

Оценка применимости дискретных ситуационных сетей для передачи информации в интеллектуальных транспортных сетях

Рассматривается задача моделирования объекта, идентичного автотранспортной сети, по которому осуществляется перемещение автономных транспортных средств с возможностью генерации и обмена сообщениями для оптимизации алгоритмов их управления. Предложено формальное описание задачи, её интерпретация в терминах дискретных ситуационных сетей и реализация на языке Python. Показано, что совокупность информации о состоянии элементов и объектов дискретной ситуационной сети на каждом шаге (такте) моделирования предоставляет информацию о нагрузке на различные узлы сети, о времени, за которое объекты (автономные транспортные средства и сообщения) проходят маршруты. Это позволяет формировать комплекс управляющих решений по движению автономных транспортных средств.

Ключевые слова: дискретно-ситуационная сеть, транспортная сеть, имитационное моделирование, автономное транспортное средство

DOI: 10.36535/0548-0027-2022-03-4

ВВЕДЕНИЕ

Широкое применение интеллектуальных транспортных сетей в повседневной жизни человека позволяет перейти к решению задач автоматического управления автономными транспортными средствами [1]. Здесь одной из наиболее сложных проблем можно считать разработку стратегии маршрутизации управляющих сообщений с учетом ограничений, накладываемых транспортными сетями. Связано это с высокой мобильностью автономных транспортных средств, имеющимися на их пути препятствиями (здания, мосты, туннели, и т.д.), а также с необходимостью разработки методов передачи сообщений, при которых транспортные средства могут взаимодействовать между собой. Это позволит обеспечить разработку как надежных маршрутов передвижения, так и маршрутизации сообщений, что создает возможность построения альтернативных решений в случае сбоев в пути. Если ограничить накладные расходы передачи сообщений по сети, используя статический размер, то возможно создание гибридной системы связи с использованием традиционных систем передачи данных и систем взаимодействия автономных транспортных средств. В [2] представлен подход, предполагающий маршрутизацию управляющих сообщений для передачи по транспортной сети с учетом её параметров (мощность сигнала, частота и возможные потери). Маршрут переда-

чи сообщений о дорожных аномалиях оптимизируется на основе генетического алгоритма, который гарантирует лучшую маршрутизацию. Эта проблема была рассмотрена в [3] с использованием политик маршрутизации, которые позволяют учитывать процесс прибытия пассажиров, трафик движения, состояние зарядки электромобилей и наличие транспортных средств на станциях. Обеспечению безопасности системы управления автономным транспортом с использованием технологии IoT посвящены работы [4-6].

Агентно-ориентированный подход, представленный в работах [7, 8], направлен на повышение скорости вычислений и передачи данных центру управления за счет маршрутизации, реализованной по алгоритму Дейкстры и основанной на приоритете очереди. В [9] рассмотрено формирование системы предупреждений о приближении транспортного средства с использованием одноадресной передачи информации, настроенной для транспортных средств, и алгоритмов жадной и динамической маршрутизации.

Исследованию протоколов передачи данных в интеллектуальных транспортных сетях посвящена работа [10], в которой показана эффективность применения протоколов маршрутизации векторов расстояний по требованию (AODV), а также динамической маршрутизации источников (DSR) и маршрутизации векторов расстояний с последовательностью назначения (DSDV).

Однако в приведенных исследованиях сущности модели – проблемные ситуации и связи между ними – сначала оцениваются с помощью экспертного подхода, а затем с использованием математических методов из модели извлекается искомая информация, например, путем ранжирования показателей. При этом применение описанных моделей и методов затруднено в динамически изменяющихся условиях, в связи с чем возникает необходимость разработки частных моделей, генерируемых автоматически на основе формального описания структуры объекта (графа транспортной сети [11]), за счет формализации, в отличие от разнородных «проблемных ситуаций».

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

В общем случае автономные транспортные средства перемещаются по неориентированному графу маршрута с определенной скоростью и могут обмениваться информационными сообщениями о своем техническом состоянии, состоянии транспортной магистрали и о текущей дорожной обстановке. Для этого требуется сформировать описание структуры сети, позволяющей осуществлять передачу информационных сообщений, которые содержат сведения о состоянии автономного транспортного средства и особенностях его функционирования, а также отражают изменение окружающей обстановки при передвижении транспортного средства по неориентированному графу. В качестве метода моделирования целесообразно использовать аппарат дискретных ситуационных сетей (ДСС), представляющий собой граф из нескольких классов вершин (истоки, стоки и решатели) и связей [12]. В один такт (единицу времени жизненного цикла объекта) функционирования ДСС объекты перемещаются по графу в соответствии с определенными законами, и состояние сети в различные такты должно содержать необходимую для их управления информацию (более подробно метод описан в [12]). Целесообразность использования данного метода обосновывается успешным применением его в контексте ситуационного управления в экономической сфере, например для принятия решений и оценки в экономике в целом [13, 14] или отдельного предприятия [15].

Модель дискретных ситуационных сетей для передачи информации в автотранспортных сетях. При решении оптимизационной задачи управления автономными транспортными средствами возникает необходимость создания модели описываемого объекта. Эта модель должна иметь преимущества по сравнению с оригинальным объектом, например быть более дешевой или простой в исследовании, но в то же время отражать необходимые свойства объекта [16]. Опишем модель одного транспортного средства в дискретной ситуационной сети как:

$$C_w = \langle t_\Sigma, w, m_w \rangle,$$

где: t_Σ – суммарное время, прошедшее с момента появления этого автономного транспортного средства в ДСС; w – уникальный идентификатор автономных транспортных средств, которые могут существовать во все моменты времени $t \in T$; m_w – вектор с информационными сообщениями, содержащий от 0 до N

сообщений, где N – вместимость памяти автономного транспортного средства.

В этом случае для управления автономными транспортными средствами и выстраивания маршрута при их передвижении генерируются сообщения, которые можно представить в виде:

$$M_j = \langle w_s, w_t, r \rangle,$$

где: M_j – уникальный идентификатор сообщения; w_s – уникальный идентификатор автономного транспортного средства отправителя; w_t – уникальный идентификатор автономного транспортного средства получателя; r – содержимое сообщения.

Тогда можно представить, что автономные транспортные средства перемещаются по маршруту, описываемому в виде неориентированного связного графа:

$$G = \langle V, E \rangle, \quad (1)$$

где: $V = \{v_1, v_2, \dots, v_n\}$ – множество вершин;
 $E \subseteq V \times V$ – множество ребер.

При построении маршрута передвижения (1) можно определить $V_{in} \subseteq V$ – множество вершин, в которых автономные транспортные средства начинают движение и $V_{out} \subseteq V$ – множество вершин, в которых автономные транспортные средства заканчивают движение по маршруту. Такое описание имеет физический смысл, например, если V – множество населенных пунктов, то E – множество дорог между населенными пунктами. Надо отметить, что указанное представление позволяет сформировать маршрут передвижения в виде структуры ДСС, а доставку информационных сообщений между автономными транспортными средствами осуществить с использованием графа маршрута (1).

Это дает возможность отразить индивидуальный план передвижения для каждого автономного транспортного средства и определить функцию его передвижения по маршруту – из вершины v в момент времени t :

$$p(w, v, t): W \times V \times T \rightarrow V, \quad (2)$$

где: $w \in W$ – идентификатор автономного транспортного средства; $v \in V$ – текущая вершина графа маршрута, в котором находится автономное транспортное средство; $t \in T$ – текущее время, T – множество всех моментов времени (тактов ДСС), W – множество всех идентификаторов транспортных средств; V – множество всех вершин графа.

А также позволяет определить функцию генерации информационных сообщений:

$$s(w, v, t): W \times V \times T \rightarrow M. \quad (3)$$

Используя (2) и (3) определим функции:

- $f(e_{ij}): E \rightarrow \mathbb{N}$ – сопоставляющая каждому ребру графа (1) $e_{ij} \in E$ – время пути (натуральное число, количество тактов ДСС) для автономного транспортного средства при движении от v_i до v_j .
- $g(e_{ij}): E \rightarrow M$ – сопоставляющая каждому ребру e_{ij} время прохождения сигнала от v_i до v_j .

В каждый такт времени t автономное транспортное средство может находиться в двух состояниях: (а) – в вершине v_i или (б) – в пути от вершины v_i до v_j . В состоянии (а) автономное транспортное средство может создавать и принимать сообщения, а в состоянии (б) способно только двигаться в заданном направлении.

Учитывая (1-3) и [3], опишем приведенную структуру в терминах дискретной ситуационной сети. В общем случае, ДСС – это структура в виде направленного графа, где множество вершин (элементов сети) состоит из множества решателей (активных и пассивных), стоков и истоков, связанных между собой. По этому графу перемещаются объекты.

Множество объектов в данном случае включает в себя:

- C – множество автономных транспортных средств (C_w);
- M – множество сообщений, находящихся в ДСС.

Подмножество активных решателей. В ДСС активный решатель является «маршрутизатором» объектов, т.е. когда в него попадает объект, активный решатель определяет: в какой из связанных с данным решателем элемент сети направить данный объект. Активный решатель должен иметь хотя бы один вход и выход.

В контексте поставленной задачи каждой вершине $v \in V$ (1) сопоставляется один активный решатель. Для автономного транспортного средства, попавшего в диапазон его действия, решатель определяет с помощью функции (2) – пункт назначения, а с помощью функции (3) – поступившие для автономного транспортного средства информационные сообщения, которые при необходимости добавляются в виде m_w сообщений в вектор управляющих воздействий автономным транспортным средством. Также, для каждого сообщения активный решатель определяет, куда отправить информационное сообщение с помощью выбранного алгоритма маршрутизации.

Помимо этого, каждый активный решатель, соответствующий вершине V_{in} маршрута передвижения, соединяется с истоком, а каждый активный решатель, соответствующий вершине V_{out} , – со стоком, соответственно, находящимся в пределах маршрута передвижения автономных транспортных средств.

Подмножество пассивных решателей. В ДСС пассивный решатель задерживает поступивший в него объект на определенное число тактов. Пассивный решатель может иметь неограниченное количество входов, но один и только один выход.

В данной задаче задержка объекта в пассивном решателе имитирует время, требуемое для движения по пути между вершинами. Таким образом, каждому ребру $e_{i,j} \in E$ (1) сопоставляется один пассивный решатель, который задерживает автономные транспортные средства и информационные сообщения на количество тактов, определяемое функциями f и g , соответственно. В этом случае для каждого ребра $e_{i,j}$ устанавливается связь между активным решателем, соответствующим вершине v_i , пассивным решателем, соответствующим $e_{i,j}$, и активным решателем, соответствующим v_j .

Это позволяет решить задачу маршрутизации сообщений, поскольку имея сообщение $M_j = \langle w_s, w_t, r \rangle$ в активном решателе, соответствующим вершине v_i , можно определить маршрут передачи сообщения, чтобы оно в заданный момент времени t было доставлено автономному транспортному средству w_t . Однако задача осложняется тем, что автономные транспортные средства могут перемещаться, динамически изменяя свой маршрут. В связи с этим рассмотрим два варианта решения этой проблемы.

Первый вариант – сохранять в каждом решателе экземпляр каждого сообщения.

Для предотвращения перегрузки сети, целесообразно вместе с сообщением сохранять информацию о множестве вершин α , в которых известно, что они уже информированы о сообщении. Распространение сообщения будет происходить следующим образом:

- 1) сообщение M_j поступает или генерируется первый раз в вершине v_i , в которой обнаружена информация о сообщении;
- 2) при поступлении сообщения в вершину v_i , в его множество α добавляется информация о вершинах v_j , содержащих информацию о сообщении M_j . Это исключает бесконечное хождение сообщений по сети, поскольку рано или поздно все решатели узнают, что их соседи уже имеют копию этого сообщения;
- 3) если в вершине v_i обнаруживается сообщение с таким множеством α , что

$$\beta = \alpha \cap \{v_j | \exists e_{i,j} \in E\} \neq \emptyset,$$

сообщение отправляется из данной вершины в вершины из множества β .

Таким образом, сообщение постепенно распространяется по сети, но применение этого метода имеет недостаток – существенное повышение нагрузки на сеть.

Второй вариант. В условиях полной информации о маршруте передвижения, когда можно вычислить функцию p (2) для любых допустимых значений, целесообразно заранее вычислить траекторию движения автономного средства-получателя и отправить сообщение по кратчайшему пути к ближайшей вершине, до которой успеет дойти сообщение и где окажется получатель. В этом случае нагрузка на сеть минимальна, но предусловие может быть невозможно выполнить (если траектории движения автономного транспортного средства заранее неизвестны).

Моделирование передачи информации в автотранспортных сетях. Пусть топология ненаправленного графа, по которому осуществляется передвижение автономных транспортных средств, задана в нотации связи: $\langle id \text{ цели} \rangle (\langle \text{время прохождения} \rangle)$, $\langle id \text{ цели} \rangle (\langle \text{время прохождения} \rangle)$ (таблица).

Топология графа маршрута

Id вершины	Наличие истока	Наличие стока	Связи
1	+		2(10), 3(20)
2			4(30)
3			4(20)
4			5(10)
5		+	

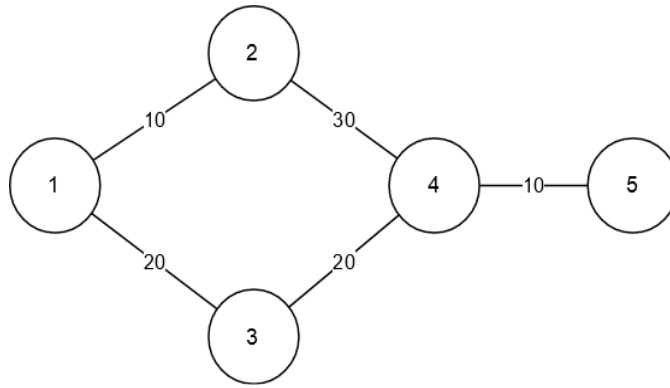


Рис. 1. Представление передвижения в виде графа

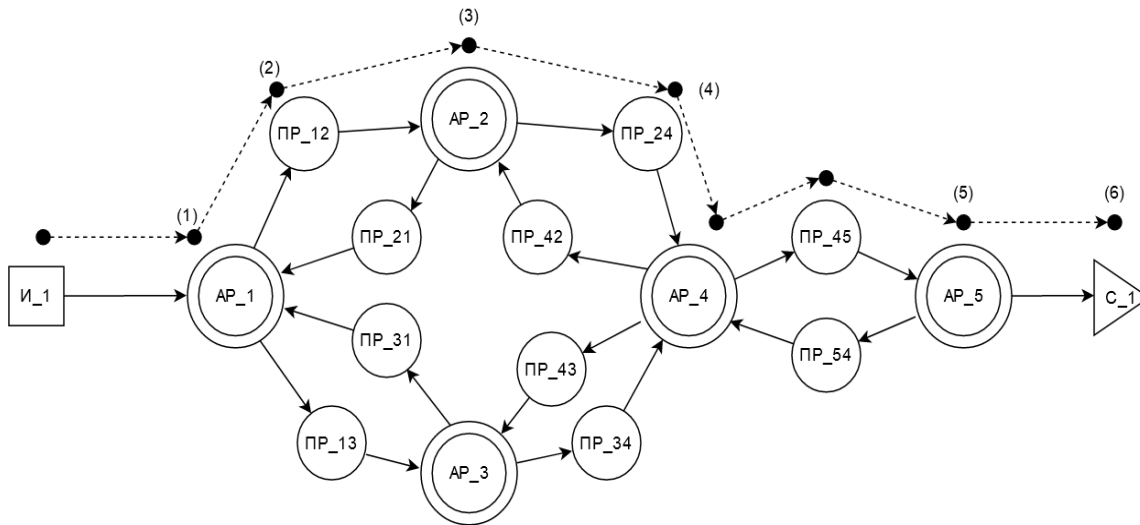


Рис. 2. Представление в виде дискретной ситуационной сети в нотации [3]: истоки обозначены квадратами; стоки – треугольниками; пассивные решатели – одним кругом; активные решатели двумя – концентрическими кругами (стоки и истоки для сообщений опущены для наглядности).

В графическом виде передвижение автономных транспортных средств, согласно таблице, можно представить в виде графа (рис. 1).

Здесь $V_{in} = \{v_1\}$, $V_{out} = \{v_5\}$. Числовыми значениями на ребрах графа определены значения функции $f(e_{ij})$. Переопределим представленный граф (см. рис 1) в соответствующую структуру в виде дискретной ситуационной сети (рис. 2).

Опишем следующие свойства для моделируемой сети. Определим время прохождения сигнала $g(e_{ij})$:

$$g(e_{ij}) = \text{MAX} \left(1, \left\lfloor \frac{f(e_{ij})}{10} \right\rfloor \right)$$

Таким образом, время прохождения сигнала – натуральное число, которое меньше или равно времени прохождения транспортного средства, но больше нуля. В каждый такт сети каждая вершина с истоком имеет равновероятную вероятность сформировать сведения о расположении автономного транспортного средства в транспортной сети (car_prob) пока общее число сведе-

ний о передвижении автономных транспортных средств, присутствующих в сети, не превысит определённого числа (total_cars).

Аналогично, в этих условиях каждое автономное транспортное средство, также имеет равновероятную вероятность отправить сообщение M_j любому другому средству, находящему в сети.

Для маршрутизации сообщений выбран *первый вариант* их передачи, при котором каждое автономное транспортное средство при появлении в сети заранее знает маршрут своего передвижения согласно алгоритму построения наикратчайшего пути.

Моделирование движения автономных транспортных средств осуществим с помощью языка Python [17], так как его структура позволяет измерить заданный набор характеристик объекта исследования в любой момент времени. Это дает возможность добиться результатов моделирования с более низким потреблением ресурсов, но в качестве альтернативы имеет смысл использовать специализированные системы имитационного моделирования, например GPSS [18].

В результате построения модели произведен ее тестовый запуск и приведены выдержки из логов, позволяющие продемонстрировать результаты моде-

¹ Здесь и далее такие обозначения – идентификаторы переменных в коде [10]

лирования. На 15-м такте ДСС в активном решателе, связанным со стоком (см. рис. 2 с AP_1, точка (1), в логe id=1001), идентифицировано автономное транспортное средство с id=0:

```
<Source id=2000 objects=[] neighbors[hash]=[1001]>
<ActiveResolver id=1001 objects=[
  <Car id=0 messages[id]=[]>
] neighbors[hash]=[2000; 2003; 2001; 2004; 2005]>
```

На следующем такте происходит перемещение автономного транспортного средства по заданному маршруту с попаданием в диапазон мониторинга пассивного решателя и нахождением там отведенное время (см. рис. 2, точка (2)):

```
<PassiveResolver id=2001 objects=[
  <Car id=0 messages[id]=[]>
] neighbors[hash]=[1001; 1002] target_node[hash]=1002>
```

Тем временем, на 22-м такте автономное транспортное средство с id=1 отправляет сообщение средству с id=0:

```
<Message id=16476827 target_id=0 sender_id=1
contents=foo>
```

К 30-му такту сообщение распространилось по всем активным решателям и исчезло из сети.

На 27-м такте автономное транспортное средство с id=0 попадает в следующий активный решатель (см. рис. 2, точка (3)) и получает там адресованное ему на 22-м такте сообщение:

```
<ActiveResolver id=1002 objects=[
  <Car id=0 messages[id]=[]>
  <Message id=10169678 target_id=1 sender_id=2
contents=foo>
] neighbors[hash]=[2003; 2001; 2006; 2002]>
```

На 28-м такте автономное транспортное средство переходит в следующий пассивный решатель с полученным сообщением (см. рис. 2, точка (4)).

```
<PassiveResolver id=2002 objects=[
  <Car id=0 messages[id]=[16476827]>
  <Message id=10169678 target_id=1 sender_id=2
contents=foo>
  <Message id=11137562 target_id=1 sender_id=0
contents=foo>
] neighbors[hash]=[1002; 1004] target_node[hash]=1004>
```

На 30-м такте автономное транспортное средство остается в зоне действия того же решателя, так как сообщения, распространяющиеся одновременно с транспортным средством, проходят быстрее.

```
<PassiveResolver id=2002 objects=[
  <Car id=0 messages[id]=[16476827]>
] neighbors[hash]=[1002; 1004] target_node[hash]=1004>
```

Таким образом автономное транспортное средство с id=0 доходит до пункта назначения на 51-м такте (см. рис. 2, точка (4)):

```
<ActiveResolver id=1005 objects=[
  <Car id=0
messages[id]=[16476827;16476827;16476827;2289795;
2289795]>
  <Message id=13134571 target_id=1 sender_id=2
contents=foo>
] neighbors[hash]=[633710312878; 172902077628;
933805498910]>
```

На 52-м такте автономное транспортное средство попадает в сток и на следующем такте пропадает, что означает, что движение средства закончено (см. рис. 2, точка (5)).

```
<Sink id=2010 objects=[
  <Car id=0 messages[id]=[16476827;16476827;
16476827;16476827;16476827;13546954;2289795;2289795;
2289795;2289795]>
] neighbors[hash]=[2010]>
```

Результаты моделирования передачи информации в показали возможность применения на практике. Однако формализм ДСС имеет ограничения, которые не позволяют отразить, следующие особенности:

- объект, попавший в пассивный решатель, обязан остаться там, пока не истечет время задержки, т.е. автономное транспортное средство не сможет при прохождении маршрута изменить его, выбрать альтернативный маршрут или переопределить конечную цель;

- структура ДСС может привести к определенным неудобствам в ситуации, когда объект может появиться в любой точке сети и исчезнуть также из любой точки. В рассмотренном в настоящей статье примере эту особенность отражает класс объектов-сообщений, поэтому для реализации указанного требования, в каждом узле сети необходимо добавить «виртуальный» исток и сток.

И, наконец, дискретная ситуационная сеть не может быть применима в принципе, если предметная область не подвергается дискретизации.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследование поведения дискретных ситуационных сетей показало, что язык ситуационного управления, представленный моделью передачи информации в автотранспортных сетях, может быть использован для решения задачи управления сетевыми потоками в области автономного транспорта. В частности, совокупность состояний элементов и объектов дискретных ситуационных сетей на каждом такте выполнения может предоставить информацию о нагрузке на различные узлы сети, о времени, за которое объекты (автономные средства и сообщения) проходят свои маршруты и т.п.

Моделирование в целом показало, что применимость формализма дискретных ситуационных сетей основана на корректности использования теории графов при моделировании транспортных сетей.

В развитие аппарата дискретных ситуационных сетей в области применения автомобильных транспортных сетей целесообразно внести стохастический элемент в функцию выбора пути (поскольку имеет место не всегда оптимальный путь построения маршрута), а также сделать время ожидания зависимым от числа ожидающих объектов (имитация очереди) и от скоростных характеристик объектов (автотранспортных средств и скорости каналов передачи данных).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ураков А.Р., Тимеряев Т.В. Актуальные проблемы автоматического управления транспортными средствами // Интеллектуальные технологии на транспорте. – 2021. – № 1(25). – С. 35-45.

2. Bello-Salau H., Aibinu A.M., Wang Z., Onumanyi A.J., Onwuka E.N., Dukiya J.J. An optimized routing algorithm for vehicle ad-hoc networks // Engineering Science and Technology, an International Journal. – 2019. – Vol. 22. – P. 754-766.
3. Iglesias R., Rossi F., Zhang R., Pavone M. A BCMP network approach to modeling and controlling autonomous mobility-on-demand systems // International Journal of Robotics Research. – 2019. – № 38(2-3). – P. 357-374. DOI:10.1177/0278364918780335.
4. Wazid M., Das A.K., Shetty. S., Gope P., Rodrigues J. Security in 5G-Enabled Internet of Things Communication: Issues, Challenges, and Future Research Roadmap. // IEEE Access. – 2021. – Vol. 9. – P. 4466-4489. DOI: 10.1109/ACCESS.2020.3047895.
5. Zuo Z, Yang S, Ma B, Zou B, Cao Y, Li Q, Zhou S, Li J. Design of a CANFD to SOME/IP Gateway Considering Security for In-Vehicle Networks // Sensors. – 2021. – № 21(23), 7917. DOI: <https://doi.org/10.3390/s21237917>.
6. Peyman M, Copado P.J., Tordecilla R.D., Martins L.do C., Xhafa F., Juan A.A. Edge Computing and IoT Analytics for Agile Optimization in Intelligent Transportation Systems // Energies. – 2021. – № 14(19), 6309. DOI: <https://doi.org/10.3390/en14196309>
7. Zhao B., Kumar K., Casey G., Soga K. Agent-based model (ABM) for city-scale traffic simulation: A case study on san Francisco // International Conference on Smart Infrastructure and Construction 2019 (ICSIC 2019). – P. 203-212. DOI: 10.1680/icsic.64669.203.
8. Kaminski B., Krainiski L., Mashatan A., Prałat P., Szufel P. Multiagent routing simulation with partial smart vehicles penetration // Journal of Advanced Transportation. – 2020. – Vol. 2020. – P. 1-11. DOI:10.1155/2020/3152020.
9. Petrov T., Pocta P., Roman J., Buzna L., Dado M. A feasibility study of privacy ensuring emergency vehicle approaching warning system // Applied Sciences. – 2020. – № 10(1). – P. 298-316. DOI: 10.3390/app10010298.
10. Malik F.M., Khattak H.A., Almogren A., Bouachir O., Din I.U., Altameem A. Performance Evaluation of Data Dissemination Protocols for Connected Autonomous Vehicles // IEEE Access. – 2020. – Vol. 8. – P. 126896-126906. DOI: 10.1109/ACCESS.2020.3006040.
11. Коротких Ю.С. Способы моделирования транспортных сетей // Наука без границ. – 2016. – № 3(3). – С. 11-14.
12. Поспелов Д. Ситуационное управление. Теория и практика. – Москва: Наука, 1986. – С. 288.
13. Карлик А.Е., Кукор Б.Л., Яковлева Е.А., Соколов А.А. Управление структурными преобразованиями в социально-экономической системе в информационно-сетевой экономике // Системный анализ в проектировании и управлении: Сборник научных трудов XXII Международной научно-практической конференции (г. Санкт-Петербург, 22–24 мая 2018 г.). – Санкт-Петербург: ФГАОУ ВО «СПбПУ», 2018. – С. 175-187.
14. Юшина К.С. Повышение эффективности деятельности наукоемких предприятий атомной отрасли через кластеризацию на основе теории адаптивного управления // Креативная экономика. – 2018. – Т. 12, № 8. – С. 1153-1164. DOI: 10.18334/ce.12.8.39256.
15. Путихин Ю.Е., Лоскутова М.А., Лукинских Е.В., Шараборина С.И. Ситуационный подход к проблемам финансового состояния предприятия // Материалы 4-й Международной научной конференции «Технологическая перспектива в рамках Евразийского пространства: новые рынки и точки экономического роста» (г. Санкт-Петербург, 13–15 декабря 2018 г.). – Санкт-Петербург: Центр научно-информационных технологий "Астерион", 2018. – С. 505-509.
16. Волкова В.Н., Орлова Г.В. Г, Козлов В.Н. и др. Моделирование систем и процессов: учебник для академического бакалавриата. – Москва: Юрайт, 2015. – 23 с.
17. Системы массового обслуживания. Дискретные сети. – URL: https://github.com/QueuingSystems/DiscreteSituationalNetworksImplementation/blob/master/cars_impl.ipynb.
18. Доброхвалов М.О., Корытов П.В., Степанова С.И., Тарасова А.А., Филатов Ар.Ю. Анализ подходов к моделированию систем массового обслуживания // Известия СПбГЭТУ «ЛЭТИ». – 2021. – № 5. – С. 56-64.

Материал поступил в редакцию 06.02.22.

Сведения об авторах

ФАТКИЕВА Роза Равильевна – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры Вычислительной техники Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)
e-mail: rikki2@yandex.ru

КОРЫТОВ Павел Валерьевич – студент-магистр кафедры Математического обеспечения ЭВМ Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)
e-mail: thexcloud@gmail.com