

Методика автоматического выявления нештатных ситуаций на объектах общественного транспорта

Д. А. Абрамов*, В. Л. Токарев

ФГБОУ ВО «Тульский государственный университет», г. Тула, Российская Федерация

Адрес: 300012, Российская Федерация, Тульская область, г. Тула, пр. Ленина, д. 92

* sipai-dima@mail.ru

Аннотация

Представленная работа посвящена разработке информационно-измерительной системы выявления нештатных ситуаций, возникающих на объектах общественного транспорта. В данной работе приведена статистика, по наиболее часто встречающимся видам нештатных ситуаций, возникающих на объектах общественного транспорта. Рассмотрен ограниченный набор, наиболее часто встречающихся, нештатных ситуаций, автоматическое выделение которых возможно на современном этапе науки и техники. Предложен метод классификации нештатных ситуаций, в непрерывном потоке изображений, основанный на использовании нечёткого классификатора, работающего на основе нечеткой модели, работа которой основана на применении алгоритма Мамдани. Для повышения качества работы классификатора, метод измерения параметров нештатных ситуаций был модернизирован, с целью исключения из анализа объектов, присутствующих на изображении, заведомо не представляющих интерес. Для этого, каждый подвижный объект, присутствующий в данный момент времени на сцене был подвергнут процедуре классификации, построенной на основе динамического вектора признаков. С целью дальнейшего увеличения числа нештатных ситуаций, метод классификации нештатных ситуаций в непрерывном потоке изображений включает два этапа: 1) обнаружение фактов выхода некоторых значений компонент вектора признаков за пределы установленных значений; 2) метод выявления/классификации нештатных ситуаций. Тестирование метода предложенного метода классификации и экспериментальная проверка подтвердили его эффективность.

Ключевые слова: информационно-измерительная система, выделение нештатных ситуаций, классификация нештатных ситуаций, построение нечётких классификаторов, автоматизация выделения нештатных ситуаций на транспорте

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Абрамов Д. А., Токарев В. Л. Методика автоматического выявления нештатных ситуаций на объектах общественного транспорта // Современные информационные технологии и ИТ-образование. 2022. Т. 18, № 4. С. 878-888. doi: <https://doi.org/10.25559/SITITO.18.202204.878-888>

© Абрамов Д. А., Токарев В. Л., 2022



Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License.
The content is available under Creative Commons Attribution 4.0 License.



Methodology for Automatic Detection of Emergency Situations at Public Transport Objects

D. A. Abramov*, V. L. Tokarev

Tula State University, Tula, Russian Federation

Address: 92 Prospekt Lenina, Tula 300012, Russian Federation

* sipai-dima@mail.ru

Abstract

The presented work is devoted to the development of an information and measuring system for identifying emergency situations arising at public transport facilities. This paper presents statistics on the most common types of emergency situations occurring at public transport facilities. The paper considers a limited set of, the most common, emergency situations, automatic selection of which is possible at the present stage of science and technology. A method for classifying emergency situations in a continuous stream of images is proposed. This method is based on the use of a fuzzy classifier based on a fuzzy model based on the Mamdani algorithm. To improve the quality of the classifier, the method for measuring the parameters of emergency situations was modernized in order to exclude from the analysis objects present in the image that are obviously of no interest. To do this, each moving object present at a given moment in time on the scene was subjected to a classification procedure based on a dynamic feature vector. In order to further increase the number of contingencies, the method of classifying contingencies in the continuous flow of images includes two stages: 1) detection of the withdrawal of certain values of the feature vector components outside the defined values; 2) a method for identifying/classifying emergency situations. Testing of the proposed classification method and experimental testing confirmed its effectiveness.

Keywords: information-measuring system, detection of emergency situations, classification of emergency situations, construction of fuzzy classifiers, automation of identification of emergency situations in transport

Conflict of interests: The authors declare no conflict of interest.

For citation: Abramov D.A., Tokarev V.L. Methodology for Automatic Detection of Emergency Situations at Public Transport Objects. *Modern Information Technologies and IT-Education*. 2022;18(4):878-888. doi: <https://doi.org/10.25559/SITITO.18.202204.878-888>



Введение

Ежегодно на объектах общественного транспорта совершается значительное количество преступлений, при этом большая доля преступлений приходится на железнодорожный общественный транспорт¹. Наиболее часто выявляемыми преступлениями на объектах общественного транспорта являются кражи и грабежи, мошеннические действия, а также фиксируются случаи преступлений против личности. Приведённое количество преступлений, является крайне значительным и существенно снижает потенциал использования общественного транспорта, что делает решение задачи снижения количества преступлений на общественном транспорте актуальной и важной задачей, которая требует немедленного решения [1-3].

Цель исследования

Снижение числа и величины ущерба от воздействия нештатных ситуаций на объектах общественного транспорта за счёт внедрения системы автоматического выявления нештатных ситуаций.

Основная часть

В существующих системах выявления нештатных ситуаций на объектах общественного транспорта поставленная цель достигается следующим образом.

1. На объект общественного транспорта, типа, автобус, трамвай, троллейбус, вагон метро, ж/д вагон и др., устанавливается система видеонаблюдения.
2. Данные системы видеонаблюдения либо сохраняются на жёсткие диски системы видеонаблюдения, расположенные внутри транспортного средства, либо передаются на сервер, с целью дальнейшей обработки и хранения.
3. Оператором подобной системы в зависимости от расположения места хранения данных, может выступать либо водитель транспортного средства, либо оператор центра обработки данных.

В случае внедрения данные системы по данным исследований, позволяют добиться сокращения числа преступлений в диапазоне от 30% до 37.5% в зависимости от вида преступления. Приведённые значения показатели является хорошими, но с учётом роста целевой аудитории общественного транспорта недостаточным. В значительной степени недостаточное снижение количества преступлений на общественном транспорте обусловлено следующими недостатками рассмотренных систем.

1. Решение о возникновении нештатной ситуации принимает оператор. Что может быть сопряжено с проблемами, связанными с утомлением ЛПП и как следствие этого пропуском нештатной ситуации.
2. Расследование инцидента занимает длительное время, так как необходимо время для получения исследуемого

материала, данные по анализу исследуемого видеоматериала.

3. Передача данных в следственные органы производится только после составления обращения в компанию владельца системы, что требует времени.
4. Время реакции на совершенное преступление может значительно превысить время, необходимое злоумышленнику для оставления места происшествия.

Указанные недостатки при определённых условиях, таких как использование определённых методов маскировки, могут значительно уменьшить эффективность применения подобной системы, что может быть использовано злоумышленниками при совершении преступлений.

Для повышения эффективности систем выявления преступлений и прочих нештатных ситуаций, возникающих на объектах общественного транспорта, требуется модернизация существующих систем видеонаблюдения, заключающаяся во внедрении методов автоматического выявления нештатных ситуаций в существующие системы видеонаблюдения, которые после внесения минимальных изменений будут преобразованы в информационно измерительные системы.

По завершении процесса модернизации, полученные информационно-измерительные системы должны быть способны выявлять следующие нештатные ситуации.

1. Кражи движимого имущества граждан, такого как кошельки, сумки и др.
2. Преступления против личности, такие как драки, не мотивированные проявления грубости и т.д.
3. Неадекватное поведение людей или пассажиров. При этом под неадекватным поведением понимаются следующие отклонения от нормы.
 - a. Движение пассажиров во время движения транспортного средства, совершаемые между моментами посадки и высадки.
 - b. Движения пассажиров, вперёд и назад, совершаемые относительно симметричной точки, связанные с перемещением.
 - c. Постоянная смена мест пассажиром на различных остановках транспортного средства.
 - d. Резкое ускорение пассажира при движении во время посадки и высадки.
 - e. Маятниковые перемещения пассажира, относительно центра места, предназначенного для сидения.
4. Детектирование подброшенных предметов.
5. Детектирование оставленных предметов.

Представленные нештатные ситуации предполагается выявлять за счёт определения набора признаков, характеризующих ситуацию, получившего названия вектор признаков ситуации. Для рассмотренных ситуаций характерны следующие векторы признаков.

Факт кражи имущества граждан предполагается определять следующим образом.

¹ Кузнецова Е. Работа на опережение: новые системы, технологии, специфика [Электронный ресурс] // МВД МЕДИА. 2022. 18 фев. URL: <https://mvdmedia.ru/publications/shield-and-sword/sluzhba/rabota-na-operezhenie-novye-sistemy-tehnologii-spetsifika> (дата обращения: 13.08.2022); Петров И. В МВД назвали самый криминальный вид транспорта [Электронный ресурс] // Российская газета. 2019. 7 фев. URL: <https://rg.ru/2019/02/07/v-mvd-nazvali-samyj-kriminalnyj-vid-transporta.html> (дата обращения: 13.08.2022).



1. Расстояние между объектами меньше половины ширины объекта.
 2. Наличие составляющей скорости движения объекта нарушителя в направлении движения объекта жертвы.
 3. Сокращение расстояния между объектами по оси перпендикулярной их движению. Причём данное условие выполнимо в случае, если один из объектов неподвижен в данный момент времени.
 4. Наличие неестественного положения объекта. Наличие неестественной позы объекта в течение определённого периода времени.
 5. Пересечение поз объектов.
 6. Время нахождения объектов в неестественном положении.
 7. Наличие положительного ускорения объекта нарушителя.
- Преступления против личности характеризуются следующим вектором признаков.

1. Расстояние между объектами меньше половины ширины объекта.
2. Наличие составляющей скорости движения объекта нарушителя в направлении движения объекта жертвы.
3. Сокращение расстояния между объектами по оси перпендикулярной их движению. Причём данное условие выполнимо в случае, если один из объектов неподвижен в данный момент времени.
4. Наличие неестественного положения объекта. Наличие неестественной позы объекта в течение определённого периода времени, который отличается от кражи периодом времени.
5. Пересечение поз вначале одного объекта, потом другого объекта.
6. Время нахождения объектов в неестественном положении.
7. Наличие отрицательного ускорения объекта нарушителя.
8. Изменение геометрических параметров объекта, которое произошло в результате возможного получения увечий.

Неадекватное поведение объектов характеризуется следующим набором признаков.

1. Расстояние между объектами изменяется.
2. Наличие составляющей скорости движения объекта средства в поперечном основному движению направлении.
3. Пресечение объектом разметки зон вагона или автобуса.
4. Наличие сигнала, запрещающего движение объектов.
5. Появление составляющей скорости движения, в направлении траектории движения другого объекта.
6. Превышение объектом средней скорости движения.
7. Стоянка объекта в неполюженном месте.

Выявления факта наличия подброшенных предметов предполагается производить на основе следующего набора признаков.

1. Пресечение объектом разметки зон вагона или автобуса.
 2. Превышение допустимого значения скорости объектом.
 3. Наличие отрицательного ускорения.
 4. Размер подброшенного объекта меньше размера человека.
- Детектирование оставленные предметы предполагается производить на основе следующего вектора признаков.
1. Пресечение объектом разметки зон вагона или автобуса.
 2. Время нахождения объекта в контролируемой зоне выше допустимого.

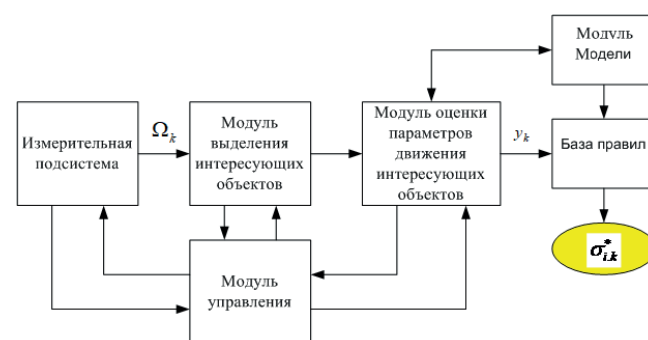
На основе оценки представленной информации для успешного выявления задач выделения и классификации нештатных

ситуаций будет достаточно измерения следующего вектора признаков $\{X\}$.

- x_1 – расстояние между объектами;
- x_2 – компонента вектора скорости движения объекта, направленная в поперечном основному движению направлении;
- x_3 – факт пресечения объектом разметки зон вагона или автобуса;
- x_4 – появление составляющей скорости движения, в направлении траектории движения другого объекта;
- x_5 – сокращение расстояния между двумя объектами по оси, перпендикулярной движению этих средств;
- x_6 – наличие неестественного положения объекта;
- x_7 – время нахождения объекта в неестественном положении.
- x_8 – пересечение скелетов объектов;
- x_9 – наличие сигнала, запрещающего движение объектов;
- x_{10} – превышение максимальной скорости;
- x_{11} – скорость движения объекта;
- x_{12} – положительное ускорение движения объекта;
- x_{13} – нахождение объекта в неполюженном месте в течении заданного времени(стоянка объекта);
- x_{14} – замедление движения объекта, или отрицательное значение ускорения;
- x_{15} – факт изменения геометрических параметров объекта.

При этом, для упрощения вычислительной нагрузки на разрабатываемую систему, вычисление представленного вектора параметров предполагается производить только для интересующих объектов. При этом интересующим объектом считается объект, совершивший перемещение, относительно некоторой подвижной составляющей, именуемой фоном и на основании процедуры оценки геометрически параметров был отнесён к анализируемому классу объектов. В данной работе исключительно с целью упрощения представления результатов исследования, интересующие объекты были разделены на два класса люди и остальные. Дальнейшее разбиение объектов на дополнительные классы лишь незначительно усложнит систему и никак не повлияет на методику выявления и классификации нештатных ситуаций.

Для решения задачи выявления рассмотренных нештатных ситуаций [4] предлагается построить информационно-измерительную систему (ИИС), структура которой представлена на рисунке 1.



Р и с. 1. Предлагаемая структура ИИС

Fig. 1. The proposed structure of the IMS (IMS – information-measuring system)

В качестве измерительной подсистемы предполагается использовать существующие оптические системы (видеокамеры), установленные на объектах общественного транспорта. Выбор измерительной подсистемы обусловлен следующими факторами.



1. Разрешающая способность современных камер² и их расположение достаточно для измерения значений параметров контролируемой зоны [5] и параметров необходимых для классификации объектов [6, 7].
2. Стоимость модернизации оптической системы является минимальной, что является крайне важной в существующих условиях.
3. Возможность модернизации измерительной подсистемы за счёт внесения минимальных изменений, открывает возможности для импортозамещения используемых систем.

При этом в качестве измеряемых параметров могут выступать следующие параметры.

В качестве параметров наблюдаемой зоны могут быть использованы:

1. Протяженность зоны (по длине и ширине);
2. Верхний и нижний и пределы изменения освещённости сцены;
3. Характеристики неподвижных объектов:
 - освещенность (пределы);
 - границы спектральной характеристики (цвета);
 - геометрические размеры (площадь, периметр);
 - координаты расположения в контролируемой зоне;
4. Размещение объектов, как в абсолютных координатах, так и относительно друг друга.
5. Допустимые параметры расположения поз объектов, как относительно сцены, так и относительно друг друга, достаточные для классификации как:
 - разрешенные положения;
 - запрещенные положения.

В качестве параметров подвижных объектов могут быть использованы следующие:

- пределы занимаемой площади;
- форма на изображении, позы объекта (типы шаблонов, инвариантных к масштабу);
- момент появления в контролируемой зоне;
- направление движения в контролируемой зоне, относительно направления движения зоны и относительно положения других объектов;
- пределы скорости движения;
- время нахождения объектов на определённой дистанции к другим объектам;
- пределы контрастности относительно фона;
- пределы изменения позы и геометрической формы объекта во время движения;
- минимальные размеры выделяемых деталей, важных для идентификации объектов [8].

Модуль выделения интересующих объектов [9]. Данный модель предполагается использовать для выделения множества объектов, совершающих перемещение и выделения множества интересующих объектов среди множества объектов совершивших перемещение, или реализации операторов $\Pi_1(\omega_k) \rightarrow G_k$ и $\Pi_2(G_k) \rightarrow H_k \subseteq G_k$.

В качестве оператора выделения подвижных объектов в видеопотоке предполагается использовать метод выделения переднего плана³ [10], основанный на использовании нескольких моделей фона, используемый следующим образом.

В рабочем режиме для каждого интересующего объекта различаются три фазы: 1) появление (рождение) объекта в наблюдаемой зоне; 2) сопровождение объекта; 3) исчезновение (уход) объекта.

В фазе «появление»:

1. Матрица фона периодически обновляется

$$B_k = B_{k-1} \cap F \left(\bigcap_{j=k}^{k-n} I_j \right), \quad (1)$$

где k – текущий момент дискретного времени, F – оператор медианной фильтрации.

2. Выделяется множество подвижных объектов путем вычитания фона $\Omega_k = I_k - B_k$ и последующей фильтрации результатов

3. Из множества Ω_k выделяются множество H_k интересующих объектов следующим образом.

В каждой полученной матрице Ω_k методом сегментации выделяются объекты $\omega_i(s_i)$, основной характеристикой

которых является относительная площадь S_i , которую занимает объект $\omega_i(s_i)$ на наблюдаемой сцене. В базе правил ИИС хранятся шаблоны $\varpi_i(\bar{s}_i) \in \Omega'$ и правила выделения интересующих объектов:

$$\begin{aligned} |s_i \nabla \bar{s}_i| \leq \delta \rightarrow \omega(s_i) = h_i \in H_k, \\ \omega_i(s_i) \in \Omega_k, \varpi_i(\bar{s}_i) \in \Omega' \end{aligned}, \quad (2)$$

где знак ∇ означает симметрическую разность двух множеств пикселей, одно S_i – сегментированная область изображения, второе \bar{S}_i – область шаблона $\varpi_i(\bar{s}_i) \in \Omega'$.

4. Затем, при наличии в матрице H_k нескольких образов $h_i(s_i)$, принадлежащих одному классу, т.е. которым соответствует один и тот же шаблон $\varpi_i(\bar{s}_i) \in \Omega'$ выполняется идентификация образов объектов, для того чтобы различать их поведение в наблюдаемой зоне. Для определения идентификатора объекта, для каждой пары схожих образов, вычисляются и последовательно сравниваются одни и те же параметры: форма сегментированных областей, цвет, яркость, направление движения и др. После нахождения параметра различия p_i , сравнение прекращается и каждому образу присваивается свой идентификатор $h_i(s_i, p_i)$:

² Damjanovski V. CCTV: Networking and Digital Technology. 2nd ed. Butterworth-Heinemann, 2005. 584 p.

³ Лукьяница А. А., Шишкин А. Г. Цифровая обработка видеоизображений. М.: ООО «Ай-Эс-Си Пресс», 2009. 518 с.



$$\Pi_3(H_k): (h_i(s_i), h_j(s_j)) | s_i \cong s_j \xrightarrow{\Pi(p_i \neq p_j \in P)} h_i(s_i, p_i), h_i(s_i, p_j) \in H_k, \quad (3)$$

где $\Pi(p_i \neq p_j \in P)$ - процедура поиска различных параметров образа объектов $h_i(s_i), h_j(s_j)$.

Если же в матрице H_k нет схожих образов $h_i(s_i), h_j(s_j) | s_i \cong s_j$, этот этап опускается. Оба правила (1) и (2) выполняются до тех пор, пока во множестве Ω_k не обнаружится ни одного нового объекта.

При этом для классификации объектов используется следующее правило.

Каждый объект на плоскости изображения представляет собой конечное множество $A_i(t)$ пикселей. Характеристикой этого множества [11] может быть нормированная площадь S : $m(S) = \sum_i m(p_i)$, где

$m(p_i)$ - размеры пикселя. Тогда может быть определена внешняя мера $\mu(F) = \inf \sum_i m(p_i)$, где инфимум

берется по всевозможным покрытиям множества $A_i(t)$.

Если для каждого класса h_i определить эталон A_j^* , то задавая $\varepsilon > 0$, будет возможно сформулировать решающее правило определения принадлежности объекта F классу h_i следующим образом:

$$\mu(A_i(t) \Delta A_j^*) < \varepsilon \rightarrow h_j, \quad (4)$$

где, символ Δ означает операцию «симметрическая разность».

Мера $\mu(F)$ измеримого множества $A_i(t)$ по сути является известной мерой Лебега и потому обладает свойством σ -аддитивности. Это позволяет задачу классификации свести к задаче определения множества эталонов $\{A_i^*, i = 1, \dots, m\}$, величины ε , достаточно близкой к нулю, и вычисления симметрической разности $A_i(t) \Delta A_j^*$ для всех $A_i^*, i = 1, \dots, m$.

В фазе «сопровождение» вычисляются параметры X - признаки ситуаций, возникновение которых возможно в контролируемой зоне. Расчёт X параметров будет выполнен в модуле оценки параметров движения интересующих объектов.

Модуль выделения параметров интересующих объектов. В основу работы данного метода положен оператор

$\Pi_5(T_k): T_k \rightarrow P_k$ оценивания параметров поведения интересующих объектов. А в качестве параметров использованы параметры вектора $\{X\}$. При этом параметры позы объекта предполагается определять при помощи оценки так называемого скелета объекта, который является результатом преобразования однородной области, сегментированной [12, 13] как занятой объектом на изображении, во множество тонких линий, полученных в результате оценки характерных точек объекта. Скелет объекта позволяет получить информацию о форме и ориентации в пространстве объекта. Процесс получения данного скелета [14] получил название - скелетизация [12]. На основании учёта выполнения операции скелетизации [13], изменённые компоненты вектора признаков $\{X\}$ можно записать следующим образом.

x_6 - наличие неестественного положения скелета [15] объекта;

x_7 - время нахождения скелета объекта в неестественном положении.

x_8 - пересечение скелетов объектов.

Для определения параметров объекта, связанных с изменением траектории используется оператор трекинга $\Pi_4(\omega_k, h_{i,k}) \rightarrow t(h_{i,k}) \in T(H_k)$, работающий следующим образом.

На поиск траектории [16] накладываются следующие ограничения: 1) на изменение размера изображения объекта (величины $A_i(t)$ изображений объектов ($F_i(t)$) на соседних кадрах (неравенство); 2) на изменение скорости движения объектов - поиск объектов проводится в ограниченной области - окружности определенного радиуса ε (Формула-предикат); 3) на изменение направления траектории - поиск проводится в пределах некоторого угла $\pm\alpha$, отложенного от направления скорости движения (Формула-предикат).

Строится модель траектории [16] на всей последовательности Ω из n кадров путем назначения ребер между вершинами графа, имеющими одинаковый индекс. Качество назначений можно характеризовать функционалом:

$$J(E) = \min \sum_{k=1}^n \sum_{i=1}^{m_k} (c_k(F_i(t-1)), c_k(F_i(t))) \quad (5)$$

где n - число кадров; m_k - число объектов, присутствующих в k -м кадре, $E - m_k$ - мерный вектор ребер, $c_k(F_i(t))$ - функция характеристик объекта $F_i(t)$.



Модуль модели, а также база правил, являются составной частью модуля принятия решения о наличии нештатной ситуации. Для нормальной работы модуля принятия решения о наличии нештатной ситуации требуется последовательное решение двух связанных задач, выделения нештатной ситуации и классификации нештатной ситуации. Метод выявления нештатной ситуации.

Задача получения оценки ситуации в контролируемой зоне по результатам видеонаблюдений⁴ [3], [17], [18], [19] сформулирована следующим образом.

«Выходом измерительной части ИИС является матрицы $\Phi_{1,k}$ и $\Phi_{2,k}$ соответственно, размерностью $16 \times n_1(k)$ и $16 \times n_2(k)$, где $n_1(k)$ – число объектов типа «люди», $n_2(k)$ – число объектов типа «прочие», находящихся в момент времени k в наблюдаемой зоне. Каждый i -й столбец этих матриц содержит вектор значений $X_i(k)$ i -го объекта в момент времени k . Число столбцов этих матриц непрерывно меняется, а число строк остается постоянным.

Требуется в каждый момент времени k по содержанию матриц $\Phi_{1,k}$ и $\Phi_{2,k}$ определить одну из возможных ситуаций $\sigma(k) \in \Sigma_0 = \{\text{"нормальная"}, \text{"тревожная"}, \text{"критическая"}\}$: $\forall k [\Phi_{1,k} \cup \Phi_{2,k} \rightarrow \hat{\sigma}(k) \rho(\hat{\sigma}(k), \sigma(k) \rightarrow 0) \in \Sigma_0]$, где

$\rho(\cdot)$ – метрика, позволяющая сравнивать оценку ситуации $\hat{\sigma}(k) \in \Sigma_0$ со значением реальной ситуации $\sigma(k) \in \Sigma_0$, и отвечающее условию $\rho(\hat{\sigma}(k), \sigma(k)) = \begin{cases} 0, & \text{если } \hat{\sigma}(k) = \sigma(k), \\ d, & \text{иначе.} \end{cases}$ в котором d –

ошибка – «расстояние» между $\hat{\sigma}(k)$ и $\sigma(k)$ в метрике $\rho(\cdot)$.

Выбор переменных X , исходя из признаков ситуаций гарантирует, что матрица $P(k) = \Phi_{1,k} \cup \Phi_{2,k}$ способна полностью описывать ситуацию σ_k в k -й момент времени. Это позволяет считать для каждого i -го объекта истинной импликацию $\forall i [P(k) \rightarrow \Sigma_0]$. Но значения

$X_i(k)$ столбцов матрицы $P(k)$ представляют собой нечеткие множества A, B, C, \dots, N, O , поэтому для оценки ситуации предлагается использовать нечеткое правило вывода Modus Ponens⁵:

$$\frac{\mu_C(X_i(k)), \mu_C(X_i) \rightarrow \mu_{\hat{\sigma}}(X_i)}{\hat{\sigma}(k)}, \quad i = 1, \dots, n(k) \quad (6)$$

Реализацию данного правила можно представить в следующем виде:

$$\bigvee_{j=1}^m \left[\bigvee_{i=1}^{n_k} \mu_j(x_i(k) \in P(k)) \right] \rightarrow \mu_{\hat{\sigma}(k)}(X_i), \quad \hat{\sigma}(k) \in \Sigma_0' \quad (7)$$

где m – число учитываемых переменных (число строк матрицы $P(k)$), $\bigvee_{j=1}^m$ – операция взятия максимума:

$$\bigvee_{j=1}^m [c_j] = \max\{c_1, c_2, \dots, c_m\}.$$

Все нештатные ситуации, выделенные рассмотренным модулем подлежат дальнейшей классификации, который реализуется оператором $\Pi_7(P_k)$, в основу работы которого положен следующий метод классификации нештатных ситуаций⁶ Σ' , основанный на анализе полученной последовательности матриц значений $\{P_k, P_{k-1}, P_{k-2}, P_{k-3}, \dots\}$ [18].

Метод заключается в следующем. «Предполагается, что множество Σ' нештатных ситуаций известно: $\Sigma' = \{a_i, i = 1, \dots, S\}$. Кроме того, нештатные ситуации такие, что каждой из них можно сопоставить свой набор признаков $\{x_j, j = 1, 2, \dots\}$.

Учитывая, что из-за разнотипности признаков $\{x_j, j = 1, 2, \dots\}$ и различных погрешностей их измерения, они представлены нечеткими множествами [20], классификатор нештатных ситуаций целесообразно построить в виде набора нечетких правил.

Тогда нечеткий классификатор [21] можно представить в следующем виде⁷:

$$\bigcup_{q=1}^h \bigcap_{i=1}^m \mu_{c_{ij}}(x_i(k)) \rightarrow \eta(a_q), \quad (8)$$

где c_{ij} – обозначение нечеткого множества i -ой лингвистической переменной, j – индекс термина i -ой лингвистической переменной ($j \in [1, 2, 3]$), h – число нештатных ситуаций, m – общее число признаков [22] (лингвистических переменных).

³ Абрамов Д. А. Информационно-измерительная система классификации ситуаций в наблюдаемой зоне : автореф. дис. ... канд. тех. наук. Тула : ТулГУ, 2016. 16 с.

⁴ Там же.

⁵ Там же.

⁶ Там же.



«Граничные значения X'_{i1} , X'_{i2} для каждой переменной выбираются конкретно, исходя из обеспечения безопасности, методом экспертных оценок.

Каждая i -я нечеткая импликация представляет собой нечеткую модель нештатной ситуации, и основное требование, которой она должна удовлетворять, как и любая модель, это требование адекватности.

Метод построения и актуализации таких моделей, заключается в следующем.

- 1) Получение границ интервалов значений каждого из параметров, характеризующих каждую нештатную ситуацию.
 - 2) Упорядочить интервалы значений по возрастанию значений.
 - 3) Перевести данные интервалы значений в качественные шкалы, последовательным присвоением букв в порядке возрастания.
 - 4) Пересекающиеся интервалы значений учесть при помощи функций принадлежности, заданным пользователем.
- В качестве метода тестирования качества работы метода классификации нештатных ситуаций предложено использовать информационную меру на основе оценок дивергенции Кульбака и её дисперсии»⁸ [23, 24]:

$$d(c_{js}) = q_{js} \cdot (1 - \tilde{q}_{js}), q_{js} = \frac{n_{1js}}{N_1}, \tilde{q}_{js} = \frac{\tilde{n}_{1js}}{N - N_1} \quad (9)$$

где, n_{1js} - число подвыборок [25] из выборки данных, в

которых одинаковые значения входных переменных $\bigwedge_{i=1}^n a_{is}$

ведут к одной выходной величине; N_1 - число результирующих состояний, в которых при воздействии различных входных переменных модель принимает одну и ту же выходную величину; N - объем выборки данных (число строк в матрице выборки данных); \tilde{n}_{1js} - число подвыборок из выборки данных с различными значениями

входных переменных $\bigwedge_{i=1}^n a_{is}$.

В работе⁹ в качестве критерия оценки степени соответствия сформированной модели реальному объекту, предложено использовать критерий следующего вида:

$$J(e_M) = \ln(st(\delta)) - \frac{c_M}{N} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{m^o} \ln \left(\frac{f_{ji} - \tilde{f}_{ji}}{m^o} \right), f_{ji} = \rho(b_{ji}), \tilde{f}_{ji} = \rho(\tilde{b}_{ji}). \quad (10)$$

где f_{ji} , \tilde{f}_{ji} - расстояния в заданной метрике $\rho(\cdot)$

действительного b_{ji} и оцениваемого \tilde{b}_{ji} термина выходной переменной от начала отсчета; c_M - параметр регуляризации модели, предназначенный для повышения её обусловленности, m^o - количество термов выходной переменной, $st(\delta)$ - показатель устойчивости оценок критерия.

Устойчивость, под которой понимается стабильность оценок $e_M(W_{N-p})$, получаемых на различных выборках $W_{N-p} \in W_N$. Выборки образованы из выборки W_N путем смены p строк W случайным образом. При этом $W_{N-p} \cup W_p = W_N$, $W_{N-p} \cap W_p = \emptyset$. Тогда устойчивость получаемой модели можно характеризовать $st(\delta)$:

$$st(\delta) = \frac{n_p(\delta)}{n_p}, \quad (11)$$

где n_p - число подвыборок W_{N-p} ; $n_p(\delta)$ - число подвыборок $W_{N-p} \in W_N$.

Добиваясь минимальных значений $J(e_M)$ настройкой управляемых параметров (зоны неопределенности, параметров функций принадлежности) обеспечивается адекватность моделей, используемых в классификаторе (8).

Выводы

Теоретические исследования предложенных методов классификации ситуаций и распознавания класса нештатной ситуации, основанных на использовании нечетких моделей, показали степень достоверности получаемых оценок в реальном времени появления событий превосходящую 80%. При этом, на основе результатов практических испытаний нечетких моделей, полученных на основе реализации аналогичных проектах в смежных сферах, можно сделать вывод о том, что значение точности классификации нештатных ситуаций будет превосходить 70%, а вероятность выделения нештатной ситуации 75%.

⁷ Там же.

⁸ Токарев В. Л. Компьютерная поддержка принятия решений : монография. М. : Изд-во СГУ, 2007. 162 с. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=19453426> (дата обращения: 13.08.2022).



Список использованных источников

- [1] Черняков С. А., Дудин В. Ю. Современное состояние преступности на объектах транспорта в России // Вестник Белгородского юридического института МВД России имени И.Д. Путилина. 2020. № 1. С. 48-53. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=42668983> (дата обращения: 13.08.2022).
- [2] Битшева А. В., Никифоров Ю. А. Криминологическая характеристика преступлений, связанных с безопасностью дорожного движения и безопасной эксплуатацией транспортных средств: проблемы, особенности и тенденции // Вестник Казанского юридического института МВД России. 2022. Т. 13, № 1(47). С. 38-45. doi: <https://doi.org/10.37973/KUI.2022.52.68.021>
- [3] Жарикова Ю. И., Болтенкова Ю. В. Состояние преступности на объектах железнодорожного транспорта // Исследование инновационного потенциала общества и формирование направлений его стратегического развития : Сб. науч. статей 11-й Всерос. НПК с межд. участием ; под ред. М. Г. Клевцовой. Курск : ЮЗГУ, 2021. С. 211-214. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=48063251> (дата обращения: 13.08.2022).
- [4] Токарев В. Л., Абрамов Д. А. Построение системы видеоаналитики // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2013. № 9-1. С. 270-276. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=21189404> (дата обращения: 13.08.2022).
- [5] Коданев А. В., Поляков М. В., Сорокина И. К. Расчет параметров камер видеонаблюдения на примере типового объекта // Новые импульсы развития: вопросы научных исследований. Ч. 1. Саратов : Изд-во НОО «Цифровая наука», 2020. С. 77-80. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=46253533> (дата обращения: 13.08.2022).
- [6] Automatic Detection and Classification of Audio Events for Road Surveillance Applications / N. Almaadeed [и др.] // Sensors. 2018. Vol. 18, issue 6. Article number: 1858. doi: <https://doi.org/10.3390/s18061858>
- [7] On the Complexity of Object Detection on Real-world Public Transportation Images for Social Distancing Measurement / N. K. N. Aznan [и др.]. arXiv:2202.06639. 2022. doi: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2202.06639>
- [8] Selection and Quantification of Objects in Microscopic Images: from Multi-Criteria to Multi-Threshold Analysis / M. I. Bogachev [и др.] // BioNanoScience. 2019. Vol. 9, issue 1. P. 59-65. doi: <https://doi.org/10.1007/s12668-018-0588-2>
- [9] Токарев В. Л., Абрамов Д. А. Методы выделения нестандартных ситуаций в информационно-измерительных системах видеонаблюдения // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2015. № 11-1. С. 258-265. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=25482479> (дата обращения: 13.08.2022).
- [10] Maity S., Chakrabarti A., Bhattacharjee D. Background modeling and foreground extraction in video data using spatio-temporal region persistence features // Computers & Electrical Engineering. 2020. Vol. 81. Article number: 106520. doi: <https://doi.org/10.1016/j.compeleceng.2019.106520>
- [11] Пугин Е. В., Беляев С. Ю. Подходы к формированию нечётких признаков в задачах цифровой обработки изображений // Методы и устройства передачи и обработки информации. 2018. № 20. С. 80-85. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=40083219> (дата обращения: 13.08.2022).
- [12] Волков В. Ю., Маркелов О. А., Богачев М. И. Сегментация изображений и селекция объектов на основе многопороговой обработки // Известия высших учебных заведений России. Радиоэлектроника. 2019. Т. 22, № 3. С. 24-35. doi: <https://doi.org/10.32603/1993-8985-2019-22-3-24-35>
- [13] Сегментация объектов с функцией дообучения / И. Д. Ненахов [и др.] // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. 2022. Т. 65, № 3. С. 194-203. doi: <https://doi.org/10.17586/0021-3454-2022-65-3-194-203>
- [14] Ма Ц., Цветков В. Ю., Конопелько В. К. Скелетизация изображений на основе комбинации одно- и двухподытерационных моделей // Информатика. 2020. Т. 17, № 2. С. 25-35. doi: <https://doi.org/10.37661/1816-0301-2020-17-2-25-35>
- [15] Кудрина М. А., Мишенев В. С. Алгоритм волновой скелетизации растровых изображений // Информационные технологии и нанотехнологии. Самара : Новая техника, 2018. С. 784-792. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=34894789> (дата обращения: 13.08.2022).
- [16] Токарев В. Л., Абрамов Д. А. Трекинг в задачах обеспечения безопасности // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2013. № 9-2. С. 215-223. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=21191034> (дата обращения: 13.08.2022).
- [17] Абрамов Д. А. Метод автоматического выявления нестандартных ситуаций по результатам видеонаблюдений // Математические методы в технике и технологиях – ММТТ-27. 2014. № 4(63). С. 118-120. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=24339216> (дата обращения: 13.08.2022).
- [18] Токарев В. Л., Абрамов Д. А. Метод идентификации аномалий // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2012. № 12-2. С. 219-225. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=18982028> (дата обращения: 13.08.2022).
- [19] Rodrigue J.-P. Chapter 9 Transport Planning and Policy // The Geography of Transport Systems ; ed. by J.-P. Rodrigue. 5th ed. Routledge, 2020. 32 p. doi: <https://doi.org/10.4324/9780429346323>
- [20] Пугин Е. В., Жизняков А. Л. Алгоритмы обработки изображений для обнаружения объектов с использованием нечётких признаков // Радиотехнические и телекоммуникационные системы. 2020. № 2(38). С. 59-65. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=43799895> (дата обращения: 13.08.2022).



- [21] Some geometric aggregation operators based on picture fuzzy sets and their application in multiple attribute decision making / C. Wang, X. Zhou, H. Tu, S. Tao // *Italian Journal of Pure and Applied Mathematics*. 2017. No. 37. P. 477-492. URL: https://ijpam.uniud.it/online_issue/201737/44-WangZhouTuTao.pdf (дата обращения: 13.08.2022).
- [22] Privezentsev D. G., Zhiznyakov A. L., Pugin E.V. Development of fuzzy fractal representation of the image // *CEUR Workshop Proceedings*. 2018. Vol. 2210. P. 309-315. URL: <https://ceur-ws.org/Vol-2210/paper40.pdf> (дата обращения: 13.08.2022).
- [23] Прелов В. В. f -дивергенция и склеивание вероятностных распределений // *Проблемы передачи информации*. 2021. Т. 57, № 1. С. 64-80. doi: <https://doi.org/10.31857/S0555292321010034>
- [24] Multispectral change detection using multivariate Kullback-Leibler distance / S. Jabari, M. Rezaee, F. Fathollahi, Y. Zhang // *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. 2019. Vol. 147. P. 163-177. doi: <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2018.11.014>
- [25] Токарев В. Л., Горбунова Т. И. Выбор оптимального метода оценивания ситуации в задаче принятия решений // *Известия Тульского государственного университета. Технические науки*. 2009. № 4. С. 76-180. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=15224243> (дата обращения: 13.08.2022).

Поступила 13.08.2022; одобрена после рецензирования 24.10.2022; принята к публикации 27.11.2022.

Об авторах:

Абрамов Дмитрий Александрович, доцент кафедры информационной безопасности, ФГБОУ ВО «Тульский государственный университет» (300012, Российская Федерация, Тульская область, г. Тула, пр. Ленина, д. 92), кандидат технических наук, **ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2813-1179>**, sipai-dima@mail.ru

Токарев Вячеслав Леонидович, доцент кафедры информационной безопасности, ФГБОУ ВО «Тульский государственный университет» (300012, Российская Федерация, Тульская область, г. Тула, пр. Ленина, д. 92), доктор технических наук, профессор, **ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9827-5250>**

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

References

- [1] Chernyakov S.A., Dudin V.Yu. The current state of crime at transport facilities in Russia. *Vestnik of Putlin Belgorod Law Institute of Ministry of the Interior of Russia*. 2020;(1):48-53. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=42668983> (accessed 13.08.2022). (In Russ., abstract in Eng.)
- [2] Bitsheva A.V., Nikiforov Yu.A. Criminological characteristics of road safety offences and offences concerning safe operation of vehicles: challenges, features and trends. *Bulletin of the Kazan Law Institute of MIA Russia*. 2022;13(1):38-45. (In Russ., abstract in Eng.) doi: <https://doi.org/10.37973/KUI.2022.52.68.021>
- [3] Zharikova Yu.I., Boltenkova Yu.V. The state of crime at railway transport facilities. In: Klevtsova M.G. ed. *Issledovanie innovacionnogo potenciala obshhestva i formirovanie napravlenij ego strategicheskogo razvitija*. Kursk: SWSU; 2021. p. 211-214. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=48063251> (accessed 13.08.2022). (In Russ., abstract in Eng.)
- [4] Tokarev V.L., Abramov D.A. Creation of system of video analytics. *News of the Tula state university. Technical sciences*. 2013;(9-1):270-276. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=21189404> (accessed 13.08.2022). (In Russ., abstract in Eng.)
- [5] Kodanov A.V., Polyakov M.V., Sorokina I.K. Calculation of video surveillance camera parameters on the example of a typical object. In: *Proceedings of the 2020 Conference on New impulses of development: questions of scientific research. Part 1*. Saratov: Digital science Publ.; 2020. p. 77-80. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=46253533> (accessed 13.08.2022). (In Russ., abstract in Eng.)
- [6] Almaadeed N., Asim M., Al-Maadeed S., Bouridane A., Beghdadi A. Automatic Detection and Classification of Audio Events for Road Surveillance Applications. *Sensors*. 2018;18(6):1858. doi: <https://doi.org/10.3390/s18061858>
- [7] Aznan N.K.N., Brennan J., Bell D., Jonczyk J., Watson P. On the Complexity of Object Detection on Real-world Public Transportation Images for Social Distancing Measurement. arXiv:2202.06639. 2022. doi: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2202.06639>
- [8] Bogachev M.I., Volkov V.Y., Kolaev G., Chernova L., Vishnyakov I., Kayumov A. Selection and Quantification of Objects in Microscopic Images: from Multi-Criteria to Multi-Threshold Analysis. *BioNanoScience*. 2019;9(1):59-65. doi: <https://doi.org/10.1007/s12668-018-0588-2>
- [9] Tokarev V.L., Abramov D.A. Methods of allocation abnormal situations in the information-measuring system surveillance. *News of the Tula state university. Technical sciences*. 2015;(11-1):258-265. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=25482479> (accessed 13.08.2022). (In Russ., abstract in Eng.)
- [10] Maity S., Chakrabarti A., Bhattacharjee D. Background modeling and foreground extraction in video data using spatio-temporal region persistence features. *Computers & Electrical Engineering*. 2020;81:106520. doi: <https://doi.org/10.1016/j.compeleceng.2019.106520>
- [11] Pugin E.V., Belyaev S.Yu. Approaches to the formation of fuzzy features in digital image processing problems. *Methods and devices of information transmission and processing*. 2018;(20):80-85. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=40083219> (accessed 13.08.2022). (In Russ., abstract in Eng.)



- [12] Volkov V.Yu., Markelov O.A., Bogachev M.I. Image segmentation and object selection based on multi-threshold processing. *Journal of the Russian Universities. Radioelectronics*. 2019;22(3):24-35. (In Russ., abstract in Eng.) doi: <https://doi.org/10.32603/1993-8985-2019-22-3-24-35>
- [13] Nenakhov I.D., Artemov K., Zabihifar S., Semochkin A.N., Kolyubin S.A. Objects segmentation with retraining function. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Priborostroenie = Journal of Instrument Engineering*. 2022;65(3):194-203. (In Russ., abstract in Eng.) doi: <https://doi.org/10.17586/0021-3454-2022-65-3-194-203>
- [14] Ma J., Tsviatkou V.Yu., Kanapelka V.K. Image skeletonization based on combination of one- and two-sub-iterations models. *Informatics*. 2020;17(2):25-35. (In Russ., abstract in Eng.) doi: <https://doi.org/10.37661/1816-0301-2020-17-2-25-35>
- [15] Kudrina M.A., Mishenev V.S. Wave Skeletonization Algorithm of Raster Images. In: Proceedings of the IV International Conference and Youth School "Information Technologies and Nanotechnologies" (ITNT-2018). Samara: New Technology; 2018. p. 784-792. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=34894789> (accessed 13.08.2022). (In Russ., abstract in Eng.)
- [16] Tokarev V.L., Abramov D.A. Tracking in the problems of safety. *News of the Tula state university. Technical sciences*. 2013;(9-2):215-223. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=21191034> (accessed 13.08.2022). (In Russ., abstract in Eng.)
- [17] Abramov D.A. [The method of automatic detection of emergency situations based on the results of video surveillance]. *Proceedings of the International Conference Mathematical Methods in Technique and Technologies – MMTT-27*. 2014;(4):118-120. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=24339216> (accessed 13.08.2022). (In Russ.)
- [18] Tokarev V.L., Abramov D.A. Method Anomaly Detected. *News of the Tula state university. Technical sciences*. 2012;(12-2):219-225. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=18982028> (accessed 13.08.2022). (In Russ., abstract in Eng.)
- [19] Rodrigue J.-P. Chapter 9 Transport Planning and Policy. In: *The Geography of Transport Systems*. 5th ed. Routledge; 2020. 32 p. doi: <https://doi.org/10.4324/9780429346323>
- [20] Pugin E.V., Zhiznyakov A.L. Image processing algorithms for detecting objects using fuzzy features. *Radio Engineering and Telecommunications Systems*. 2020;(2):59-65. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=43799895> (accessed 13.08.2022). (In Russ., abstract in Eng.)
- [21] Wang C., Zhou X., Tu H., Tao S. Some geometric aggregation operators based on picture fuzzy sets and their application in multiple attribute decision making. *Italian Journal of Pure and Applied Mathematics*. 2017;(37):477-492. Available at: https://ijpam.uniud.it/online_issue/201737/44-WangZhouTuTao.pdf (accessed 13.08.2022).
- [22] Privezentsev D.G., Zhiznyakov A.L., Pugin E.V. Development of fuzzy fractal representation of the image. *CEUR Workshop Proceedings*. 2018;2210:309-315. Available at: <https://ceur-ws.org/Vol-2210/paper40.pdf> (accessed 13.08.2022).
- [23] Prelov V. The f -Divergence and Coupling of Probability Distributions. *Problems of Information Transmission*. 2021;57(1):54-69. doi: <https://doi.org/10.1134/S0032946021010038>
- [24] Jabari S., Rezaee M., Fathollahi F., Zhang Y. Multispectral change detection using multivariate Kullback-Leibler distance. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. 2019;147:163-177. doi: <https://doi.org/10.1016/j.isprs.2018.11.014>
- [25] Tokarev V.L., Gorbunova T.I. [The choice of the optimal method for estimating the situation in the decision-making problem]. *News of the Tula state university. Technical sciences*. 2009;(4):76-180. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=15224243> (accessed 13.08.2022). (In Russ.)

Submitted 13.08.2022; approved after reviewing 24.10.2022; accepted for publication 27.11.2022.

About the authors:

Dmitry A. Abramov, Associate Professor of the Chair of Information Security, Tula State University (92 Prospekt Lenina, Tula 300012, Russian Federation), Cand. Sci. (Eng.), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2813-1179>, sipai-dima@mail.ru

Vyacheslav L. Tokarev, Associate Professor of the Chair of Information Security, Tula State University (92 Prospekt Lenina, Tula 300012, Russian Federation), Dr. Sci. (Eng.), Professor, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9827-5250>

All authors have read and approved the final manuscript.

