УДК 004.94:656.11

Е.В.ДИДЕНКО, Е.Ф. САМИЛЫК, В.Т.ЛАЗУРИК
Харьковский национальный университет им. В.Н. Каразина

МАКСИМИЗАЦИЯ КРИТИЧЕСКОГО ПОТОКА НА ПЕРЕСЕЧЕНИИ В МОДЕЛИ СТОХАСТИЧЕСКИХ ПОТОКОВ ДИСКРЕТНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

В работе рассматривается процесс взаимодействия стохастических потоков дискретных элементов на пересечении транспортной сети. Исследуется возможность максимизации критического потока за счет оптимизации формы распределения временных интервалов между элементами в потоке при его фиксированной интенсивности на приоритетно-регулируемом пересечении. Разработана система компьютерного моделирования и средства для определения критического потока.

Ключевые слова: компьютерное моделирование, транспортные потоки, взаимодействие потоков

I. DIDENKO, K.SAMILYK, V. LAZURIK
V.N.Karazin Kharkiv National University

MAXIMIZATION OF CRITICAL FLOW ON THE INTERSECTION IN MODEL OF THE STOCHASTIC FLOWS OF DISCRETE ELEMENTS

The paper deals with the interaction of stochastic flows of discrete elements at the intersection of the transport network. The possibility of maximizing the critical flow by optimizing the time headway distribution in the flow when the fixed rate on a priority - controlled intersection. A system for computer simulation tools for priority-controlled intersection modeling are presented.

Keywords: simulation, traffic flow, flow interaction

Є. В. ДІДЕНКО, К.Ф.САМІЛИК, В. Т. ЛАЗУРИК
Харківський національний університет ім.В.Н.Каразіна

МАКСИМІЗАЦІЯ КРИТИЧНОГО ПОТОКУ НА ПЕРЕТИНІ В МОДЕЛІ СТОХАСТИЧНИХ ДИСКРЕТНИХ ЕЛЕМЕНТІВ

У роботі розглядається процес взаємодії стохастичних потоків дискретних елементів на перетині транспортної мережі. Досліджується можливість максимізації критичного потоку за рахунок оптимальної форми розподілу при фіксованій інтенсивності на пріоритетно-регульованому перетині. Розроблено систему комп'ютерного моделювання та засоби для визначення максимального потоку.

Ключеві слова: комп'ютерне моделювання, транспортні потоки, взаємодія потоків

Постановка задачи

Моделирование процессов взаимодействия потоков дискретных элементов позволяет прогнозировать появление таких негативных явлений, как уменьшение пропускной способности пересечений и формирование очередей в улично-дорожной или телекоммуникационной сетях. Наиболее критическими компонентами транспортных сетей, с точки зрения возможности возникновения очередей, являются узлы взаимодействия транспортных потоков (например, перекрестки в городе). В транспортной сети узлы, как правило, представляют собой сложные системы с большим количеством взаимодействующих на них транспортных потоков. Задача исследования механизмов трансформации потоков на таких пересечениях имеет большую вычислительную сложность и трудоемкий процесс получения параметров для модели [1-2]. Поэтому часто исследователи вынуждены рассматривать базовые процессы взаимодействия транспортных потоков – слияния, разветвления и ограничивать количество используемых параметров.

Приоритетно-регулируемые пересечения являются наиболее распространенным типом пересечений в транспортной сети, а задача определения максимальной пропускной способности таких пересечений является одной из наиболее исследуемых тем в литературе [3-5] по изучению транспортных потоков. Основные характеристики, которые исследуются на пересечениях – это максимальная пропускная способность (величина критического потока), среднее время ожидания, средняя длина очереди. Для описания процессов слияния и разветвления без ограничений разработан математический аппарат теории случайных потоков [2], где определяющей поток характеристикой является распределение временных интервалов между элементами. Использование средств теории случайных потоков оправдано в транспортных сетях с низкой вероятностью возникновения коллизий, т.е. блокирования возможности прохождения одного элемента через узел взаимодействия другим элементом. В сетях с высокой интенсивностью потоков влияние коллизий на пропускную способность узлов становятся определяющим, и поэтому возникает необходимость в применении средств моделирования, которые учитывают возможность появления коллизий.

В работах [5-8] отмечено, что на пропускную способность пересечений существенно влияет то, каким образом распределены временные интервалы между элементами во взаимодействующих потоках. Поэтому исследование возможности увеличения пропускной способности приоритетно-регулируемых пересечений за счет изменения распределения временных интервалов потоков, является актуальным.

В этой работе рассматривается задача максимизации величины критического потока на приоритетно-регулируемом пересечении за счет изменения формы распределения временных интервалов между элементами главного потока при его неизменной интенсивности. В качестве средств моделирования используется система, основанная на методе Монте-Карло.

Моделирование процесса пересечения

В качестве модели приоритетно-регулируемого пересечения рассматривается модель с одним главным потоком и одним неглавным потоком, изображенная на рис.1. На пересечение входит два потока с разными уровнями приоритетности, выходит также два потока: φ_1 - неглавный входящий поток; φ_0 - главный входящий поток; φ_{0*} – выходящий поток, измененный φ_0, φ_{1*} – выходящий поток, измененный φ_1

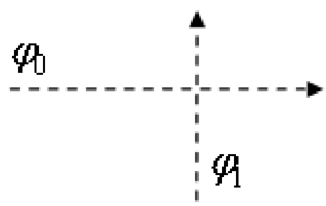

Рис.1. Модель пересечения потоков φ_0 и φ_1 с различными приоритетами

Для того чтобы получить величину критического потока зададим условие, что на неглавном входе пересечения находится бесконечная очередь элементов. Элементы из очереди могут проехать пересечение, если в главном потоке появляется интервал между элементами больше α (критический интервал). Пусть распределение временных интервалов между элементами в главном потоке равно ρ_0, элементы потока имеют нулевой размер, время пересечения перекрестка равно 0, через интервал больше α проходит только один элемент из очереди. Ограничение единичного прохождения, накладываемое на модель, существенным образом снижает точность определение критического потока, в случае, если главный поток имеет низкую плотность, и, следовательно, существуют интервалы между элементами, которые позволяют пересечь главный поток нескольким элементам из неглавного потока. Поэтому использование описанных выше ограничений оправдано только в случае высокой плотности главного потока [8].

Следуя определению величины (или интенсивности) транспортного потока q, данного в [6]: величина потока – это количество транспортных элементов, пересекающих точку наблюдения в промежуток δt: $q = \delta t / \bar{h}$, где $\bar{h}$ - средний временной интервал между элементами в потоке. Так как на неглавном входе всегда есть элемент, который может проехать в интервал больше критического, и только один элемент из неглавного потока может пересечь главный поток в один свободный интервал, уровень критического потока равен $q_{\max} = \omega q$, где q - величина потока φ_0, а ω – вероятность появления в потоке φ_0 интервалов больше α:

$$\omega = \int_{\alpha}^{\infty} \rho_0 dt , \tag{1}$$

Величину критического потока $q_{\max}$ выразим через распределение главного потока ρ_0:

$$q_{\max} = \omega / M\rho_0 \text{, где } M\rho_0 = \bar{h} \tag{2}$$

При фиксированной интенсивности главного потока, величина критического потока прямо пропорциональна величине ω. Для того, чтобы максимизировать критический поток при фиксированной интенсивности главного потока, необходимо подобрать такие параметры распределения главного потока, при которых величина ω будет максимальна.

Компьютерное моделирование процесса пересечения

Для исследования процесса пересечения транспортных потоков в рамках ограничений, указанных в предыдущем разделе, была использована система компьютерного моделирования взаимодействия дискретных потоков с учетом коллизий SFMS [7], основанная на применении метода Монте-Карло. SFMS позволяет варьировать распределения входящих потоков и правила взаимодействия в процессах разветвления, слияния и пересечения потоков и получать такие характеристики как распределения временных интервалов выходящих потоков, критический поток, средняя длина очереди.

Найдем значение уровня критического потока q_{max} в зависимости от величины критического интервала α и величины ω, которая характеризует форму распределения главного потока. В качестве распределения ρ_0 главного потока φ_0 выберем гамма-распределение с параметрами k и θ:

$$\rho_0(\mathrm{x}) = x^{k-1}e^{-x/\theta} / \theta^k \Gamma(\mathrm{k}),\ \mathrm{x} \geq 0 \tag{3}$$

Выбор гамма-распределения обусловлен его применением для описания распределения временных интервалов транспортных потоков различной интенсивности [1-2], так как позволяет широко варьировать форму распределения за счет изменения параметра k. Если временные интервалы между элементами в потоке распределены по гамма-закону, то интенсивность такого потока при изменении параметров можно зафиксировать, соблюдая условие $k\theta = 1$. При этом изменения параметров k и θ позволяют получить различную величину ω.

Интенсивность главного потока положим равной единице. Варьируя значения α и значения k, при неизменном отношении $k\theta=1$, найдем зависимость величины выходящего потока q_{max} от α и k (как характеристики формы распределения). Результаты вычислений приведены на рисунке 2.

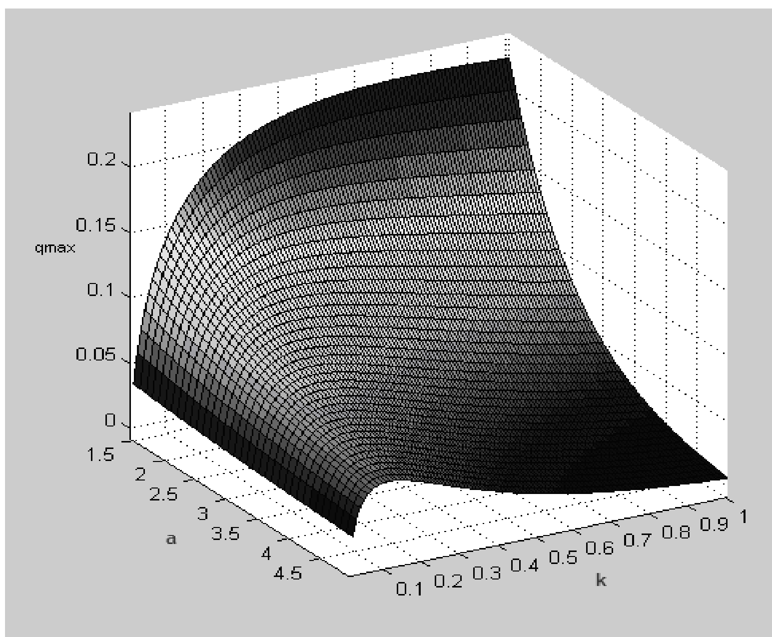

Рис.2. Значение критического потока при различных правилах пересечения и формы распределения главного потока.

Как видно из рисунка 2, существуют такие значения параметра k, при которых наблюдается максимум критического потока при различной величине критического интервала α. Для нахождения значения параметра, характеризующего форму распределения (для гамма-распределения – это параметр k) главного потока, при котором критический поток будет максимальным при неизменной интенсивности потока возможно использовать метод безусловной оптимизации функции нескольких переменных Нелдера-Мида.

Результаты и выводы

В работе рассмотрена модель приоритетно-регулируемого пересечения транспортных потоков в условиях ограничения на прохождение более одного элемента в интервал больше критического. Приведено аналитическое соотношение для нахождения максимального потока пересечения в рамках этой модели и показано, что существует возможность максимизации уровня критического потока на приоритетно-регулируемом пересечении за счет изменения формы распределения при его неизменной интенсивности. Разработана система моделирования потоков, позволяющая на примере гамма-распределения осуществлять подбор параметров формы, при неизменной величине потока, для максимизации критического потока.

Полученные в работе результаты могут быть использованы для оптимизации систем управления транспортными потоками.

Список использованной литературы

1. C. Daganzo. Fundamentals of transportation and traffic operations. Elsevier science ltd, Oxford, UK, 2003, 339 p.
2. Е. С. Вентцель, Л. А. Овчаров, Теория случайных процессов и ее инженерное приложение. 2000, р. 383.
3. Highway Capacity Manual 2010. Transportation Research Board, Washington, D.C.. 2010.
4. Handbuch für die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen / HBS 2001/ German Highway Capacity Manual. – Forschungsgesellschaft für Strassenund Verkehrswesen. – Deutschland. – FGSV Verlag GmbH. – Koln, Nr.299, 2001.
5. N.Wu. A universal procedure for capacity determination at unsignalized (priority-controlled) intersection. Transportation Research part B 35 (2001), Issue 3
6. May, A. Traffic Flow Fundamentals. Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1990
7. Диденко Е.В. Компьютерное моделирование разветвления транспортных потоков / Диденко Е.В., Лазурик В.Т., Рогов Ю.В. // Вестник Херсонского национального технического университета. – 2011. – вып. 3(42). – С.172-176.
8. Gazis, D. Traffic theory. Kluwer academic publishers, Dodrecht, 2002, 259 p.
9. Kerner, B. Introduction to Modern Traffic Flow Theory and Control: The Long Road to Three-Phase Traffic Theory, Springer, New York, 2009, 265 p.
10. Prigogine, I., Herman, R., Kinetic Theory of Vehicular Traffic, American Elsevier Publishing Company, Inc. New York, 1971. 101 p.