

На правах рукописи



Абрамов Дмитрий Александрович

Информационно-измерительная система классификации ситуаций в наблюдаемой зоне

Специальность 05.11.16 - Информационно-измерительные и управляющие системы (в промышленности)

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Тула 2016

Работа выполнена в ФГБОУ ВО «Тульский государственный университет»

Научный руководитель: доктор технических наук, доцент
Токарев Вячеслав Леонидович

Официальные оппоненты: Привалов Александр Николаевич, доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВПО "Тульский государственный педагогический университет им. Л.Н. Толстого", кафедра информатики и информационных технологий, профессор

Нурматова Елена Вячеславовна, кандидат технических наук, доцент, ФГБОУ ВО "Московский технологический университет", кафедра СФ-2 «Приборы и информационные технологии», заведующий кафедрой.

Ведущая организация: ФГБОУ ВО "Юго-Западный государственный университет", Курск

Защита состоится «25» 10 2016г. в 14 часов на заседании диссертационного совета Д 212.271.07 на базе ФГБОУ ВО «Тульский государственный университет» (300012, г. Тула, пр. Ленина, 92 (9-101) .

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО «Тульский государственный университет» и на сайте <http://tsu.tula.ru/science/dissertation/diss-212-271-07/abramov-da/>

Автореферат разослан «30» 08 2016г.

Учёный секретарь
диссертационного совета



Данилкин
Фёдор Алексеевич

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. В современном мире значительно возрастает интерес к информационно-измерительным системам обеспечения безопасности, использующим видеокамеры в качестве источника информации. Данное направление на сегодняшний день является одним из наиболее востребованных, так как позволяет получить своевременно оценку взаимного расположения объектов, ситуаций, складывающихся в обозреваемой зоне. Такие информационно-измерительные системы позволяют значительно сокращать время, требуемое лицу, принимающему решение, на принятие адекватных мер и действий в случае возникновения нештатной ситуации. Кроме того, такие системы позволяют минимизировать величину ущерба, причинённого нештатной ситуацией (НС) за счёт своевременного извещения пользователя о наличии НС (аномалии) на ранних этапах её возникновения. Кроме задачи выделения нештатных ситуаций, подобный класс систем решает и задачи регистрации НС, что бывает крайне полезно при проведении следственных действий и анализе причин их возникновения. Минимизация ущерба при помощи таких информационно-измерительных систем является особенно востребованной в тех областях, в которых наблюдается наибольший материальный ущерб. Основным препятствием широкого развития таких систем, является отсутствие надежных методов и алгоритмов оценивания ситуаций в реальном времени по результатам видеонаблюдений. Это делает задачу разработки методов и алгоритмов обнаружения и классификации нештатных ситуаций средствами информационно-измерительных систем актуальной и одной из наиболее важных.

Объектом исследования диссертационной работы является информационно-измерительная система, включающая подсистему видеонаблюдения и предназначенная для оценивания в реальном времени ситуации в наблюдаемой зоне.

Предметом исследования являются методы автоматического оценивания ситуации по результатам видеонаблюдений, возникающих в контролируемой зоне, при помощи средств информационно-измерительных систем.

Целью диссертационной работы является повышение эффективности ИИС за счет автоматизации процесса принятия решений о наступлении и классе нештатной ситуации и расширения списка автоматического обнаружения нештатных ситуаций.

Для достижения этой цели были поставлены следующие **задачи**: 1) разработать методику выбора измерительного устройства и структуры информационно-измерительной системы; 2) разработать метод быстрого выделения объектов, поведение которых определяет ситуацию в наблюдаемой сцене – интересующих объектов; 3) разработать метод оценивания параметров поведения интересующих объектов; 4) разработать метод и алгоритмы быстрой классификации ситуаций, возникающих в наблюдаемой зоне.

Методы исследования. В данной работе использовались методы из следующих областей: теория цифровой обработки изображений, теории вероятностей и математической статистики, теории измерений, теории принятия решений, методы двумерного преобразования сигналов, теория распознавания образов. При этом использовались результаты работы следующих учёных: Кругль Г. [43], Лукьяница А.А. [47], Прэтт А. [56], Хаар А., Вальд А. [26], Журавлёв Ю. И. [39], Колмогоров Г. [61], Рабинович С. [57], Новицкий П. [51].

Научная новизна данной работы заключается в следующем.

1 Предложена и обоснована методика выбора измерительного устройства и структуры информационно измерительной системы, предназначенной для автоматического распознавания ситуаций в наблюдаемой зоне.

2. Предложен метод быстрого выделения интересующих объектов, поведение которых определяет ситуацию в наблюдаемой сцене, основанный на теории распознавания образов.

3. Методы и алгоритмы быстрой классификации ситуаций, возникающих в наблюдаемой зоне, основу которых составляют нечеткие модели и процедуры логического вывода.

Достоверность полученных результатов обеспечивается корректностью применения математического аппарата и методов исследования, а так же соответствием характеристик измерителей заявленным требованиям и подтверждена результатами экспериментальных исследований.

Практическая ценность. Разработанные в рамках выполнения данной исследовательской работы методы могут быть использованы при проектировании и построении информационно-измерительных систем для автоматического выявления нештатных ситуаций, а так же были успешно внедрены в систему автоматизированного коммерческого осмотра поездов и вагонов - АСКО ПВ 3D, разработанную компанией ОАО НПП «Альфа-Прибор». Теоретические результаты данной работы внедрены в курс лекций по дисциплине «Программно-аппаратные средства обеспечения информационной безопасности».

Положения, выносимые на защиту.

1. Метод «быстрого» выделения интересующих объектов, основанный на процедуре анализа оцениваемых в реальном времени параметров движения интересующих объектов, отличающейся выполнением логических операций анализа, требующих сравнительно небольших временных затрат.

2. Метод оценивания параметров поведения интересующих объектов, заключающийся в выявлении различий интересующих объектов, находящихся одновременно в наблюдаемой зоне и сохраняющих найденные различия в течение жизненного цикла соответствующих образов.

3. Метод и алгоритмы «быстрой» классификации ситуаций, возникающих в наблюдаемой зоне, основанные на использовании нечетких моделей распознаваемых классов ситуаций.

Апробация результатов работы. Результаты работы предоставлялось на следующих научных конференциях: 1. VI Магистерская научно-техническая конференция, Тула 18-23 мая 2011. 2. Шестая Всероссийская Научно-Техническая конференция «Системы управления Электротехническими объектами» Тула 18-19 октября 2012. 3. Актуальные проблемы информатизации в науке, образовании и экономике, Зеленоград, 17-19 октября 2012. 4. Международная молодёжная научная конференция «XXXIX Гагаринские чтения», Москва 9-13 апреля 2013. 5. Международная молодёжная научная конференция «XXXVIII Гагаринские чтения», Москва, 7-11 апреля 2014.

Публикации. По теме диссертации было опубликовано 15 научных работ в различных научных изданиях, в том числе, 5 в журналах, входящих в перечень ВАК, рекомендованных для публикации результатов диссертационных исследований.

Структура диссертации. Диссертация состоит из четырёх глав, введения и заключения, которые были изложены на 104 страницах и содержат 26 рисунков и 9

таблиц. Кроме этого присутствует список литературы из 112 наименований и приложение.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Введение. Во введении производится обоснование актуальности темы, раскрыты общие сведения о задачах, решаемых в диссертации, представлены основные задачи, решение которых приводит к достижению цели выполнения работы.

В **первой главе** исследованы общие принципы организации информационно-измерительных систем, построенных на основе подсистемы видеонаблюдения, и было определено, что в большинстве информационно-измерительных систем информация, полученная при помощи видеокамер, последовательно проходит следующий ряд этапов: 1) отделение в видеоряде движущихся объектов от неподвижных; 2) классификация подвижных объектов и выделение интересующих объектов; 3) регистрация движения интересующих объектов. Третий этап этой последовательности предложено заменить следующими: 3) идентификация интересующих объектов с присвоением каждому из них идентификатора; 4) выделение траектории каждого идентифицированного объекта и вычисление их параметров; 5) классификация ситуаций в реальном времени по параметрам движения интересующих объектов в контролируемой зоне.

Проведен аналитический обзор возможностей подсистемы видеонаблюдения. Показано, что в существующих на данный момент информационно-измерительных системах, основанных на подсистеме видеонаблюдения, нет методики настройки подсистемы видеонаблюдения, используемой для наблюдения за движением объектов и распознавания в реальном времени ситуаций, складывающихся в контролируемой территории.

Сформулирована задача выбора рациональных значений характеристик подсистемы видеонаблюдения, используемой для распознавания ситуаций в наблюдаемой зоне.

Предложенная методика заключается в следующем.

1. Исходя из целей построения ИИС, определяется множество A характеристик контролируемой зоны и множество B характеристик объектов наблюдения, способных появляться в этой зоне.

2. Определяются отношения

$$R: A \rightarrow x; \quad Q: B \rightarrow p, \quad x, p \in X, \quad (1)$$

где R и Q – бинарные отношения, x – вектор параметров, отражающих важные для оценивания ситуации свойства контролируемой зоны; p – параметры, отражающие, важные для распознавания объектов признаки, X – обобщенный вектор параметров контролируемой зоны и объектов.

3. Определяется множество характеристик Y подсистемы видеонаблюдения, включающих параметры видеокамеры, размещения видеокамер и объектива.

4. Определяются вектор y – допустимых интервалов значений параметров подсистемы видеонаблюдения

$$y = (R \circ Q)z, \quad y \in Y, \quad z = [x; p]^T, \quad z \in Z, \quad (2)$$

где композиция $(R \circ Q)$ реализуется в виде логической модели $\bigcup_i \bigcap_j z_{ij} \rightarrow y$

Проведенные исследования показали, что в качестве параметров x контролируемой зоны использованы следующие:

1. Протяженность зоны (по длине и ширине). 2. Освещенность поверхности, в люксах (нижний и верхний пределы). 3. Характеристики неподвижных объектов: освещенность (пределы), границы спектральной характеристики (цвета), геометрические размеры, площадь, конфигурация, расположение в контролируемой зоне. 4. Размещение неподвижных объектов. 5. Разметка поверхности, по которой движутся подвижные объекты, с учетом различных ограничений.

В качестве параметров p подвижных объектов использованы следующие: пределы занимаемой площади; форма на изображении (типы шаблонов, инвариантных к масштабу); момент появления в контролируемой зоне; направление движения; скорости движения; ускорение движения; отражательная способность (пределы); спектральная характеристика; контрастность относительно фона (пределы); пределы изменения формы во время движения; минимальные размеры различаемых деталей, важных для идентификации объекта.

В качестве параметров y видеосистемы использованы следующие:

1. Параметры видеокамеры: разрешающая способность (размеры ПЗС ячеек); чувствительность (пределы в люксах); спектральная чувствительность; наличие или отсутствие автоматической регулировки диафрагмы; наличие или отсутствие подсистемы компенсации фоновых воздействий; наличие или отсутствие видеодетектора движения (аналогового или цифрового); стандарт видеосигнала (EIA, CCIR, NTSC, SECAM, PAL).

2. Параметры объектива: фокусное расстояние (пределы); светосила (пределы); угол зрения (пределы).

3. Параметры размещения: число видеокамер; высота установки видеокамер; угол наклона оптической оси видеокамеры.

В ходе исследований были выявлены следующие источники погрешностей оценивания параметров, возникающих в измерительном устройстве: шумы видеокамеры, изменение освещенности, контрастности, угла наблюдения за объектами сцены, масштаба и формы объектов.

В качестве критерия оптимальности предварительной обработки изображений была выбрана среднеквадратическая ошибка оценивания вектора параметров X , характеризующих ситуации:

$$J = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^N (x_{i_{\text{изм}}} - x_{i_{\text{факт}}})^2 \quad \text{при} \quad t \leq t_{\text{доп}}, \quad (3)$$

где N - размер выборки данных, полученной в результате экспериментальной настройки системы видеонаблюдения, $X_{i_{\text{изм}}}$ - i -е значения параметров, полученные в результате обработки видеоизображений, получаемых с видеокамер, $X_{i_{\text{факт}}}$ - фактические значения параметров, получаемых в результате непосредственных измерений с помощью измерительной аппаратуры.

Произведен анализ методов обнаружения интересных объектов в последовательности кадров ω_n , выявлены их достоинства и недостатки. В результате была сформулирована задача обнаружения нештатной ситуации.

Задача заключается в оценивании вектора параметров, характеризующих движение объектов в контролируемой зоне, в построении границ допустимых значений этих параметров и выборе метрики, по которой осуществляется сравнение текущего значения параметров P_k и Σ' . Показано, что для решения этой задачи требуется раз-

работать методы, отличающиеся повышенным быстродействием, которые реализуют следующие операторы: 1) оператор выделения подвижных объектов $\Pi_1(\omega_k): \omega_k \rightarrow G_k$; 2) оператор выделения интересных объектов $\Pi_2(G_k): G_k \rightarrow H_k \subseteq G_k$; 3) оператор идентификации интересных объектов $\Pi_3(H_k): H_k \rightarrow h_{i,k} \in H_k$; 4) оператор оценки траекторий идентифицированных объектов наблюдения $\Pi_4(\omega_k, h_{i,k}): \omega_k, h_{i,k} \rightarrow t(h_{i,k})$, $i = 1, \dots, m_k$, где m_k – число интересных объектов, находящихся в контролируемой зоне в k -й момент времени; 5) оператор $\Pi_5(T_k): T_k \rightarrow P_k$ вычисления параметров P_k , характеризующих ситуацию σ_k в k -й момент времени; 6) оператор обнаружения нештатной ситуации $\Pi_6(P_k): P_k \rightarrow \Sigma'$; 7) оператор распознавания класса нештатной ситуации $\Pi_7(P_k): P_k \rightarrow \sigma'_k \in \Sigma'$.

Определены требования, которым должны удовлетворять указанные операторы. При этом для последовательной реализации предложенных операторов информационно-измерительная система должна быть построена на основе структурной схемы, приведённой на рис. 1.

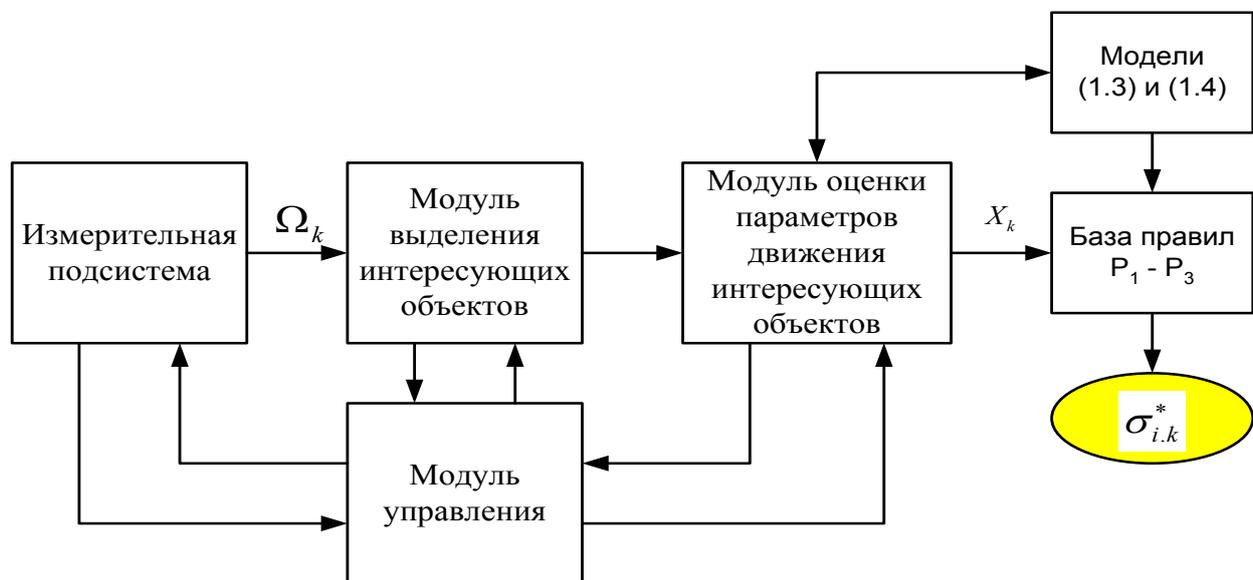


Рисунок 1. Структурная схема информационно-измерительной системы

Видеосистема должна удовлетворять требованиям предложенной методики, остальные блоки системы должны быть реализованы в виде программного обеспечения ИИС.

Во второй главе изложены разработанные методы, положенные в основу операторов $\Pi_1(\omega_k)$, $\Pi_2(G_k)$, $\Pi_3(H_k)$, $\Pi_4(\omega_k, h_{i,k})$, $\Pi_5(t(h_{i,k}))$. Производится сравнение предлагаемых методов с существующими. Предложен метод выделения интересных объектов, основанный на анализе различий образов объектов, присутствующих в наблюдаемой зоне.

Предлагаемый метод выделения интересных объектов предполагает инициализацию измерительной части ИИС. По завершении инициализации ИИС, нахождение объекта в наблюдаемой зоне представлено последовательным прохождением следующих стадий: 1) «появление»; 2) «наблюдение»; 3) «уход» или исчезновение объекта.

Инициализация измерительной части ИИС заключается в следующем:

1. Формируется начальная модель фона наблюдаемой сцены $B_0 = \bigcap_{j=1}^n I_j$,

где n – размер окна фильтрации изображений, I_{k-j} - j -е множество пикселей изображения наблюдаемой сцены.

2. На фон накладывается маска, т.е. делается разметка наблюдаемой зоны, разграничивающая отдельные участки, различающиеся правилами поведения в них подвижных объектов: $C = M(B_0)$, координаты $M(B_0)$ сохраняются в памяти базы правил.

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

$$B_k = B_{k-1} \cap F \left(\bigcap_{j=k}^{k-n} I_j \right), \quad (4)$$

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

2. Выделяется множество подвижных объектов путем вычитания фона $\Omega_k = I_k - B_k$ с 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:

$$|s_i \nabla \bar{s}_i| \leq \delta \rightarrow \omega(s_i) = h_i \in H_k, \quad \omega_i(s_i) \in \Omega_k, \varpi_i(\bar{s}_i) \in \Omega', \quad (5)$$

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 этого для каждой пары схожих образов определяются 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 $h_i(s_i, p_i)$:

$$\Pi_3(H_k): (h_i(s_i), h_j(s_j) | s_i \cong s_j) \xrightarrow{\Pi(p_i \neq p_j \in P)} h_i(s_i, p_i), h_j(s_j, p_j) \in H_k, \quad (6)$$

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 (4) и (5) выполняются до тех пор, пока в множестве Ω_k не обнаружится ни одного нового объекта.

В фазе «сопровождение» вычисляются параметры X – признаки ситуаций, возможных в контролируемой зоне. Например, в задачах, в которых контролируемой зоной является автодорога, такими параметрами могут быть: а) значения количественных переменных (x_1 – расстояние между объектами; x_2 – кратковременное ускорение транспортного средства; x_3 – составляющая скорости движения транспортного средства в поперечном основном направлению; x_4 – скорость движения транспортного средства), значения логических переменных (x_5 – пресечение транспортным средством осевой разметки дороги; x_6 – наличие пешехода на переходе «зебра»; x_7 – наезд на разметку перехода; x_8 – наличие красного сигнала светофора впереди направления движения транспортного средства; x_9 – превышение x_4 допустимого значения; x_{11} – стоянка транспортного средства в неполюженном месте), значения качественных переменных (x_{12} – появление составляющей скорости движения, в направлении траектории движения другого транспортного средства; x_{13} – сокращение расстояния между двумя транспортными средствами по оси, перпендикулярной движению этих средств; x_{14} – отсутствие отрицательного значения x_2 при приближении к переходу) и др.

Для оценки значений ряда переменных (например $x_1, x_3, x_5, x_7, x_{12}$ и др.) требуется для каждого $h_i(s_i, p_i)$ построение образа его траектории, удовлетворяющего требованию

$$\gamma(c(h_i(s_i, p_i)_{k+1}), \hat{c}(h_i(s_i, p_i)_{k+1})) \rightarrow \min, \quad (7)$$

где $\gamma(\cdot)$ – метрика, определяющая разность центров описывающих образы $(h_i(s_i, p_i)_{k+1})$ фигур в пространстве прямоугольных координат матрицы изображения сцены, фактических $c(h_i(s_i, p_i)_{k+1})$ и определенных процедурой трекинга $\hat{c}(h_i(s_i, p_i)_{k+1})$.

Для решения этой задачи разработан следующий метод (метод трекинга).

1. На построение траектории накладывается ограничение – поиск образа проводится в ограниченной области – полукруге в направлении движения объекта, диаметр которого определяется максимальной возможной скоростью движения.

2. Выбор образа $h_i(s_i, p_i)_{k+1}$ на следующем кадре производится на основе совпадения параметров в метрике $\rho((s_i, p_i)_k, (s_i, p_i)_{k+1})$:

$$c(h_i(s_i, p_i)_{k+1}) = \arg \min_{h_i(s_i, p_i)_{k+1} \in H_{k+1}} \rho((s_i, p_i)_k, (s_i, p_i)_{k+1}) \quad (8)$$

где $c(h_i(s_i, p_i)_{k+1})$ – координаты центра ограничивающей образ $h_i(s_i, p_i)_{k+1}$ фигуры (шаблона).

Для учета изменения параметра $(s_i)_{k+1}$ по мере удаления от границы зоны, с которой образ $h_i(s_i, p_i)_0$ появился, предусмотрено соответствующее изменение параметра $(\bar{s}_i)_{k+1}$ шаблона.

3. Центр $c(h_i(s_i, p_i)_k)$ i -го образа перемещается в точку $c(h_i(s_i, p_i)_{k+1})$. После этого процедура повторяется при фиксировании в памяти нового кадра.

По полученной таким образом последовательности кадров вычисляется вектор параметров X_k с помощью процедуры «Движение».

В фазе «исчезновение (уход) объекта», которая наступает с момента, когда в ходе выполнения трекинга параметр $(s_i)_{k+1}$ образа, попавшего в пограничную область, уменьшается до заданного предела $\delta(s_i)$, удаляется идентификатор и параметры образа $h_i(s_i, p_i)$ из множества H_k .

В третьей главе рассматривается задача реализации оператора классификации ситуаций $\Pi_6(X_k): X_k \rightarrow \Sigma$ и оператора распознавания класса нештатной ситуации $\Pi_7(P_k): P_k \rightarrow \sigma'_k \in \Sigma'$.

Предложен метод классификации ситуаций, который заключается в следующем.

1. Получаемые от измерительной части ИИС векторы переменных $X_i(k)$ группируются в матрицы $\Phi_{j,k}$ размерностью $m \times n_j(k)$, $j=1, \dots, q_k$, где q_k – число типов интересующих объектов, находящихся в k -й момент времени в контролируемой зоне, $n_j(k)$ – число объектов j -го типа, m – число учитываемых в данной задаче переменных. Число $n_j(k)$ столбцов этих матриц непрерывно меняется, а число строк остается постоянным.

Для примера рассмотрена задача, в которой $q_k=2$ и типы: «транспорт» и «пешеход», $m=14$, а все информативные разнотипные переменные сгруппированы в две матрицы $\Phi_{1,k}$ и $\Phi_{2,k}$. Каждый i -й столбец этих матриц содержит вектор значений $X_i(k)$ i -го объекта в момент времени k .

Показано, что матрица $P(k) = \Phi_{1,k} \cup \Phi_{2,k}$ полностью описывает 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 Ponens:

$$\frac{\mu_C(X_i(k)), \mu_C(X_i) \rightarrow \mu_{\hat{\sigma}}(X_i)}{\hat{\sigma}(k)}, \quad i=1, \dots, n(k) \quad (9)$$

Требуется в каждый момент времени k по содержимому матрицы $P(k)$ определить одну из возможных ситуаций $\sigma(k) \in \Sigma_0 = \{\text{"нормальная"}, \text{"тревожная"}, \text{"критическая"}\}$:

$$\forall k [P(k) \rightarrow \hat{\sigma}(k)] \rho(\hat{\sigma}(k), \sigma(k) \rightarrow 0) \in \Sigma_0,$$

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

$$\rho(\hat{\sigma}(k), \sigma(k)) = \begin{cases} 0, & \text{если } \hat{\sigma}(k) = \sigma(k) \\ d, & \text{иначе.} \end{cases}, \quad \text{в котором } d \text{ – ошибка – «расстояние» между}$$

$\hat{\sigma}(k)$ и $\sigma(k)$ в метрике $\rho(\cdot)$.

В качестве такой метрики предложено использовать меру Лебега, а знак разности $\rho(\cdot)$ определять по правилу $sign(\rho(\cdot)) = \begin{cases} +1, & \text{если } p_i^T(t(h_{i.k})) \in \Omega_P, \\ -1, & \text{если } p_i^T(t(h_{i.k})) \notin \Omega_P \end{cases}$, где Ω_P - область значений параметров $p_i^T(t(h_{i.k}))$, ограниченная допустимыми значениями $p^T(t_j(h))$.

Реализацию правила (3.1) предложено представить в следующем виде:

$$\bigvee_{j=1}^m \left[\bigvee_{i=1}^{n_k} \mu_j(x_i(k) \in P(k)) \right] \rightarrow \mu_{\hat{\sigma}(k)}(X_i), \quad \hat{\sigma}(k) \in \Sigma_o, \quad (10)$$

где $\bigvee_{j=1}^m$ - операция взятия максимума: $\bigvee_{j=1}^m [c_j] = \max\{c_1, c_2, \dots, c_m\}$.

Для реализации оператора $\Pi_7(P_k)$ решающего задачу быстрой классификации нештатных ситуаций был разработан метод, основанный на анализе полученной последовательности матриц значений $\{P_k, P_{k-1}, P_{k-2}, P_{k-3}, \dots\}$.

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, классификатор нештатных ситуаций целесообразно построить в виде набора нечетких правил.

Тогда нечеткий классификатор можно представить в следующем виде.

$$\bigcup_{q=1}^h \bigcap_{i=1}^m \mu_{c_{ij}}(x_i(k)) \rightarrow \pi(a_q), \quad (11)$$

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

Каждая q -я нечеткая импликация представляет собой нечеткую модель нештатной ситуации (12), и основное требование, которой она должна удовлетворять, как и любая модель, это требование адекватности.

$$\begin{aligned} \mu_c(x_1(k)) \wedge \mu_c(x_2(k)) \wedge \mu_c(x_3(k)) &\rightarrow \pi(a_1), \\ \mu_c(x_1(k)) \wedge \mu_c(x_4(k)) \wedge \mu_c(x_5(k)) &\rightarrow \pi(a_2), \\ \mu_c(x_6(k)) \wedge \mu_c(x_7(k)) \wedge \mu_c(x_8(k)) &\rightarrow \pi(a_3), \\ \mu_c(x_7(k)) \wedge \mu_c(x_8(k)) \wedge \mu_c(x_9(k)) \wedge \mu_c(x_{10}(k)) &\rightarrow \pi(a_4), \\ \mu_c(x_1(k)) \wedge \mu_c(x_{11}(k)) &\rightarrow \pi(a_5), \\ \mu_c(x_{13}(k)) \wedge \mu_c(x_{14}(k)) &\rightarrow \pi(a_6), \end{aligned} \quad (12)$$

где знак $\bigwedge_{j=1}^m$ означает операцию взятия минимума $\bigwedge_{j=1}^m [c_j] = \min \{c_1, c_2, \dots, c_m\}$

Разработанный алгоритм построения и актуализации лингвистических моделей представлен на рис. 2

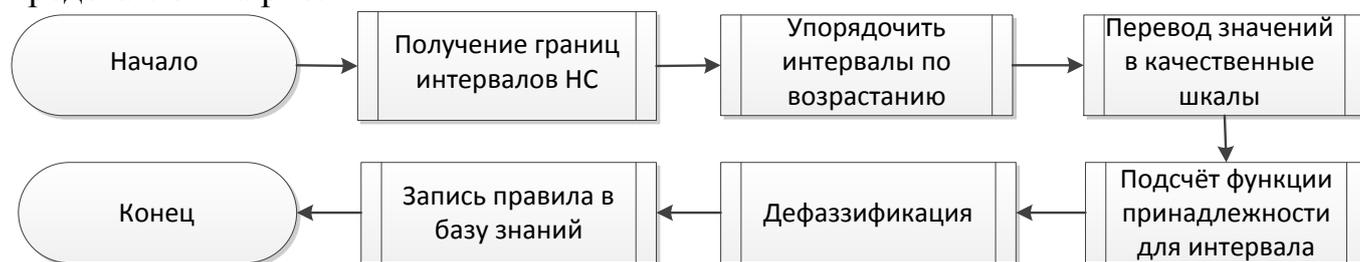


Рисунок 2. Алгоритм построения и актуализации лингвистических моделей.

Дефаззификацию получаемого нечеткого вывода предложено делать следующим образом. В шкале $[0,1]$ значений функции принадлежности $\mu_{\hat{\sigma}(k)}(X_i)$ определяется уровень неопределенности $\lambda(\Delta_x)$, исходя из суммарной погрешности Δ_x измерения значений $x(k)$. Максимальные значения $\mu_{\hat{\sigma}(k)}(X_i)$ указывают на активацию тех признаков $x_i(k)$, для которых они получены. Полученный набор $\{x_i(k)\}$ указывает на наличие соответствующей аномалии a_j с уверенностью π .

Исследовано применение оператора $\Pi_7(P_k)$ классификации нештатных ситуаций, реализованного на основе предложенного метода.

1. Множество возможных последовательностей значений оператора в режиме обучения ИИС разбивается на q классов (по числу нештатных ситуаций, требующих вызова спецслужб для их ликвидации).

2. Каждый класс $D_l, l=1, \dots, q$, включает некоторый набор ситуаций. Например, D_1 – ситуации (σ_2 или σ_3), требующая вмешательства полиции, D_2 – ситуация (σ_3 или σ_4), требующая вызова скорой медицинской помощи, D_3 – ситуация (σ_5 или σ_6), требующая вызова службы МЧС, D_4 – ситуация (σ_7 или σ_8), требующая вызова охраны.

3. Применить правило классификации (11).

4. Выдать сообщение о наступлении распознанной нештатной ситуации в соответствующую службу.

Четвёртая глава посвящена экспериментальной проверке работоспособности и эффективности предложенных методов. В качестве критерия оценки выступает точность обнаружения аномалий.

Для этого было разработано программное обеспечение ИИС, включающее следующие модули: а) отображения фона V_k , реализующий процедуру (4); б) выделения подвижных объектов Ω_k , использующий процедуру фильтрации; в) выделение интересующих объектов, реализующий процедуру (5); г) идентификации интересующих объектов и вычисления их траекторий, реализующий процедуры (6) и (7); д) оценки параметров поведения интересующих объектов X_k ; е) принятия решений, выполняющий классификацию ситуаций, используя правило (10) и классификацию нештатных ситуаций, используя правило (11); ж) рабочей памяти для хранения последовательности кадров, получаемых с видеокamеры, набора используемых параметров и др.; з) базы правил, включающий предварительно

построенные логические и лингвистические модели; и) управления и синхронизации, обеспечивающий процессы рождения образов объектов, их сопровождения и удаления; к) выдачи сообщений о наступлении нештатной ситуации в наблюдаемой зоне.

Структурная схема программного обеспечения ИИС приведена на рисунке 3.

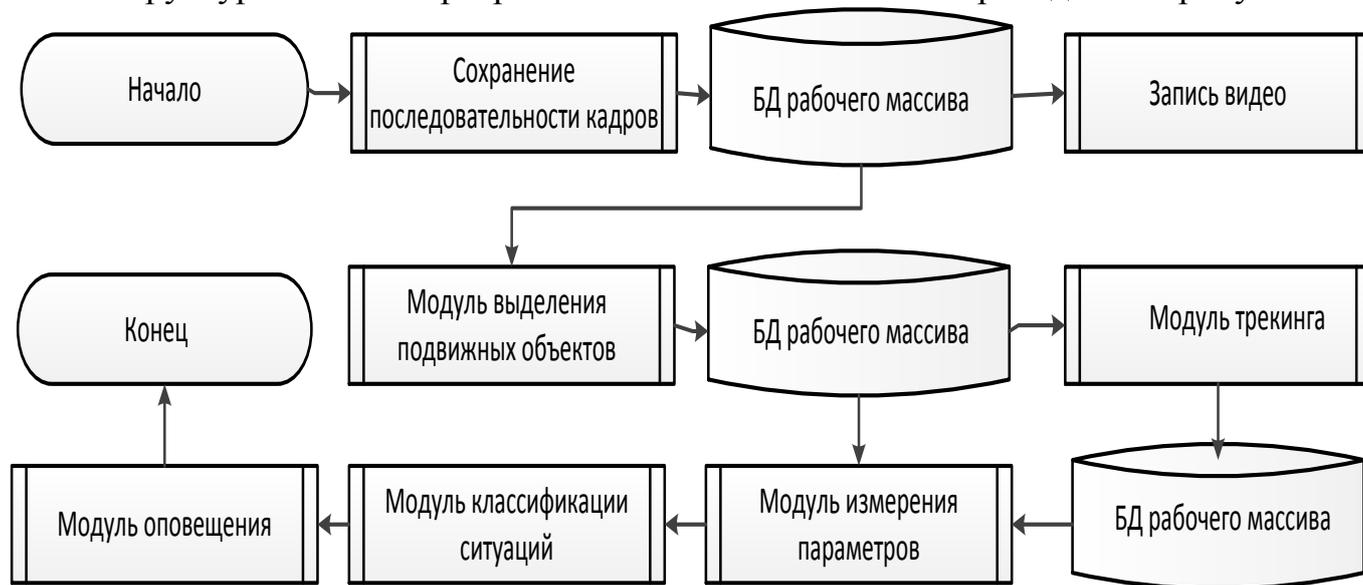


Рисунок 3. Программное обеспечение ИИС

Для экспериментов была выбрана задача оценивания ситуаций, возникающих при движении транспорта по территории промышленного предприятия, где интересующими объектами являются легковые автомобили, грузовые автомобили, автопогрузчики, мотороллеры, автокраны, грейдеры, бульдозеры, экскаваторы, а ситуации определяются их движением в контролируемой зоне. В качестве ситуаций выбраны следующие: 1) ситуация, в которой отсутствуют какие-либо аномалии; 2) превышение допустимой скорости; 3) стоянка транспортного средства в запрещенном месте; 4) пересечение «зебры», когда пешеход ступил или уже идет по переходу.

Произведено практическое исследование предложенных методов. По результатам исследования сделаны следующие выводы:

1. Работоспособность ИИС подтверждена обнаружением аномалий, возникших в результате смоделированных ситуаций.

2. Точность распознавания интересующих объектов предложенным методом составила 70% и была подтверждена тем обстоятельством, что все объекты (транспортные средства и пешеход) были распознаны точно.

3. Вероятность обнаружения и распознавания нештатных ситуаций в наблюдаемой зоне предложенными методами при помощи разработанной ИИС составила 0,98.

Итогом работы, описанной в четвертой главе, является разработанное программное обеспечение ИИС, обрабатывающее поток изображений, получаемый с видеокamеры в реальном времени и позволяющее обнаруживать аномальное поведение движущихся объектов в наблюдаемой зоне. Одним из достоинств предлагаемой ИИС является малая ресурсоемкость, полученная за счет использования математического аппарата нечетких множеств, применение которого не требует трудоемких вычислений. Это обеспечивает: 1) работу ИИС в реальном масштабе времени;

2) возможность реализовать программное обеспечение на микроконтроллерах, что существенно упростит их практическую реализацию; 3) существенное расширение списка аномалий, которые способна распознавать разработанная ИИС по сравнению с существующими аналогичными системами (табл.1).

Таблица 1. Сравнение с существующими системами анализа ситуаций и обнаружения аномалий

Системы	JenoptikTraffic RobotMulti radar SD580 / SR590.	Автодория	Разработанная ИИС
Наименование параметра			
Тип измерителя скорости	радар	Две территориально разнесённые камеры	Одна или несколько видеокамер
Погрешность измерения скорости,%	1	3	2
Вероятность обнаружения ситуации «проезд на красный свет», %	98	50	97
Вероятность обнаружения ситуации «движение по встречной полосе», %	99	90	97
Вероятность обнаружения ситуации «Выезд на выделенную полосу для движения общественного транспорта», %	99	50	97
Вероятность обнаружения ситуации «Парковка в неполюженном месте», %	98	10	97
Вероятность обнаружения ситуации «Обгон с выездом на встречную полосу», %	90	50	98
Вероятность обнаружения подрезаний ТС, %	50	50	97
Вероятность обнаружения нарушений правил проезда пешеходных переходов, %	50	50	97

Результаты работы, описанные в четвёртой главе, были использованы при выполнении НИР по грантам РФФИ: 14-07-00964_а Создание нового поколения методов, инструментальных средств и интеллектуальных информационных технологий для решения типовых задач распознавания образов и поиска зависимостей в разнородных и сложноорганизованных данных; 15-07-08967_а Метрические методы безпризнакового восстановления зависимостей по эмпирическим данным для интеллектуализации анализа массивов сигналов и символьных последовательностей разной длины. А также теоретические результаты работы внедрены в учебном процессе Тульского государственного университета при подготовке специалистов по специальности 10.05.03 «Информационная безопасность автоматизированных систем».

Заключение содержит основные результаты проделанной работы, а также основные выводы по результатам выполнения диссертационной работы.

В **приложении** приведены вспомогательные таблицы, графики и рисунки, а также сведения, необходимые для наглядного отображения результатов диссертации, включая акты внедрения результатов выполнения работы.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

1. Предложена методика выбора измерительного устройства и структуры информационно измерительной системы, позволяющая сформировать массив информации, обеспечивающий принятие решения о ситуации, возникающей в наблюдаемой зоне в текущий момент времени. Показано, что выбор параметров видеосистемы, в соответствии с предложенной методикой, позволяет получать оценки признаков ситуаций с требуемым быстродействием и достаточной для принятия решений достоверностью.

2. Предложен и исследован новый метод быстрого выделения и сопровождения интересующих объектов, поведение которых определяет ситуацию в наблюдаемой зоне, основанный на оценке сходства образов интересующих объектов на соседних кадрах видеопотока с учётом изменения размеров и формы образов интересующих объектов, при движении их вдоль наблюдаемой зоны.

3. Для компьютерной реализации предложенных методов был разработан на базе библиотек компьютерного зрения комплекс программ, созданный с применением современных сред разработки и языков программирования высокого уровня и позволяющий принимать решения о возникновении и классе нештатной ситуации, возникающей в наблюдаемой зоне, без участия оператора.

4. В результате исследования с помощью комплекса программ разработанных методов и алгоритмов и было установлено, что подход к решению задачи автоматического распознавания ситуаций, возникающих в наблюдаемой зоне, по результатам видеонаблюдения за поведением множества различных объектов, появляющихся случайным образом в наблюдаемой зоне, заключающегося в создании для каждого объекта модуля- агента с жизненным циклом, равным времени нахождения объекта в 104 104 наблюдаемой зоне, обеспечивает получение достоверной оценки текущей ситуации в реальном масштабе времени.

6. В результате тестирования ИИС, построенной на основе предложенных методов, было установлено способность разработанных методов и алгоритмов автоматически выявлять нештатные ситуации, характеризуемые поведением объектов, движущимися со скоростью до 120 км/час, с вероятностью не менее 0,92 при ограничении на вероятность ложной тревоги не более 0,05. Таким образом, решена научно-техническая задача автоматизации процесса распознавания нештатных ситуаций, связанных с движением различных объектов (транспортных средств, пешеходов), что позволяет снизить количество пропусков обнаружения факта возникновения нештатных ситуаций за счет снижения влияния «человеческого» фактора.

Основное содержание и результаты диссертационного исследования отражены в изданиях, включенных в перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий ВАК России:

1. **Абрамов Д.А. Метод идентификации аномалий / В.Л. Токарев, Д.А. Абрамов //Известия ТулГУ. Серия: Технические науки. Вып.12, часть 2. Тула: Изд-во ТулГУ, 2012. с. 219-225.**

2. **Абрамов Д.А. Построение системы видеоаналитики / В.Л. Токарев, Д.А. Абрамов //Известия ТулГУ. Серия: Технические науки. Вып.9, часть 1. Тула: Изд-во ТулГУ, 2013. с. 270-276.**

3. **Абрамов Д.А. Трекинг в задачах обеспечения безопасности / В.Л. Токарев, Д.А. Абрамов //Известия ТулГУ. Серия: Технические науки. Вып.9, часть 2. Тула: Изд-во ТулГУ, 2013. с. 215-223.**

4. Абрамов Д.А. Методы выделения нештатных ситуаций в информационно-измерительных системах видеонаблюдения/ В.Л. Токарев, Д.А. Абрамов //Известия ТулГУ. Серия: Технические науки. Вып.11, часть 1. Тула: Изд-во ТулГУ, 2015. с. 258-265.

5.Токарев В.Л. Система поддержки принятия решений задач ситуационной видеоналиктики/ В.Л. Токарев, Д.А. Абрамов //Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия «Естественные и технические науки». Вып.6. Москва: Изд-во Научные Технологии, 2016. с. 54-58.

В других изданиях:

6. Абрамов Д.А. Обнаружение аномалий в наблюдаемых изображениях / Абрамов Д.А., Токарев В.Л. //V магистерская научно-техническая конференция ТулГУ. Серия: Технические науки, часть 2. Тула: Изд-во ТулГУ, 2010. с. 69-70.

7. Абрамов Д.А. Методы классификации объектов в системах идентификации аномалий / Д.А. Абрамов, В.Л. Токарев //Актуальные проблемы информатизации в науке, образовании и экономике -2012. 5-я Всероссийская межвузовская научно-практическая конференция. - М.:МИЭТ, 2012. с. 86.

8. Абрамов Д.А. Обнаружение аномалий в наблюдаемых изображениях / Абрамов Д.А., Токарев В.Л. //VI магистерская научно-техническая конференция ТулГУ. Серия: Технические науки, часть 2. Тула: Изд-во ТулГУ, 2011. с. 69-70.

9. Абрамов Д.А. Метод выделения траекторий объектов в системах идентификации аномалий. / Д.А. Абрамов, В.Л. Токарев //XXXIX Гагаринские чтения. Научные труды Международной молодёжной научной конференции – М.: МАТИ, 2013. Т.4. с. 5-6.

10. Абрамов Д.А., Токарев В.Л. Применение видеонализа для повышения времени автономной работы смартфонов./ Абрамов Д.А., Токарев В.Л. //Системы управления электротехническими объектами Вып. 6. Сб. Научных трудов шестой Всероссийской научно-практической конференции.- Тула, изд-во ТулГУ, 2012. с. 250-251.

11. Абрамов Д.А. Метод выделения аномалий в поведении объектов в информационно измерительных системах выделения аномалий на основе анализа непрерывного потока изображений. / Д.А. Абрамов, В.Л. Токарев //XL Гагаринские чтения. Научные труды Международной молодёжной научной конференции – М.: МАТИ, 2014. Т.4. с. 5-6.

12. Абрамов Д.А. Информационно-измерительная система для оценивания появлений нештатных ситуаций. / В.Л. Токарев, Д.А. Абрамов // Тезисы проведения Четвёртой Международной научно-практической конференции «Информационные технологии и компьютерная инженерия» - Винница: ВНТУ, 2014 с.21-14.

13. Абрамов Д.А. Метод автоматического выявления нештатных ситуаций по результатам видеонаблюдений. / Д.А. Абрамов // Математические методы в технике и технологиях – ММТТ - 27:сб. трудов XXVII Междунар. науч. конф.: в 12 т. Т.4 . Секции 10,11/ под общ. ред. А.А. Большакова.–Тамбов : Тамбовск. гос. техн. ун-т, 2014. с.118-120.

14. Абрамов Д.А. Методика подбора измерительной подсистемы для информационно-измерительной системы контроля нештатных ситуаций. / Д.А. Абрамов, В.Л. Токарев // Международная конференция «Информационные подходы и современная наука» – Киев : Центр научных публикаций, 30.04.2015. с.22-25.

15. Абрамов Д.А. Метод классификации нештатных ситуаций в поведении объектов в информационно-измерительной системе классификации ситуаций в наблюдаемой зоне. / Д.А. Абрамов, В.Л. Токарев //XLII Международная молодёжная конференция «Гагаринские чтения». Сборник тезисов и докладов, том 1 – М.: Московский авиационный университет (национальный исследовательский университет), 2016 - с.521-522.