

УДК 656.11+351.811.12

<https://doi.org/10.36906/KSP-2021/80>

Наумова Н.А.

ORCID: 0000-0003-1944-1642, д-р техн. наук

Кубанский государственный технологический университет

Кравченко В.С., Голубев Д.И.

Кубанский государственный университет

г. Краснодар, Россия

МЕЗОСКОПИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЕШЕХОДНОГО ПОТОКА КАК ПОТОКА КЛАСТЕРОВ

Аннотация. Моделирование пешеходных потоков приобрело огромную значимость в последние десятилетия, так как строительство и проектирование мест притяжения большого количества людей требует создания условий безопасности. Показатели, характеризующие пешеходные потоки, аналогичны показателям, характеризующим транспортные потоки: интенсивность, плотность и скорость. Главная проблема, возникающая при моделировании движения пешехода – сложность воссоздания правдоподобного поведения. Мезоскопический подход при моделировании пешеходных потоков позволяет имитировать динамику потока с достаточной точностью при минимальном наборе исходных данных. Разработан метод и алгоритм разбиения на кластеры пешеходного потока. По результатам создан модуль компьютерной программы. Зная закон распределения интервалов в кластерном пешеходном потоке, можно определить длину очереди пешеходов у пешеходного перехода, среднее время пребывания в очереди, среднюю задержку пешеходов и автомобилей в конфликтных точках улично-дорожной сети.

Ключевые слова: пешеходные потоки; математическая модель; кластеры; организация движения.

Naumova N.A.

ORCID: 0000-0003-1944-1642, Ph.D.

Kuban State Technological University

Kravchenko V.S., Golubev D.I.

Kuban State University

Krasnodar, Russia

MESOSCOPIC MODELING OF PEDESTRIAN FLOW AS A FLOW OF CLUSTERS

Abstract. Modeling pedestrian flows has gained immense importance in recent decades, since the construction and design of places of attraction for large numbers of people requires the creation

of safety conditions. Indicators characterizing pedestrian flows are similar to indicators characterizing traffic flows: intensity, density and speed. The main problem that arises when modeling pedestrian movement is the difficulty of recreating believable behavior. The mesoscopic approach to modeling pedestrian flows allows simulating the flow dynamics with sufficient accuracy with a minimum set of initial data. A method and algorithm for dividing pedestrian traffic into clusters has been developed. Based on the results, a computer program module was created. Knowing the law of distribution of intervals in a cluster pedestrian flow, it is possible to determine the length of the queue of pedestrians at the pedestrian crossing, the average time spent in the queue, the average delay of pedestrians and cars at the conflict points of the road network.

Key words: pedestrian flows; mathematical model; clusters; organization of movement.

Моделирование пешеходных потоков приобрело огромную значимость в последние десятилетия, так как строительство и проектирование мест притяжения большого количества людей требует создания условий безопасности. Значительная часть населения мира в настоящее время проживает в мегаполисах. Плотность городского населения постоянно растет, увеличивается количество владельцев автотранспорта. Образ жизни современного человека требует постоянного перемещения к месту работы или проживания, в места проведения досуга и т. д. Поэтому эффективная организация движения транспортных и пешеходных потоков имеет огромное значение. В работе предложен подход к моделированию потока пешеходов среднего уровня плотности, в котором рассматриваются интервалы между прибытиями к данной точке плоскости отдельных кластеров пешеходов.

Показатели, характеризующие пешеходные потоки, аналогичны показателям, характеризующим транспортные потоки: интенсивность, плотность и скорость. Главная проблема, возникающая при моделировании движения пешехода – сложность воссоздания правдоподобного поведения. Логично, что перемещаясь, стремятся достичь точки назначения, стараясь не сталкиваться с другими пешеходами. Однако, в реальности возможны внезапные остановки при оживленном движении, резкие развороты на месте, выбегающие из-за угла прохожие. Экспериментально доказана также теория феномена самоорганизации пешеходного потока, которые не планируются извне и не организуются внешним источником, таким как светофоры или поведенческие соглашения.

1. Методы моделирования пешеходных потоков. Классически по уровню детализации модели пешеходных потоков делят на:

- микроскопические, которые учитывают поведение каждого пешехода отдельно;
- мезоскопические, учитывающие поведение отдельного пешехода, но с целью определения характеристик потока или его закона распределения;
- макроскопические, которые описывают поток в терминах скорости, плотности, без учета поведения отдельных индивидуумов [5, с. 9-22].

Наиболее распространенными в настоящее время являются следующие модели: модели:

- модель магнитных сил была предложена С. Оказаки и С. Матсушита, в которой пешеходы представляются в виде магнитных зарядов, находящихся в магнитном поле;
- клеточные автоматы, в которых пространство представляется сеткой, а движение моделируется за счет перехода пешеходов между клеточками по определенным правилам;
- газокINETическая модель, которая рассматривает пешеходов как молекулы в разжиженном газе;
- модель социальных сил, которая использует Ньютоновскую механику для описания движения пешеходов [4, с. 4282-4286].

Мезоскопический подход при моделировании пешеходных потоков позволяет имитировать динамику потока на «среднем» уровне (деление уровней в транспортном моделировании довольно условное). В настоящее время выделяют четыре вида мезомоделей:

- модели распределения интервалов движения;
- кластерные модели;
- кинетические модели;
- кинетические волновые модели.

Мезоскопические *модели распределенных интервалов* оценивают разницу времени прохождения между двумя пешеходами определенной точки плоскости. В модели предполагается, что интервалы являются независимыми и одинаково распределенными случайными величинами. Сущность подхода заключается в описании распределения интервалов между отдельными пешеходами (объектами), при этом не прибегая к описанию отдельно взятых пешеходов.

Кластерные мезомодели представляют собой совокупность моделей, движущихся на одинаковом расстоянии, на небольшом расстоянии друг от друга.

Кинетические модели описывают динамику фазовой плотности транспортного потока.

2. Поток пешеходов как поток кластеров. В случае направленного движения пешеходов к переходу удобно применять модели, описывающие поток как случайный процесс с помощью случайных функций и использующие для вывода необходимых показателей Теорию массового обслуживания. Такую степень детализации данных относят к мезоскопической модели распределения интервалов движения. При этом следует учитывать, что потоку пешеходов свойственно разделение на кластеры (группы родственников, знакомых и т. п.). Кластеры образуются в результате выхода пассажиров из прибывшего к остановке общественного транспорта, после окончания сеанса в кинотеатре, после окончания занятий в учебном заведении и т. п. В этом случае кластер – это плотное скопление людей, которым достаточно одного нажатия кнопки вызывного устройства для перехода через дорогу.

Поэтому нами был предложен подход к моделированию потока пешеходов среднего уровня плотности, в котором рассматриваются интервалы между прибытиями к данной точке плоскости отдельных кластеров пешеходов.

То есть, в терминах теории вероятностей, под случайным событием будем понимать прибытие пешехода к точке плоскости с фиксированной координатой по оси, направленной

вдоль движения потока. При этом прибытие к этой точке кластера следует интерпретировать как одно событие. Распределение интервалов по времени между объектами (кластерами и отдельными «одинокими» пешеходами) примем подчиненным показательному закону с параметром λ_{op} .

Таким образом, для функционирования модели требуется разработать метод разбиения пешеходов в потоке на кластеры, то есть на классы, однородность которых определяется по некоторым заданным признакам. Основные этапы кластерного анализа следующие: формулировка проблемы; выбор способа измерения расстояния; выбор места кластеризации; принятие решения о количестве кластеров; интерпретация и профилирование кластеров; оценка достоверности кластеризации.

Для разделения пешеходов на кластеры предполагается использовать иерархическую агломеративную процедуру, последовательно объединяя пешеходов в отдельные группы [2, с. 165-192]. Основным признаком, по которому будем объединять объекты – расстояние между соседними пешеходами и расстояние до центра кластера. Кроме того, следует ввести ограничение на диаметр кластера и на расстояние между соседними объектами.

Введем следующие обозначения:

P_i – обозначение пешехода номер i ;

$(x_i; y_i)$ – координаты пешехода в локальной системе координат;

d_{ij} – расстояние между пешеходами P_i и P_j

d_{free} – критическое расстояние между пешеходами, при котором их движение можно считать свободным.

Алгоритм разбиения на кластеры приведен на рисунке 1. Отметим, что по разработанному алгоритму пешеход P_i попадает в данный кластер, если внутри круга с центром $(x_i; y_i)$ и радиусом d_{free} содержится хотя бы один объект из данного кластера.

После окончания процедуры разбиения на кластеры, для каждого кластера определяем его центр $(x_{c,N}, y_{c,N})$:

$$\begin{cases} \frac{x_{max,N} + x_{min,N}}{2} = x_{c,N} \\ \frac{y_{max,N} + y_{min,N}}{2} = y_{c,N} \end{cases},$$

где $M_n = \{(x_{i,N}, y_{i,N})\}$ – множество координат объектов $P_{i,N}$, входящих в кластер N ;

$$x_{max,N} = \max_i \{x_{i,N}\}, \quad x_{min,N} = \min_i \{x_{i,N}\},$$

$$y_{max,N} = \max_i \{y_{i,N}\}, \quad y_{min,N} = \min_i \{y_{i,N}\}.$$

Определение локальных координат следует проводить с помощью объектов видеонаблюдения в режиме on-line через равные промежутки времени. Одновременно запускается алгоритм разбиения на кластеры. Авторами разработана программа разбиения пешеходного потока на кластеры (рис. 2).

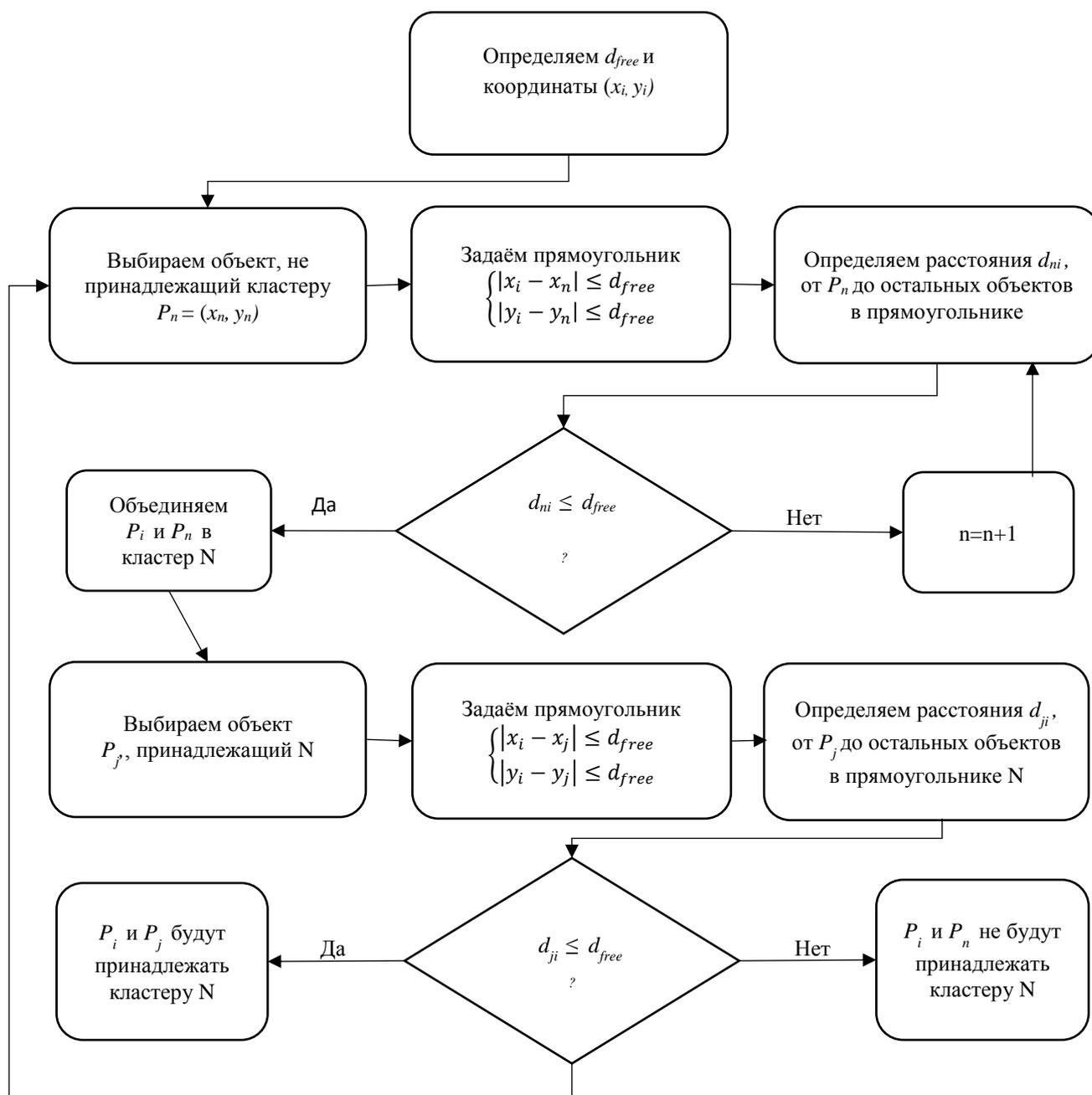


Рис. 1. Алгоритм разбиения пешеходного потока на кластеры

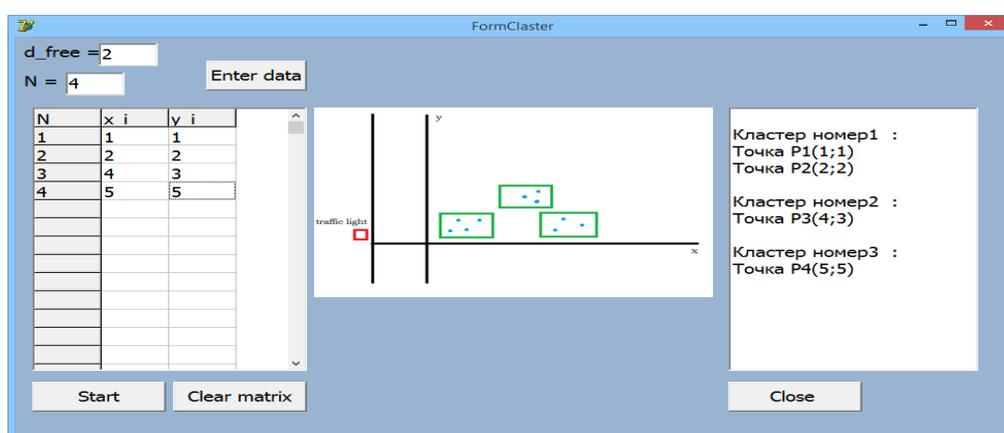


Рис. 2. Программа разбиения пешеходного потока на кластеры

Параметр λ_{0p} показательного закона распределения интервалов по времени между центрами кластеров определяется по известной формуле $\lambda = \frac{1}{\bar{T}}$, где \bar{T} – выборочная средняя величины интервалов по времени между центрами кластеров. Далее, представляя узловую точку улично-дорожной сети как систему массового обслуживания, можно определить характеристики уровня обслуживания пешеходного потока [3, с. 33-60].

Зная закон распределения интервалов в кластерном пешеходном потоке, можно определить длину очереди пешеходов у пешеходного перехода, среднее время пребывания в очереди, среднюю задержку пешеходов и автомобилей в конфликтных точках улично-дорожной сети [1, с. 285-289].

Разработанный авторами метод позволяет в динамическом режиме определять параметры пешеходного потока, необходимые для определения его влияния на режим движения в узловых точках улично-дорожной сети. Мезоскопический подход к детализации параметров делает возможным выдавать результат оперативно. Эти факторы делают возможным применение разработанного метода в интеллектуальных транспортных системах.

Литература

1. Наумова Н.А. Алгоритм определения исходных данных для моделирования пешеходного перехода с вызывным устройством // Современные наукоемкие технологии. 2019. № 10-2. С. 285-289.
2. Олдендерфер М.С., Блэшфилд Р.К. Кластерный анализ // Факторный, дискриминантный и кластерный анализ. М.: Финансы и статистика, 1989. 215 с.
3. Cox D.R., Smith W.L., Queues. London: Chapman and Hall; Methuen, 1961. 150 p.
4. Helbing D., Molnar P. Social Force Model for Pedestrian Dynamics // Physical Review. E, Statistical physics, plasmas, fluids, and related interdisciplinary topics. 1995. Vol. 51. №5. P. 4282-4286. <https://doi.org/10.1103/PhysRevE.51.4282>
5. Johansson F. Microscopic Modelling and Simulation of Pedestrian Traffic. Linkoping University Department of Science and Technology. Linkoping, Sweden. 2013, 119 p.

© Наумова Н.А., Кравченко В.С., Голубев Д.И., 2021