда траекторией движения материальной точки является прямая линия и направление движения не изменяется, модуль вектора перемещения равен пройденному пути.

Вектор скорости равномерного прямолинейного движения материальной точки направлен вдоль ее траектории в сторону движения. Вектор скорости при равномерном прямолинейном движении равен вектору перемещения за любой промежуток времени, деленному на этот промежуток времени:

$$\vec{v} = \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t}$$

Примем линию, по которой движется материальная точка, за ось координат ОХ, причем за положительное направление оси выберем направление движения точки. Тогда, спроецировав векторы  $\vec{r}$  и  $\vec{v}$ , на эту ось, для проекций  $\Delta r_x = |\Delta r|$  и  $\Delta v_x = |\Delta v|$  этих векторов мы можем записать:

$$v_x = \frac{\Delta r_x}{\Delta t},$$

отсюда получаем уравнение равномерного движения:

$$\Delta r_x = v_x \cdot t.$$

Т.к. при равномерном прямолинейном движении  $S = |\Delta r|$ , можем записать:  $S_x = v_x \cdot t$ . Тогда для координаты тела в любой момент времени имеем:

$$x = x_0 + S_x = x_0 + v_x \cdot t,$$

где  $x_0$  - координата тела в начальный момент  $t = 0$ .

Движение, при котором за равные промежутки времени тело совершает неравные перемещения называют неравномерными переменным.

Средней скоростью  $v_{cp}$  называется величина, равная отношению перемещения тела  $\Delta r$  за некоторый промежуток времени  $\Delta t$  к этому промежутку:

$$\bar{v}_{cp} = \frac{\Delta \bar{r}}{\Delta t}$$

Модуль средней скорости определяется как отношение пути  $\Delta S$ , пройденного телом за некоторый промежуток времени, к этому промежутку:

$$v_{cp} = \frac{\Delta S}{\Delta t}$$

Направление вектора средней скорости  $v_{cp}$  совпадает с направлением  $\Delta r$  (рисунок 4,5).

При неограниченном уменьшении  $\Delta t$ ,  $v_{cp}$  стремится к предельному значению, которое называется мгновенной скоростью. Итак, мгновенная скорость  $v$  есть предел, к которому стремится средняя скорость  $v_{cp}$ , когда промежуток времени движения стремится к нулю:

$$\bar{v} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \bar{r}}{\Delta t}$$

Из курса математики известно, что предел отношения приращения функции к приращению аргумента, когда последний стремится к нулю представляет собой первую производную этой функции по данному аргументу. Поэтому:

$$\bar{v} = \frac{d\bar{r}}{dt}$$

Мгновенная скорость  $v$  есть векторная величина, равная первой производной радиуса - вектора движущейся точки по времени. Так как секущая в пределе совпадает с касательной, то вектор скорости  $v$  направлен по касательной к траектории в сторону движения.

По мере уменьшения  $\Delta t$  путь  $\Delta S$  все больше будет приближаться к  $|\Delta r|$ , поэтому модуль мгновенной скорости:

$$v = |\bar{v}| = \left| \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \bar{r}}{\Delta t} \right| = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{|\Delta \bar{r}|}{\Delta t} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta S}{\Delta t} = \frac{dS}{dt}$$

Таким образом, модуль мгновенной скорости  $v$  равен первой производной пути по времени:

$$v = \frac{dS}{dt}$$

При неравномерном движении тела его скорость непрерывно изменяется. Как быстро изменяется скорость тела, показывает величина, которая называется ускорением. Средним ускорением неравномерного движения в интервале от  $t$  до  $t + \Delta t$  называется векторная величина, равная отношению изменения скорости  $\Delta v$  к интервалу времени  $\Delta t$ :

$$a_{cp} = \frac{\Delta \bar{v}}{\Delta t}$$

Мгновенным ускорением  $a$  в момент времени  $t$  будет предел среднего ускорения:

$$\bar{a} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \bar{a}_{cp} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \bar{v}}{\Delta t} = \frac{d\bar{v}}{dt}$$

Равнопеременным называется движение, при котором скорость тела (материальной точки) за любые равные промежутки времени изменяется одинаково, т.е. на равные величины. Это движение может быть равноускоренным и равнозамедленным.

Если направление ускорения  $a$  совпадает с направлением скорости  $v$  точки, движение называется равноускоренным. Если направление векторов  $a$  и  $v$  противоположны, движение называется равнозамедленным.

При равнопеременном прямолинейном движении ускорение остается постоянным и по модулю и по направлению ( $a = \text{const}$ ). При этом среднее ускорение  $a_{cp}$  равно мгновенному ускорению  $a$  вдоль траектории точки. Нормальное ускорение при этом отсутствует ( $a_n = 0$ ).

Изменение скорости  $\Delta v = v - v_0$  в течении промежутка времени  $\Delta t = t - t_0$  при равнопеременном прямолинейном движении равно:  $\Delta v = a \cdot \Delta t$ , или  $v - v_0 = a \cdot (t - t_0)$ . Если в момент начала отсчета времени ( $t_0$ ) скорость точки равна  $v_0$  (начальная скорость) и ускорение  $a$  известно, то скорость  $v$  в произвольный момент времени  $t$ :  $v = v_0 + a \cdot t$ . Проекция вектора скорости на ось  $Ox$  связана с соответствующими проекциями векторов начальной скорости и ускорения уравнением:  $v_x = v_{0x} \pm a_x \cdot t$ . Аналогично записываются уравнения для проекций вектора скорости на другие координатные оси.

Вектор перемещения  $\Delta r$  точки за промежуток времени  $\Delta t = t - t_0$  при равнопеременном прямолинейном движении с начальной скоростью  $v_0$  и ускорением  $a$  равен:

$$\Delta \bar{r} = \bar{v}_0 \cdot \Delta t + \frac{\bar{a}(\Delta t)^2}{2}$$

а его проекция на ось  $Ox$  (или перемещение точки вдоль соответствующей оси координат) при  $t_0 = 0$  равна:

$$\Delta r_x = v_{0x} \cdot t \pm \frac{a_x \cdot t^2}{2}$$

Путь  $S_x$ , пройденный точкой за промежуток времени  $\Delta t = t - t_0$  в равнопеременном прямолинейном движении с начальной скоростью  $v_0$  и ускорением  $a$ , при  $t_0 = 0$  равен:

$$S_x = v_{0x} \cdot t \pm \frac{a_x \cdot t^2}{2}$$

Так как координата тела равна  $x = x_0 + S$ , то уравнение движения тела имеет вид:

$$x = \pm x_0 \pm v_{0x} \cdot t \pm \frac{a_x \cdot t^2}{2}$$



Случай, когда транспортное средство движется налево (направо) сродни движению материальной точки по окружности. Поэтому данное движение можно описать рядом следующих уравнений:

Рассмотрим подробно движение точки по окружности, при котором  $v = \text{const}$ . Такое движение называется равномерным движением по окружности. Естественно, вектор скорости не может быть неизменным ( $v$  не равно  $\text{const}$ ), так как направление скорости постоянно меняется.

Время, за которое траектория точки опишет окружность, называется периодом обращения точки ( $T$ ). Число оборотов точки в одну секунду называется частотой обращения ( $\nu$ ). Период обращения можно найти по формуле:

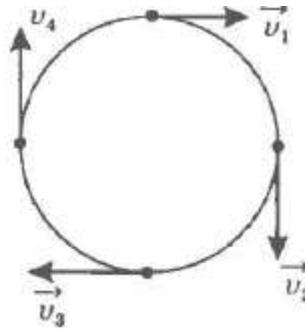


Рис. 4. Направление вектора средней скорости.

$$T = \frac{1}{\nu}.$$

Естественно, перемещение точки за один оборот будет равно нулю. Однако пройденный путь будет равен  $2\pi R$ , а при числе оборотов  $n$  путь будет равен  $2\pi Rn$  или  $2\pi RnT/t$ , где  $t$  - время движения.

Ускорение при равномерном движении точки по окружности направлено к ее центру и численно равно  $a = v^2/R$ .

Это ускорение называется центростремительным (или нормальным). Вывод этого равенства может быть следующим. Приведем векторы скорости к одной точке хотя бы за  $T$  (можно и за  $T/2$  или  $T$ ).

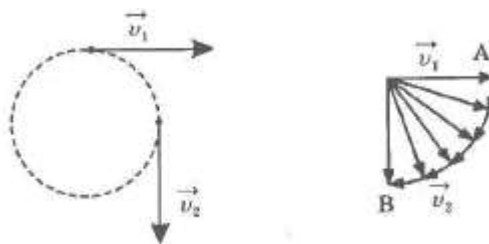


Рис. 5. Направление вектора средней скорости.

Тогда сумма изменений векторов скоростей за малые промежутки времени будет равна длине дуги АВ, которая равна модулю  $|v_2 - v_1|$  за время  $t = 1/4 \cdot T$ .

Определим длину дуги. Поскольку радиусом для дуги будет модуль вектора  $v_1=v_2=v$ , то длина дуги  $l$  может быть вычислена как длина четверти окружности с радиусом  $v$ :

$$l = \frac{2\pi v}{4}, \text{ тогда } a_{\text{ц}} = \frac{|\vec{v}_2 - \vec{v}_1|}{\Delta t} = \frac{4l}{T} = \frac{2\pi v}{4T}.$$

После сокращения получим:

$$a_{\text{ц}} = \frac{2\pi v}{T}. \text{ Поскольку } T = \frac{2\pi R}{v}, \text{ то } a_{\text{ц}} = \frac{2\pi v \cdot v}{2\pi R} = \frac{v^2}{R}.$$

Если же движение равнопеременное, то  $v \neq \text{const}$ , тогда рассматривают другую составляющую ускорения, обеспечивающую изменение модуля скорости. Это ускорение называется тангенциальным:

$$a_{\tau} = \frac{\Delta v}{t}.$$

Тангенциальное ускорение направлено по касательной к траектории, оно может совпадать по направлению со скоростью (движение равноускоренное) или быть противоположно направленным (движение равнозамедленное).

При движении транспортного средства налево (направо) так же стоит не забывать, что каждая из траектории движения имеет свой центр, а так же и свой радиус. Т.е. движение в этих направлениях будет описывать уравнениями, с разными параметрами  $R_2$  и  $R_1$ .

После того, как стало ясно, что имитация базируется на физических моделях, описанных в Кинематике материальной точки, встает вопрос о проблемах скорости и столкновения.

Если рассматривать перекрёсток, регулируемый светофором, формализация механизма ограничения проезда по нему возможна на основе сетей Петри [5].

Это связано с тем, что работа системы светофоров предполагает наличие состояний и переключение между ними. Поэтому в качестве математического описания организации движения на перекрестке можно использовать сети Петри.

Стандартные сети Петри не подходят для описания системы, т.к. главным параметром движения автомобилей является интервал переключения сигнала светофора (время между включениями зелёных сигналов), а стандартные сети Петри время переключения не учитывают. Поэтому целесообразно использовать сети Петри с расширением, которые позволят учитывать время.

Для построения сетей расширенных сетей Петри, учитывающих переключение светофоров, необходимо сделать временную диаграмму [3].

Временная диаграмма зависит от многих факторов, учесть которые могут только эксперты, и, кроме того, временная диаграмма зависит от специфики распределения транспортного потока на данном участке дороги (к примеру, при наличии въезда на платную дорогу и пункта оплаты).

Для примера возьмем некоторую дорогу с тремя светофорами, у одного из которых есть дополнительная секция со стрелкой поворота налево, и построенную для ее светофоров временную диаграмму (рис. 6).

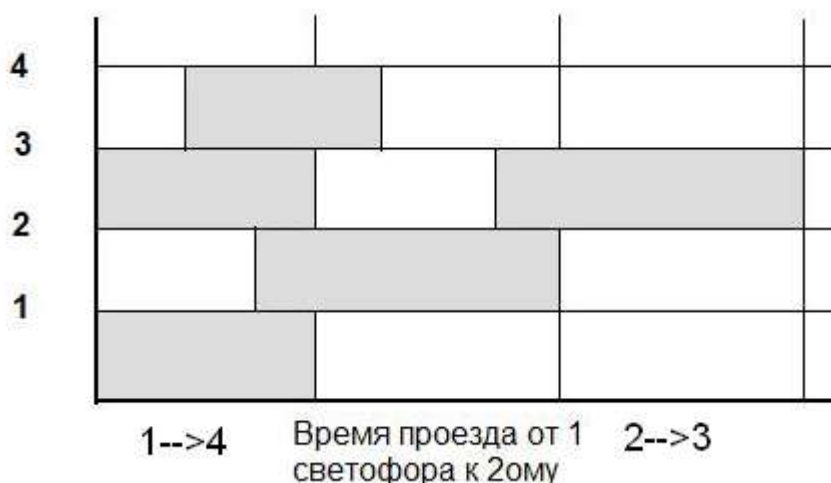


Рис. 6. Временная диаграмма переключения зеленого сигнала светофора для некоторой дороги.

На данной диаграмме изображены интервалы времени, отображающие работу светофора. При этом, серым цветом отмечены интервалы времени при которых активен зеленый сигнал светофора; белым цветом – красный или желтый сигнал светофора.

После того, как временная диаграмма получена, можно построить сеть Петри для данного участка дороги (рис. 7)

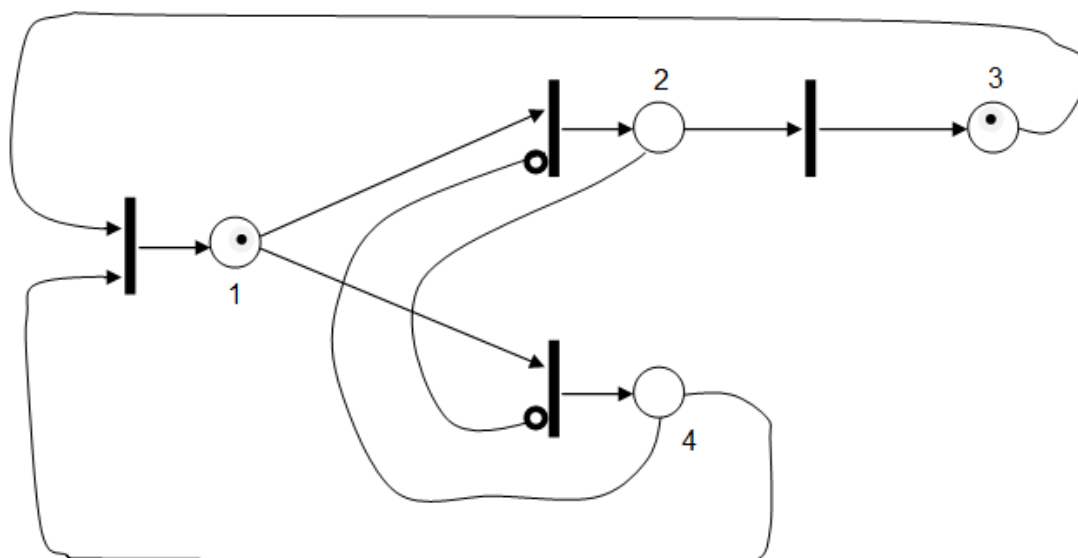


Рис. 7. Сеть Петри, соответствующая временной диаграмме [4].

Данная сеть Петри является расширенной, т.к. она учитывает интервал переключения сигнала светофора (время между включениями зелёных

сигналов). В качестве расширения использованы сдерживающие дуги. В результате правило запуска изменено: переход является разрешенным, когда фишки присутствуют во всех его обычных входах и отсутствуют в сдерживающих входах.

В построенной сети, наличие фишек в позиции обозначает, что на определённом светофоре на участке дорог горит зеленый сигнал (зеленый светофор включен); переход обозначает переключение сигнала светофора.

Сети Петри со сдерживающими дугами являются интуитивно самым простым подходом к увеличению мощности моделирования с помощью сетей Петри.

Кроме того, в работе [2] приведены способы отслеживания расстояний между транспортными средствами, а именно клеточные автоматы и габаритные области вокруг материальных точек. Особенно актуально это для нерегулируемого перекрёстка и движения с разными скоростями (когда разница между ними достаточно большая).

На сегодняшний день существует множество различных технологий и продуктов, позволяющих осуществлять имитационное моделирование. Среди них есть как платные, так и бесплатные реализации. К примеру, к таким средствам можно отнести:

- системы, основанные на языках моделирования, трансляторы языков моделирования и т.п. (транслятор языка SIMULA)
- системы автоматизированного моделирования на основе диаграмм (Microsoft Work Flow, MatLab, Simulink и т.д.)
- языки высокого уровня и визуальные среды программирования.

Остановим свое внимание на последних средствах - языки высокого уровня и визуальные среды программирования. Они обеспечивают широкий диапазон решаемых задач. Язык высокого уровня - согласно ГОСТ 19781-90 - язык программирования, понятия и структура которого удобны для восприятия человеком.

Языки высокого уровня отражают потребности программиста, но не возможности системы обработки данных.

Для задачи имитационного моделирования предпочтительно использование языков высокого уровня с поддержкой объектно-ориентированного программирования. Концепция объектно-ориентированного программирования подразумевает, что основой управления процессом реализации программы является передача сообщений объектам. Объектно-ориентированная программа состоит из объектов – отдельных фрагментов кода, обрабатывающего данные, которые взаимодействуют друг с другом через определённые интерфейсы. Объектно-ориентированное программирование позволяет программисту моделировать объекты определённой предметной области путем программирования их содержания и поведения в пределах класса.

К языкам высокого уровня с поддержкой объектно-ориентированного программирования можно отнести Delphi, C++, C#, Java и т.д. Также, эти

языки интегрируются с диаграммами языка UML, который предназначен для проектирования систем с объектно-ориентированным программированием.

В данной статье была рассмотрена целесообразность использования имитационного моделирования, подход к нему и средства, с помощью которых может быть реализовано имитационное моделирование. В качестве инструмента для имитационного моделирования дорожного движения с дискретным временем целесообразно использовать современные языки высокого уровня с поддержкой объектно-ориентированного программирования, т.к. важным преимуществом объектно-ориентированного подхода является возможность интуитивно понятного и простого представления объектов реального мира в ЭВМ, что является, необходимым условием в рамках реализуемого проекта.

### **Литература**

1. Калитин Д.В., Аристов А.О. Геометрическое моделирование САПР. – М., 2011.
2. Михеева Т.И. Использование принципов объектно-ориентированного проектирования интеллектуальной транспортной системы // Вестник Самарского государственного технического университета. Серия: Физико-математические науки. – 2005. – №34. – С. 141-148.
3. Пушкина Н.Б., Калитин Д. В. СИСТЕМА ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПО УПРАВЛЕНИЮ ТРАНСПОРТНЫМИ ПОТОКАМИ НА ПЕРЕКРЕСТКЕ // Научный вестник МГГУ. – 2010. – № 6. – С. 28-32
4. Пушкина Н.Б., Горбатов А.В. ОРГАНИЗАЦИЯ ЗЕЛЕННОГО КОРИДОРА НА ОСНОВЕ СЕТЕЙ ПЕТРИ
5. Дж. Питерсон Теория сетей Петри и моделирование систем. – М.: Мир, 1981.

### **Аннотация**

Рассмотрена проблема организации движения транспортных средств на дорогах. Для изучения данной проблемы будут рассмотрены подходы к имитационному моделированию.

Результаты данного исследования могут быть использованы в компьютерных системах поддержки принятия решений.

The problem of making arrangement traffic on crossroad is observed in this article. To study this problem will be considered approaches for imitation simulation.

The results of this investigation can be used in computer system, that supports to improve making.

### **Ключевые слова**

сеть Петри, дорога, проблема движения, светофор, система, имитационное моделирование

Petri net, road, traffic problem, traffic lights, system, imitation simulation