

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДЛИТЕЛЬНОСТИ ПРЕДСТАРТОВОГО ОЖИДАНИЯ АВТОМОБИЛЕЙ НА ПОЛОСАХ ДЛЯ ПОВОРОТА НАЛЕВО

Маткеримов Т.Ы.¹, Муктарбек уулу Кубатбек²

¹ КРСУ, ² КГТУ им. И. Раззакова, Бишкек, Кыргызстан, talai_m@bk.ru

Аннотация: Изучена интенсивность движения автомобильного транспорта на примере центральных перекрестков г.Бишкек. Дано определение длительности предстартового ожидания автомобилей для поворота налево, сильно влияющее на задержку транспортных средств на подходах к перекрестку. Даны рекомендации учета времени задержки, предотвращающие впоследствии заторы автомобилей.

Ключевые слова: марковские процессы, средняя скорость, транспортная единица.

DETERMINING THE DURATION OF PRE-START WAITING FOR CARS IN LEFT-TURN LANES

Matkerimov T.Y.¹, Muktarbek uulu Kubatbek²

¹Kyrgyz-Russian Slavic University, ² Kyrgyz state technical university, Bishkek, Kyrgyzstan

Annotation: Aimed at examining the traffic flow in major road intersections in Bishkek, this study recommends preventing transport delay in the intersections, that determines the optimal use of turn-left lanes thereby reduces conflictive situations and increases the number of cars passing through in the intersections.

Key words: markov processes, average speed, transport unit.

В данной работе исследуется функционирование транспортного потока на перекрестках. Это система, в которой, с одной стороны, возникают массовые запросы (требования) на проезд перекрестка, с другой – происходит удовлетворение этих запросов. Системы подобного рода можно назвать системами массового обслуживания (СМО).

СМО включает в себя следующие элементы: источник требований, входящий поток требований, очередь, обслуживающие устройства (каналы обслуживания), выходящий поток требований.

Системы массового обслуживания классифицируют по разным признакам. К таким признакам относятся условия ожидания требования начала обслуживания. В соответствии с этим признаком системы подразделяются на следующие виды:

- системы массового обслуживания с потерями (отказами);
- системы массового обслуживания с ожиданием;
- системы массового обслуживания с ограниченной длиной очереди;
- системы массового обслуживания с ограниченным временем ожидания.

Системы массового обслуживания, у которых требования, поступающие в момент, когда все приборы обслуживания заняты, получают отказ и теряются, называются системами с потерями или отказами.

Системы массового обслуживания, у которых возможно появление как угодно длинной очереди требований к обслуживающему устройству, называются системами с ожиданием.

Системы массового обслуживания, допускающие очередь, но с ограниченной пропускной способностью в ней, называются системами с ограниченной длиной очереди. Системы массового обслуживания, допускающие очередь, но с ограниченным сроком пребывания каждого требования в ней, называются системами с ограниченным временем ожидания.

Итак, мы имеем рекуррентные потоки автомобилей на рассматриваемом участке. Поскольку при наложении достаточно большого числа независимых, стационарных и ординарных потоков (сравнимых между собой по интенсивности) получается поток, близкий к простейшему [1], будем считать общий поток автомобилей на рассматриваемом участке простейшим (поток Пуассона) (рис.1).

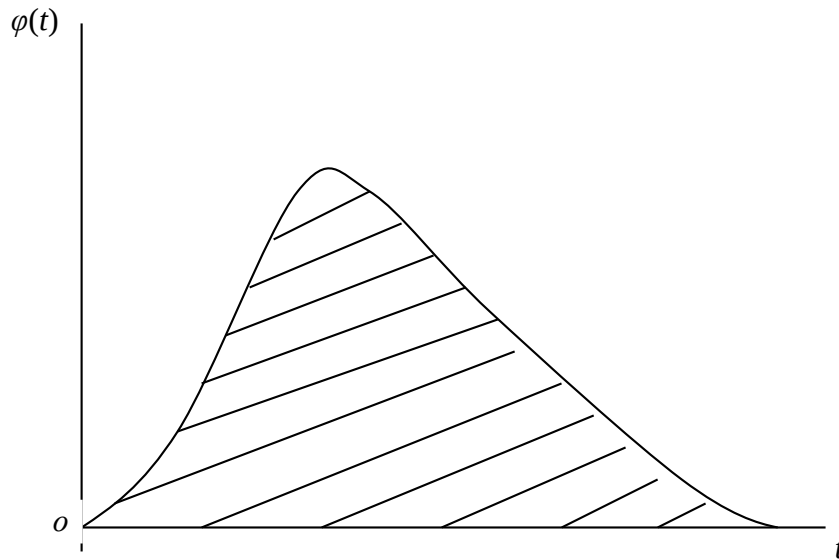


Рис. 1. Пример плотности распределения рекуррентного потока

Рассматривая марковские процессы с дискретными состояниями и непрерывным временем, удобно представлять себе, что все переходы системы из состояния в состояние происходят под действием каких-то потоков событий (поток вызовов, поток отказов, поток восстановлений и т.д.). Если все потоки событий, переводящие систему из состояния в состояние, - простейшие, то процесс, протекающий в системе, будет марковским. Это условие является достаточным, поскольку простейший поток не обладает последствием: в нем не зависит от “прошлого” [3].

Пусть l_i – расстояние от точки старта (места отстоя транспорта) i -го маршрута до начала участка наложения. Это расстояние, деленное на среднюю скорость движения по i -му маршруту, дает время, за которое транспортная единица добирается до участка наложения.

$$t_i = \frac{l_i}{V_i} \quad (1)$$

Очевидно, что в ординарном потоке на участке наложения средние скорости движения всех маршрутных микроавтобусов примерно равны.

Далее могут быть рассмотрены две ситуации:

1. Средняя скорость движения каждого маршрута на участке наложения такая же, как и на всем остальном пути;
2. Средняя скорость движения маршрутов на участке наложения отлична от той, что наблюдается на остальном пути.

Первая ситуация предполагает, что средние скорости движения по всем маршрутам равны. В этом случае участок пути длиной c может вместить максимум

$$\frac{c}{a+b} \quad (2)$$

единиц транспорта, где a – средняя длина проезжей части по каждому направлению, b – норматив дистанции между движущимися автомобилями.

Обозначим через te_i (*Time of enter – Exit Process*) среднюю длительность задержки автомобилей на перекрестках i -го маршрута. Очевидно, что оптимальным будет появление следующего автомобиля в момент, когда предыдущий тронулся с перекрестка.

Можно утверждать, что длина полного фрагмента в этом случае равна N . Пусть тогда r_i ($j \in Ro$) – один из N элементов полного фрагмента, обозначающий номер маршрута (действительный или условный) (табл. 1; 2).

Таблица 1

Пример полного фрагмента оптимальной последовательности с неповторяющимися элементами (действительная нумерация маршрутов)

j	1	2	...	i	...	N
r_i	213	110	...	266	...	159

Таблица 2

Пример полного фрагмента оптимально последовательности с неповторяющимися элементами (условная нумерация маршрутов)

j	1	2	...	i	...	N
r_i	13	2	...	15	...	5

Пусть официально время подъезда к перекрестку начинается в момент $T0$. Тогда для того, чтобы их транспортные средства слились в один поток в соответствии с оптимальной последовательностью Ro , необходимо, чтобы выполнялось условие

$$\frac{l_{j+1}}{V_{j+1}} + t_{(j+1)_i} = \frac{l_j}{V_j} + te_j + t_{j_i}, \quad \begin{matrix} i = \overline{1, K_j}, \\ j = \overline{1, N-1} \end{matrix} \quad (3)$$

где $\frac{l_{j+1}}{V_{j+1}}$ - среднее время, за которое транспортная единица $(j+1)$ -го маршрута

добирается до начала участка наложения маршрутов,

$t_{(j+1)_i}$ - длительность предстартового ожидания i -й транспортной единицы $(j+1)$ -го маршрута относительно момента времени $T0$,

$\frac{l_j}{V_j}$ - среднее время за которое транспортная единица i -го маршрута добираться до начала участка наложения,

te_i - средняя длительность процесса проезда перекрестка одной транспортной единицы i -го маршрута,

t_{j_i} - длительность предстартового ожидания i -й транспортной единицы j -го маршрута.

Прежде, чем начать объяснять смысл последней формулы, преобразуем ее к виду

$$t_{(j+1)_i} = t_{j_i} + \frac{l_j}{V_j} + te_j - \frac{l_{j+1}}{V_{j+1}}, \quad \begin{matrix} i = \overline{1, K_j}, \\ j = \overline{1, N-1} \end{matrix} \quad (4)$$

Тогда мы можем сказать, что если каждый маршрут встречается в полном фрагменте оптимальной последовательности один раз, то время предстартового ожидания некоторой транспортной единицы одного из маршрутов относительно момента запуска первой транспортной единицы первого маршрута первого полного фрагмента $T0$ определяется величиной, равной разности суммарного времени, в течение которого предыдущая транспортная единица ожидает старта, добираться до рассматриваемого участка и производит проезд перекрестка, и времени, за которое текущая транспортная единица доберется до рассматриваемого участка.

Используя формулу (3), распишем длительность предстартового ожидания одного направления полного фрагмента оптимальной последовательности.

Полный фрагмент

$$t_{1_1} = 0$$

$$t_{2_1} = t_{1_1} + \left(\frac{l_1}{V_1} + te_1 - \frac{l_2}{V_2} \right) = t_{1_1} + \frac{l_1}{V_1} + \sum_{h=1}^1 te_h - \frac{l_2}{V_2}$$

$$t_{3_1} = t_{2_1} + \left(\frac{l_2}{V_2} + te_2 - \frac{l_3}{V_3} \right) = \left(t_{1_1} + \frac{l_1}{V_1} + te_1 - \frac{l_2}{V_2} \right) + \left(\frac{l_2}{V_2} + te_2 - \frac{l_3}{V_3} \right) =$$
$$= t_{1_1} + te_1 + te_2 - \frac{l_3}{V_3} = t_{1_1} + \frac{l_1}{V_1} + \sum_{h=1}^2 te_h - \frac{l_3}{V_3}$$

$$t_{j_1} = t_{(j-1)_1} + \left(\frac{l_{j-1}}{V_{j-1}} + te_{j-1} - \frac{l_j}{V_j} \right) = t_{1_1} + \frac{l_1}{V_1} + \sum_{h=1}^{j-1} te_h - \frac{l_j}{V_j}$$

$$t_{N_1} = t_{(N-1)_1} + \left(\frac{l_{N-1}}{V_{N-1}} + te_{N-1} - \frac{l_N}{V_N} \right) = t_{1_1} + \frac{l_1}{V_1} + \sum_{h=1}^{N-1} te_h - \frac{l_N}{V_N}$$

По итогам проведения неполной математической индукции можно предположить существование зависимости вида

$$t_{(j+1)_i} = t_{j_i} + \frac{l_j}{V_j} + (j-1) \sum_{h=1}^N te_h, \quad \begin{matrix} i = \overline{1, K_j}, \\ j = \overline{1, N-1} \end{matrix} \quad (5)$$

Данная гипотеза может быть подтверждена или опровергнута точными математическими рассуждениями.

Итак, доказав справедливость преобразования (3) в (4), мы получили универсальную формулу для вычисления предстартовой задержки некоторой транспортной единицы относительно момента старта первой транспортной единицы, полного фрагмента оптимальной последовательности слияния N маршрутов в один. Смысл ее заключается в том, что до тех пор, пока по маршруту не выехали все транспортные единицы, каждая последующая ожидает своего момента старта течение периода, равного сумме предстартовой задержки первой транспортной единицы одноименного маршрута относительно начала рабочего дня TO и общего времени осуществления проезда перекрестка элементов полного фрагмента оптимальной последовательности.

Рассматриваемый случай предусматривает каждой фазе регулирования светофором минимум одну полосу движения на подходах к перекрестку. В противном случае реализовать пофазный разъезд не удастся. Типичной ошибкой, нередко встречающейся в практике организации движения, является попытка обеспечить выезд транспортных средств, получающих право движение в различных фазах из одной полосы. В конечном результате такая полоса оказывается выключенной в течение всего цикла из работы перекрестка. Первое же транспортное средство, остановившееся у стоп-линии в ожидании своей фазы, лишит возможности остальных участников движения, находящихся на этой полосе и обладающих в данный момент правом проезда, воспользоваться этим правом [2].

Использованная литература

1. Вентцель Е.С. Исследование операций: Задачи принципы методология. – М.: Наука, 1988.
2. Клиновштейн Г.И., Афанасьев М.В. Организация дорожного движения. – М., 1992. – 116 с.
3. Громов Ю.Ю., Земской Н.А. и др. Оптимальное управление динамическими системами 2-е изд., стереотип. – Тамбов: Изд-во, ТГТУ, 2007. – 108 с.