

СИСТЕМА ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ЗАДАЧ СИТУАЦИОННОЙ ВИДЕОАНАЛИТИКИ

Токарев Вячеслав Леонидович

*Д.т.н., профессор,
ТулГУ, Россия, Тула*

Абрамов Дмитрий Александрович

*Аспирант,
ТулГУ, Россия, Тула*

SYSTEM OF DECISION SUPPORT OF TASKS OF SITUATIONAL VIDEO ANALYTICS

*V. Tokarev
A. Abramov*

Annotation

This articles about is approaches to creation of video analytics information-measuring systems and presented own method of creation of system of automatic identification of emergency situations, on the basis of an assessment of a vector of the measured parameters by means of fuzzy models. The main stages of processing of video sequence by means of the offered method are presented. In this articles presented moving object detection methods. The method of representation of life cycle of mobile object consisting of consecutive transition of object from the phase "emergence" in the phase "maintenance" with the subsequent exit of object from an observed zone – the phase "disappearance" is offered.

The method of obtaining parameters of a situation consisting in consecutive allocation from a set of mobile objects, a set of the interesting objects, identification of the interesting objects, definition of a trajectory of the received objects and determination of parameters on trajectories of their movement is offered. The method of the interesting objects detection based on use of a vector of signs which components possess low computing complexity is presented. The method of creation of the vector of signs used for identification of the interesting objects is offered.

The method of allocation and classification of the emergency situations based on use of fuzzy logic and creation of the indistinct models constructed for an assessment of the measured parameters characterizing a situation is offered. It is presented a vector of the parameters used for an assessment of situations, and classification a component of a vector of parameters on scales of measurements is also given.

The method of construction and updating, the used models is offered. Criteria for evaluation of accuracy, classification of the found emergency situation are offered. The method of a defuzzification of decisions on type supernumerary the situations received as a result of work of the offered models is offered. Methods of classification of an emergency situation as services which can be used for elimination of this situation are offered.

Presented advantages of use of the offered approach to creation of information and measuring system of classification of a situation in an observed zone are presented and results of experiments are given.

Keywords: video analytics, anomaly detection, information-measuring systems, emergency situation detection, fuzzy models, decision theory.

Аннотация

В статье представлены основные подходы к построению информационно-измерительных систем видеоаналитики и предложен собственный метод построения системы автоматического выявления нестандартных ситуаций, на основе оценки вектора измеряемых параметров при помощи нечётких моделей. Представлены основные этапы обработки видеопоследовательности при помощи предложенного метода. Представлены методы выделения подвижных объектов. Предложен метод представления жизненного цикла подвижного объекта состоящий из последовательного перехода объекта из фазы "появления" в фазу "сопровождение" с последующим выходом объекта из наблюдаемой зоны – фаза "исчезновение".

Предложен метод получения параметров ситуации, заключающийся в последовательном выделении из множества подвижных объектов, множества интересующих объектов, идентификации интересующих объектов, определении траектории полученных объектов и определении параметров по траекториям их движения. Представлен метод идентификации интересующих объектов, основанный на использовании вектора признаков, компоненты которого обладают низкой вычислительной сложностью. Предложен метод построения вектора признаков, используемого для идентификации интересующих объектов.

Предложен метод выделения и классификации нестандартных ситуаций, основанных на использовании нечёткой логики и построении нечётких моделей, построенных для оценки измеренных параметров, характеризующих ситуацию. Представлен вектора параметров, используемых для оценки ситуаций, а так же приведена классификация компонент вектора параметров по шкалам измерений.

Предложен метод построения и актуализации, используемых моделей. Предложены критерии оценки точности, классификации обнаруженной нестандартной ситуации. Предложен метод дефаззификации решений о типе нестандартной ситуаций, полученных в результате работы предложенных моделей. Предложены методы классификации нестандартной ситуации по типу служб, которые могут быть использованы для ликвидации данной ситуации.

Представлены достоинства использования предложенного подхода к построению информационно-измерительной системы классификации ситуации в наблюдаемой зоне и приведены результаты экспериментов.

Ключевые слова:

Видеоаналитика, обнаружение нестандартных ситуаций, информационно-измерительные системы, классификация нестандартных ситуаций, нечёткие модели, теория принятия решений.

Ситуационная видеоаналитика (situation video analytics) обычно применяется для распознавания тревожных ситуаций, связанных с поведением людей, с движением транспортных средств, с возникновением пожара и т.п.

Различают следующие способы настройки видеоаналитики для автоматического распознавания тревожных ситуаций:

1. на основе правил (rule-based video analytics), в котором пользователь заранее определяет правила, определяющих тревожные события. Например, пользователь может задать запретную зону, где не разрешено находиться людям или запретную зону для парковки автомобилей. Система Kipod [1] является примером реализации этого способа;

2. на основе статистического обучения (statistical learning video analytics), в котором система накапливает статистические данные о поведении объектов и формирует сигнал тревоги в случае нестандартного поведения. Комплекс CasRetail [2] и видеосервер CasNVR [3] являются примером реализации этого способа.

В статье предлагается третий способ, заключающийся в использовании нечетких моделей для поддержки решения задач ситуационной видеоаналитики.

Общую задачу ситуационной видеоаналитики можно сформулировать следующим образом.

С помощью подсистемы видеонаблюдения формируется последовательность кадров

$$\Omega_k = \{\omega_i, i = k, k-1, k-2, \dots, k-p\}$$

(временной срез видеопотока, в котором p – длина последовательности, достаточная, для оценки признаков ситуации $\{x(k)\}_j$, составляющих сигнатуру* $X_j(k)$ с изображениями контролируемой зоны, которая поступает на вход подсистемы видеоаналитики (ПВА).

* Совокупность характерных признаков ситуаций, используемых для их классификации.

Первой задачей ПВА является быстрое обнаружение в последовательности Ω_k подвижных объектов $g_k \in G_k$, находящихся в момент времени k в наблюдаемой зоне:

$$\Pi_1(\omega_k) : \omega_k \rightarrow g_k \in G_k$$

Второй задачей ПВА является распознавание во множестве G_k подмножества интересующих объектов

$$H_k = \{h_i, i = 1, 2, \dots, n\} \subseteq A_k$$

мощности n

$$\Pi_2(G_k) : G_k \rightarrow H_k \subseteq G_k$$

При этом

$$H_k \subseteq H,$$

где H – заданное множество типов интересующих объектов.

Третьей задачей ПВА является идентификация интересующих объектов, то есть назначение каждому $b_j \in B_k$ идентификатора, например, индекса j .

$$\Pi_3(H_k) : H_k \rightarrow h_{j,k} \in H_k$$

Это наиболее сложный компонент систем видеоаналитики*, поэтому для обеспечения распознавания ситуаций в автоматическом режиме, требуется выбрать такой метод идентификации, которой обладал бы минимальной временной сложностью.

* Современные системы позволяют идентифицировать людей по биометрическим признакам лица или транспортные средства – по номерным знакам.

Четвертой задачей ПВА является слежение за интересующими объектами, которое позволяет получить частную траекторию движения объекта как в поле зрения одной камеры, так и обобщенную траекторию по данным сразу нескольких камер*:

$$\Pi_4(\omega_k, h_{i,k}) : \omega_k, h_{i,k} \rightarrow t(h_{i,k}), i = 1, \dots, m_k$$

* Такое слежение (tracking) необходимо, чтобы проанализировать поведение объекта по его траектории, например, определить движение с повышенной скоростью.

Пятой задачей ПВА является определение сигнатуры $X_j(k)$ (характерные признаки ситуаций):

$$\Pi_5(T_k) : T_k \rightarrow X_j(k)$$

и оценка ситуации $\sigma_j(k) \in \Sigma$ по сигнатуре $X_j(k)$:

$$\Pi_6(X_j(k)) : X_j(k) \rightarrow \sigma_j(k) \in \Sigma$$

причем множество Σ задано априори.

Основным критерием качества получаемой оценки является достоверность, которую можно выразить как минимум ошибки классификации ситуаций

$$q(X_j(k)) = \rho(\hat{\sigma}(k), \sigma_j(k)) \rightarrow \min_{\forall \sigma_j(k) \in \Sigma} \quad (1)$$

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

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

Первая задача решается в режиме инициализации СПР межкадровой обработкой, в которой формируется начальная модель фона наблюдаемой сцены

$$B_0 = \bigcap_{j=1}^n I_j \quad (2)$$

где I_j – j -е множество пикселей изображения наблюдаемой сцены, n – размер окна фильтрации изображений.

Затем 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 данных системы поддержки решения (СПР).

В рабочем режиме для каждого интересующего объекта $h_i(S_i, p_i) \in H_k$ различаются три фазы: 1) появление (рождение) объекта в наблюдаемой зоне; 2) сопровождение объекта; 3) исчезновение (уход) объекта.

В фазе "появление" матрица фона периодически обновляется

$$B_k = B_{k-1} \cap F \left(\bigcap_{j=k}^{k-n} I_j \right) \quad (3)$$

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

Множество G_k подвижных объектов определяется вычитанием фона B_k .

$$G_k = \bar{I}_k \setminus B_k, \text{ где } \bar{I}_k \text{ – отфильтрованный образ наблюдаемой сцены.}$$

где \bar{I}_k – отфильтрованный образ наблюдаемой сцены.

Множество H_k интересующих объектов (решение второй задачи) выделяется из множества G_k следующим способом.

В каждой полученной матрице Ω_k методом сегментации выделяются объекты $\omega_i(S_i) \in G_k$, основной характеристикой которых является относительная площадь, которую занимает объект $\omega_i(S_i)$ на наблюдаемой сцене Ω_k . В базе правил СПР хранятся шаблоны

$$\bar{\omega}_i(\bar{s}_i) \in \Omega'$$

и правила выделения интересующих объектов:

$$\begin{aligned} |s_i \nabla \bar{s}_i| \leq \delta \rightarrow \omega(s_i) = h_i \in H_k, \\ \omega_i(s_i) \in \Omega_k, \bar{\omega}_i(\bar{s}_i) \in \Omega' \end{aligned} \quad (4)$$

где знак ∇ означает симметрическую разность двух множеств пикселей, одно S_i – сегментированная область изображения, второе

\bar{S}_i – область шаблона

$$\bar{\omega}_i(\bar{s}_i) \in \Omega'$$

Третью задачу, эффективность решения которой напрямую зависит от временной сложности используемого алгоритма, предлагается решить следующим образом.

При наличии в матрице H_k нескольких образов $h_i(S_i)$ интересующих объектов, принадлежащих одному классу, т.е. которым соответствует один и тот же шаблон

$$\bar{\omega}_i(\bar{s}_i) \in \Omega'$$

выполняется идентификация таких образов, 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: p_1 – форма сегментированных областей, p_2 – цвет, p_3 – яркость, p_4 – направление движения и др.

После нахождения параметра различия

$$p_i \mid \pi(p_i, p_j) > \varepsilon,$$

сравнение прекращается и каждому образу присваивается свой идентификатор $h_i(S_i, p_i)$:

$$\begin{aligned} \Pi_3(H_k) : (h_i(s_i), h_j(s_j) \mid s_i \cong s_j) \xrightarrow{\Pi(p_i \neq p_j \in P)} \\ \rightarrow h_i(s_i, p_i), h_j(s_i, p_j) \in H_k \end{aligned} \quad (5)$$

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

$$h_i(s_i), h_j(s_j) \mid s_i \cong s_j,$$

этот этап опускается. Оба правила (3) и (4) выполняются до тех пор, пока в множестве Ω_k не обнаружится ни одного нового объекта.

Для решения в фазе "сопровождение" четвертой задачи предлагается следующий алгоритм.

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

$$\rho((s_i, p_i)_k, (s_i, p_i)_{k+1}) :$$

$$c(h_i(s_i, p_i)_{k+1}) = \arg \min_{h_i(s_i, p_i)_{k+1} \in H_{k+1}} \rho((s_i, p_i)_k, (s_i, p_i)_{k+1}) \quad (6)$$

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

$$(\bar{s}_i)_{k+1} \text{ шаблона.}$$

3. Центр $c(h_i(s_i, p_i)_{k+1})$ 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.

Для решения пятой задачи вычисляется сигнатура. Например, в задачах, в которых контролируемой зоной является автодорога, признаками ситуаций могут быть: x_1 – расстояние между объектами; x_2 – кратковременное ускорение транспортного средства; x_3 – составляющая скорости движения транспортного средства в поперечном основному движению направлении; x_4 – скорость движения транспортного средства, значения логических переменны (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 неположенном 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, удовлетворяющее требованию

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

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

$$\dot{c}(h_i(s_i, p_i)_{k+1})$$

В фазе "исчезновение" (уход объекта из наблюдаемой зоны), которая наступает с момента, когда в ходе выполнения трекинга, параметр $(S_i)_{k+1}$ образа, попавшего в по-

граничную область, уменьшается до заданного предела $h(S_i)$, удаляется идентификатор и параметры образа $\sigma(S_i, p_i)$ из множества Hk .

Учитывая, что из-за разнотипности признаков

$$\{x_j, j = 1, 2, \dots\}$$

и различных погрешностей их измерения, они представлены нечеткими множествами, классификатор нештатных ситуаций построен в виде нечеткой модели

$$X_j(k) \rightarrow \sigma_j(k) :$$

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

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 (лингвистических переменных).

Каждая q -я нечеткая импликация представляет собой нечеткую модель нештатной ситуации, где операция

$$\bigcap_{i=1}^m \mu_{A_{ij}}(x_i(k))$$

реализуется операцией

$$\min_{i,j} \{ \mu_{A_{ij}}(x_i(k)), i = 1, \dots, m \} = \lambda_q,$$

а операция

$$\bigcup_{q=1}^h \lambda_q$$

реализуется операцией

$$\max_q \{ \lambda_q, q = 1, \dots, h \} = \pi(a_q)$$

Дефаззификация получаемого нечеткого вывода выполняется следующим образом. В шкале $[0, 1]$ значений функции принадлежности

$$\mu_{\sigma(k)}(X_i)$$

определяется уровень неопределенности $\lambda(\nabla x)$, исходя из суммарной погрешности ∇x измерения значений $x(k)$. Максимальные значения

$$\mu_{\sigma(k)}(X_i)$$

указывают на активацию тех признаков $x_i(k)$, для которых они получены. Полученный набор $\{x_i(k)\}$ указывает на наличие соответствующей аномалии α_j с уверенностью π .

Основное требование, которой должна удовлетворять нечеткая модель

$$X_j(k) \rightarrow \sigma_j(k),$$

как и любая модель, это требование адекватности.

Предложен метод построения и актуализации таких моделей, который заключается в следующем.

1. Получение границ интервалов значений каждого из параметров $x(k)$, 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.

Построение классификатора ситуаций, основанного на предложенном методе, включает следующие шаги.

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. Строится нечеткая модель (8), например, по алгоритмам, предложенным в [5].

4. Определить вид и форму сообщений о наступлении распознанной нештатной ситуации в соответствующую службу.

Построенная таким образом система поддержки принятия решений задач ситуационной видеоаналитики отличается от известных следующими особенностями:

1. способна выполнять распознавание в автоматическом режиме нештатных ситуаций широкого состава,

2. способна выдавать сообщения о наступлении конкретной нештатной ситуации в реальном времени,

3. легко настраивается на наблюдение конкретной зоны и на конкретные нештатные ситуации.

Экспериментальные исследования одной из таких систем показали, что достоверность распознавания ситуаций, складывающихся на автодороге, составляет не меньше 95%.

ЛИТЕРАТУРА

1. www.synesis.ru/products/sistema-intellektualnogo-videonablyudeniya-kipod – Электронный ресурс.
2. www.casretail.ru – Электронный ресурс.
3. www.casnvr.ru – Электронный ресурс
4. 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.
5. Токарев В.Л. Компьютерная поддержка принятия решений / В.Л. Токарев – Москва, Изд-во СГУ, 2007 – 162 с.

© В.Л. Токарев, Д.А. Абрамов, (tokarev22@yandex.ru), Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»,

