

МУЛЬТИСЕНСОРНЫЕ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА ТЕРРИТОРИЙ ОГРАНИЧЕННОГО ДОСТУПА: ВОЗМОЖНОСТИ ВИДЕОАНАЛИТИЧЕСКОГО КАНАЛА ОБНАРУЖЕНИЯ ВТОРЖЕНИЙ

Б.Н. Епифанцев¹, А.А. Пятков², С.А. Копейкин¹

¹Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Сибирская государственная автомобильно-дорожная академия (СибАДИ)» (ФГБОУ ВПО «СибАДИ»), Омск, Россия,

²ООО «МАГМА-КОМПЬЮТЕР», Омск, Россия

Аннотация

На основании анализа опубликованных работ по обеспечению безопасности критически важных объектов от террористических угроз сделан вывод о необходимости дополнить предложенные в литературе мультисенсорные комплексы видеоаналитической системой для повышения надёжности обнаружения несанкционированных вторжений на территории ограниченного доступа и распознавания намерений вторгшихся лиц. Предложен алгоритм для решения первой части задачи, основанный на реализации принципа накопления. Частично затронут вопрос о распознавании намерений вторгшегося субъекта. Приведены оценки вероятностей 1-го и 2-го рода, обеспечиваемые предложенным алгоритмом обнаружения вторжений.

Ключевые слова: обнаружение вторжений, территория ограниченного доступа, видеоаналитическая система, принцип накопления, показатели обнаружения.

Цитирование: Епифанцев, Б.Н. Мультисенсорные системы мониторинга территорий ограниченного доступа: возможности видеоаналитического канала обнаружения вторжений / Б.Н. Епифанцев, А.А. Пятков, С.А. Копейкин // Компьютерная оптика. – 2016. – Т. 40, №1. – С. 121-129. – DOI: 10.18287/2412-6179-2016-40-1-121-129.

Введение

В области обеспечения безопасности критически важных объектов от террористических угроз существует потребность в улучшении показателей применяемых для этих целей систем [1]. По имеющимся прогнозам следует ожидать усиление интенсивности противоправных действий в техносфере в ближайшей перспективе [2].

На сегодняшний день эффективной мерой противодействия несанкционированному доступу к охраняемым объектам считается круглосуточная вооружённая охрана специально созданными подразделениями служб безопасности [3]. Наблюдается интенсивная научная проработка направлений по модернизации инженерно-технических средств предотвращения несанкционированного проникновения лиц к защищённым объектам. За прошедшие 4 года в базе данных Web of Science зарегистрировано 80 публикаций, посвящённых этому вопросу, в Scopus – 55, в РИНЦ – 66. Патентными ведомствами Европы, США, России выдано соответственно 40, 13, 22 охранных документа, нацеленных на обеспечение безопасности таких объектов. Сформировалась точка зрения, что успех в решении обозначенной проблемы будет достигнут при переходе на мультисенсорные системы [4], так как в каждом из предложенных подходов существуют принципиальные ограничения по достижению приемлемой надёжности обнаружения интересующей категории лиц и распознавания намерений вторгшегося субъекта – необходимые условия для обеспечения безопасности критически важных объектов [5]. Отмеченные особенности задачи инициировали исследования по включению в состав мультисенсорных комплексов видеоаналитических систем [6].

Видеоаналитикой называют технологию компьютерного анализа видеоданных с целью принятия ре-

шений о состоянии объекта наблюдения без участия оператора. Её развитие стимулируется результатами неэффективной работы человека в режиме непрерывного дешифрирования динамических изображений с целью обнаружения на них интересующих (как правило, незначительных) изменений [7, 8, 9]. В эксперименте после 12 минут работы по поиску локальных объектов на фоне помех оператор пропустил 45 % из числа предъявленных [10].

Другая проблема данного направления обеспечения безопасности объектов обусловлена необходимостью использования большого числа видеокамер. При декларируемой дальности действия камер в 10–50 м [11] обеспечить мониторинг протяжённых объектов с привлечением в качестве решающего звена человека проблематично. При увеличении дальности существенно возрастают требования к параметрам сенсорного преобразователя [12].

В опубликованных работах по замене человека автоматом для обнаружения движущегося в контролируемой зоне нарушителя использовались «разностные» алгоритмы, реализующие операцию вида

$$I_D(i, B) = I_i - I_B,$$

где I_i – новый i -й кадр видеопоследовательности, I_B – изображение фона (может использоваться как предыдущий кадр I_{i-1} , так и принятая модель фона). В ряде работ модель фона представлена суммой нескольких случайных полей с нормальными распределениями.

Несколько иная модификация алгоритма основана на анализе областей значительного изменения яркости, выделяемых по следующему правилу [13]

$$I_D(x, y) = \begin{cases} 0, & \text{если } I_i(x, y) - I_{i-1}(x, y) < \alpha; \\ I_i(x, y), & \text{если } I_i(x, y) - I_{i-1}(x, y) \geq \alpha, \end{cases}$$

где $I_i(x, y)$ – значение яркости пикселя с координатами (x, y) в i -м кадре видеопоследовательности, α – уровень принятия решений о принадлежности пикселя к отображающим движение. Можно указать также на статистический подход, определяющий принадлежность пикселя нового кадра выбранной модели фона [14].

Перечисленные подходы объединяет идея: движению субъекта сопутствует локальное изменение интенсивности наблюдаемого изображения.

О достигнутом уровне надёжности обнаружения субъектов с использованием «разностных» алгоритмов можно судить по результатам тестирования на наборе тестовых данных CabTech Pedestrian Dataset: одно ложное обнаружение в кадре при вероятности пропуска цели 0,15 на расстоянии до 20 м (размер нарушителя – 80–160 пикселей) [15]. На расстоянии 60 м (размер нарушителя – 30–80 пикселей) при том же уровне ложных тревог вероятность пропуска цели составила 0,66 [16].

В 2011 году (27–28 июля) в Лондоне прошла конференция, посвящённая VCA (Video Content Analysis) системам «VCA Conference: Europe 2011». На секции № 2 рассматривались вопросы по обнаружению пересечения периметра зоны охраны. Сделан вывод, что самым негативным аспектом VCA систем является неприемлемо высокий уровень ложных тревог. Так, компания Bosch Security Systems стала позиционировать свои видеоаналитические продукты как средства поддержки оператора [17]. Аналогичной точки зрения придерживаются и потребители продуктов видеоаналитики [18].

С учётом приведённых сведений вырисовываются первоочередные задачи по усовершенствованию видеоаналитических систем: увеличение протяжённости контролируемой зоны при снижении вероятностей ошибок 1-го и 2-го рода.

Возможность решения такой задачи рассмотрена ниже.

1. Алгоритм повышения отношения сигнал/шум в видеоаналитических системах обнаружения вторжений в охраняемые зоны

Нарушитель в случае использования только разницы двух изображений на значительном расстоянии слабо различим на фоне шумов, вызванных природными фонами и осадками.

Можно показать, что значение яркости любого отдельного пикселя с координатами x и y $I_{x,y}(t)$ видеопоследовательности является случайным процессом от времени t . Следовательно, и разница $I_D(t, t_i)$ будет являться случайным процессом, поэтому в результате сложения случайных величин с одинаковым распределением величина I_D будет сходиться для каждого пикселя к математическому ожиданию интенсивности природных шумов при неограниченном увеличении числа используемых кадров N :

$$I'_{D,x,y}(t) = \frac{\sum_{i=1}^N I_D(t, t_i)}{N}. \quad (1)$$

При появлении в видеопоследовательности нарушителя в каждом разностном изображении $I_D(t, t_i)$ появляется участок, для которого интенсивность изменения фона равна нулю в случае динамического фона и просто меньше интенсивности окружающего шума в случае осадков и перекрытия.

Накопление достаточного количества кадров позволяет повысить отношение сигнал/шум изображения. Формально правило принятия решения о принадлежности пикселя фону или переднему плану описывается следующим выражением:

$$I_T = \begin{cases} 0, & \text{если } I'_D < \alpha, \\ 1, & \text{если } I'_D \geq \alpha, \end{cases} \quad (2)$$

где α – адаптивный уровень принятия решения об обнаружении движения на основе текущей интенсивности природных шумов.

На рис. 1 показан пример применения формулы (1) для повышения отношения сигнал/шум при выделении слабоконтрастного нарушителя на фоне шумов.

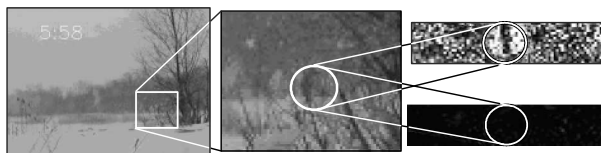


Рис. 1. Пример повышения отношения сигнал/шум при выделении нарушителя в условиях сильного снега: слева – исходное изображение; по центру – увеличенный участок с нарушителем; справа – вычитание с накоплением и простое вычитание фона

После получения бинарного изображения накопленных разностей I_T (2) последовательно применяется серия морфологических операций:

1) закрытие квадратом со стороной, равной одной трети высоты человека (для удаления из изображения шумов малого размера);

2) открытие горизонтальным и вертикальным прямоугольниками длины, равной половине высоты человека (для создания единой области нарушителя);

3) закрытие квадратом со стороной, равной половине высоты человека (для уменьшения полученных областей до изначальных размеров нарушителя).

Найденные сегменты, соответствующие по размеру человеку, выделяются описывающим прямоугольником. Центр прямоугольника считается центром обнаруженного нарушителя, как показано на рис. 2.

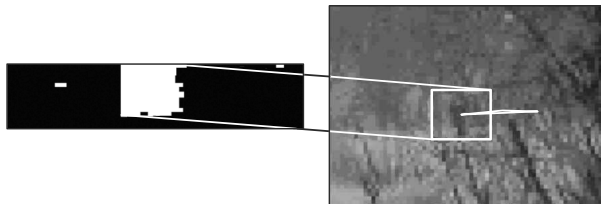


Рис. 2. Выделение нарушителя на основе сегментированного изображения накопленной разности и отслеживание траектории движения центра нарушителя

Каждая выделенная прямоугольная область R описывается четырьмя параметрами $R(h_R, w_R, x_R, y_R)$: вы-

сота h_R , ширина w_R и координаты центра x_R, y_R области в пространстве экрана.

Множество выделенных прямоугольных областей i -го кадра R_i является множеством кандидатов в нарушители. Окончательное решение о появлении нарушителя определяется при сравнении множества R_i со множествами кандидатов предыдущих кадров путём сопоставления размеров и координат кандидатов:

$$R'_i = \left\{ \begin{array}{l} R(h_R, w_R, x_R, y_R) \in R_i, \\ \exists Q(h_Q, w_Q, x_Q, y_Q) \in R_{i-1} : \\ |h_R - h_Q| < h_R / 2, |w_R - w_Q| < w_R / 2, \\ |x_R - x_Q| < v_{\max}, |y_R - y_Q| < v_{\max} \end{array} \right\}, \quad (3)$$

где v_{\max} – максимально возможная скорость перемещения человека.

То есть выделенная прямоугольная область R будет признана нарушителем, только если в предыдущих кадрах были выделены области сопоставимых размеров в том же самом или близком месте. Это позволяет повысить надёжность детектирования за счёт включения информации о непрерывности движения крупных объектов.

Выражение (3) обеспечивает привязку выделенных нарушителей из нового кадра к нарушителям из предыдущего, таким образом осуществляя отслеживание траектории движения субъекта.

Алгоритм обработки каждого нового кадра видеопотока выглядит следующим образом:

- 1) вычисление I_D по формуле (1);
- 2) вычисление I_T по формуле (2);
- 3) сегментация I_T с использованием морфологических операций закрытия и открытия;
- 4) фильтрация по форме и размеру;
- 5) учёт обнаружений в предыдущих кадрах по формуле (3).

В результате работы алгоритма в каждом кадре выделяется следующая информация:

- координаты центров обнаруженных объектов в кадре;
- число обнаруженных объектов (элементов множества R'_i).

Недостатком данного подхода является необходимость накапливать до двух сотен кадров на расстояниях больше 100 м в случае значительных природных шумов. Для того чтобы решить эту проблему, было решено учесть особенности перспективного преобразования видеодетектора: изображение разбивается на области различной удалённости от камеры и накопление для этих областей производится независимо.

2. Алгоритм расчёта перспективной проекции видеокamеры для определения расстояния до объекта

Наиболее удалённые области, как видно из рис. 3, по линейным размерам достаточно малы, и учёт этого факта позволит повысить производительность в несколько раз. Также обнаруженные объекты в ближней

области можно использовать в качестве маски при анализе дальних областей. Высота областей выбирается таким образом, чтобы она незначительно превышала высоту нарушителя.

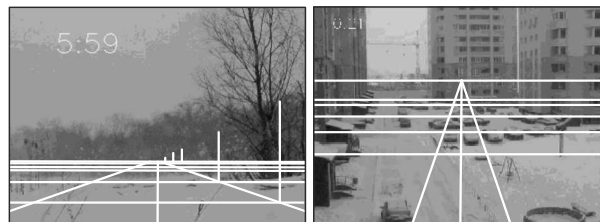


Рис. 3. Примеры расчёта перспективной проекции видеокamеры. Высота вертикальных линий равна 2 м на соответствующих расстояниях

Для определения расстояния до объекта необходимо знать параметры видеодетектора: фокусное расстояние F , высоту установки над уровнем земли H , угол наклона α , а также линейные размеры матрицы камеры w_m и h_m .

Перспективное преобразование координат точек трёхмерного пространства $W(x, y, z)$ в пространство экрана $W'(x, y, 0)$ задаётся следующим преобразованием:

$$W' = W \cdot T \cdot R_x(\alpha) \cdot P \cdot V = \quad (4)$$

$$= (x, y, z) \cdot T \cdot R_x(\alpha) \cdot P \cdot V,$$

где T – матрица переноса;

R_x – матрица вращения вокруг оси X на α градусов;

P – матрица перспективного преобразования;

V – матрица преобразования в пространство координат экрана.

После подстановки соответствующих выражений для матриц T, R_x, P и V в (4) получим

$$W' = (x, y, z, 1) \cdot \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & H & 0 & 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \alpha & \sin \alpha & 0 \\ 0 & -\sin \alpha & \cos \alpha & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \times \\ \times \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1/F \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} S_w / w_m & 0 & 0 & 0 \\ 0 & S_H / h_m & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ S_w / 2 & S_H / 2 & 0 & 1 \end{pmatrix},$$

где S_w, S_H – разрешение экрана, на котором будет отображаться сетка перспективной проекции.

Данная модель предполагает, что земля является плоскостью без наклона, хотя при необходимости её можно усложнить, введя в уравнение углы наклона плоскости земли.

Из преобразования (4) можно получить обратное преобразование для определения расстояния z до выделенного объекта (и для определения того, соответствуют ли объект размерам человека) по координате y' изображения на экране:

$$z = \frac{(2y' / S_H - 1)(-H \sin \alpha + F) - 2HF \cos \alpha / h}{-2F \sin \alpha / h + \cos \alpha (2y' / S_H - 1)}. \quad (5)$$

Координата x выделенного объекта может быть получена по формуле

$$x = \frac{w(2x' / S_w - 1)(-z \cos \alpha - H \sin \alpha + F)}{2F}. \quad (6)$$

То есть обнаружив некоторый объект высоты h' с нижней гранью в координате y' , можно определить истинную высоту объекта в метрах и проверить, попадает ли она в выбранный интервал значений роста нарушителя.

3. Алгоритм определения вида совершаемых человеком работ

Существуют различные подходы по определению вида совершаемых человеком действий по видеоизображениям.

В работе [19] предлагается использование гистограмм локального движения в различных секторах прямоугольной области, соответствующей выделенному человеку. Однако вычислительная сложность подобных подходов слишком высока для использования в системах реального времени.

Хорошие результаты были получены на основе реализации биологических подходов к анализу типа движения [20]. Классификация осуществляется путём исследования контрастов интенсивности движения в центральных и периферических частях тела человека.

Существует подход по классификации движений на основе распознавания движущихся трёхмерных образов, составляемых из силуэтов людей [21].

Недостатками данных подходов являются их высокие требования к минимальному размеру человека и требование в предварительном обучении, что в реальных условиях систем видеонаблюдения с неопределённым взаимным расположением нарушителей и видеодетектора сложно реализуемо.

В работе [22] предложен признак для выявления аномальной активности людей, описывающий степень отличия вектора скорости человека от ожидаемого вектора скорости потока пешеходов. Недостатком данного подхода являются высокие ограничения к направлению движения.

Учитывая тот факт, что обнаружение нарушителей может происходить на значительном удалении от камеры в сложных погодных условиях, выделение подобных признаков активности не представляется возможным. Если допустить, что система видеонаблюдения используется для контроля периметра в малолюдной местности (например, трасса пролегания трубопровода, железная дорога), то задача определения вида выполняемых работ сводится к задаче выявления поведения не характерного для случайного прохожего, пересекающего охраняемую территорию.

Признаком такого поведения может являться, например, случай проникновения субъекта на охраняемую территорию. Другой возможный случай – значительное отклонение субъекта от маршрута при прохождении охраняемой территории. Определение подобных типов активности возможно на основе ана-

лиза экранных координат субъекта и реальных, вычисляемых по выражениям (5), (6).

Пусть бинарная величина A принимает значение 1 в случае, если деятельность является подозрительной, и значение 0 – в противном случае. Тогда первый случай проникновения на охраняемую территорию можно описать следующим правилом:

$$A = \begin{cases} 1, (x, z) \in P = \cup P_i, \\ 0, (x, z) \notin P = \cup P_i, \end{cases} \quad (7)$$

где P_i – некоторый многоугольник, заранее задаваемый множеством координат его вершин, заключающий в себе i -ю охраняемую область, проникновение на которую является запрещённым; (x, z) – координаты субъекта, подозрительность активности которого необходимо определить; x – проекция на горизонтальную ось расстояния от субъекта до оптической оси камеры; z – расстояние от субъекта до камеры.

Второй случай – задержка субъекта вблизи охраняемого объекта с целью его обследования или проведения некоторых подготовительных работ – можно выявить путём анализа вектора скорости субъекта:

$$v(t) = v(x_i - x_{i-1}, z_i - z_{i-1}) / \Delta t, \quad (8)$$

где x_i, z_i – реальные координаты субъекта в i -м кадре; Δt – время с момента поступления предыдущего кадра.

Тогда правило тревоги для этого случая можно описать как

$$A = \begin{cases} 1, \sum |v(t) - v(t-1)| > v_{\max} \text{ или } \bar{v}_{t_0} < v_{\min}, \\ 0, \text{ иначе,} \end{cases} \quad (9)$$

где v_{\max} – максимально допустимое накопленное изменение скорости; \bar{V} – среднее значение скорости за t_0 кадров; v_{\min} – минимально допустимая средняя скорость.

В такой форме учитываются все виды движения, характерные для обследования объекта и проведения подготовительных работ: длительное блуждание в окрестности охраняемой территории, отклоняемое от обхода препятствия с ограниченным отклонением, и слишком медленное линейное движение или остановка с целью внимательного изучения и проведения работ. В то же время такие виды деятельности, как бег и просто прохождение с нормальной скоростью без сильных отклонений от выбранного направления признаками тревоги являться не будут, т.к. накопленное изменение вектора скорости будет незначительным.

Алгоритм определения запрещённых видов деятельности принимает вид:

- 1) задание вершин многоугольников, заключающих охраняемые территории;
- 2) обнаружение потенциальных нарушителей;
- 3) отслеживание их траектории (сохранение координат движения) по формулам (5), (6);
- 4) проверка выбранных правил тревоги для каждого субъекта по формулам (7), (8);
- 5) привлечение внимания оператора системы видеонаблюдения в случае выявления запрещённых видов деятельности.

Предложенный подход позволяет увеличить дальность автоматического обнаружения нарушителей в условиях сложных природных фонов за счёт использования накопления сигналов.

4. Экспериментальные исследования

Для оценки возможностей разработанных алгоритмов используются известные базы видео/фотоизображений сцен. Подавляющее количество таких баз (ETH, INRIA, CVC-ADAS и др.) отражают информацию для дневных условий в ясную погоду при удалении объекта на расстояние 50 м. База USC (100 м до объекта) также формировалась в ясную погоду.

Для проверки эффективности работы предложенного алгоритма был подготовлен набор видеосюжетов, соответствующих сценарию «Новые технологии» [23], отличающийся от существующих наборов большим расстоянием от местонахождения нарушителей до камеры (до 200 м), наличием природных динамических фонов, интенсивных осадков (включая налипание снега на объектив камеры), животных. Описание видеосюжетов приведено в табл. 1, отдельные кадры из сюжетов показаны на рис. 4.

Табл. 1. Описание видеосюжетов

| Параметр | Наименование видеосюжета | | | |
|--|--------------------------|-----------------|------------|--------------|
| | «Двор» | «Периметр-снег» | «Периметр» | «Перекрытие» |
| Высота установки камеры, м | 9 | 1 | 1 | 0,5 |
| Угол наклона камеры | -5° | 6,4° | 6,4° | 0° |
| Количество изображений, тыс. | 14 | 2,7 | 2 | 3,3 |
| Высота человека, пикселей | 15–60 | 15 | 15 | 55 |
| Максимальное удаление, м | 200 | 70 | 70 | 20 |
| Осадки, мм/ч в пересчёте на H ₂ O | снег, 0,1 | снег, 1 | нет | нет |
| Ветер, м/с | 1–3 | 4–8 | 3–5 | 1–3 |

Запись набора видеосюжетов производилась с использованием камеры Olympus SP-510UZ со следующими техническими характеристиками:

- 1) разрешение: до 640×480 пикселей;

- 2) частота кадров: 15 кадров/с;
- 3) фокусное расстояние: 8 мм;
- 4) размер матрицы: 5,8 × 4,3 мм.

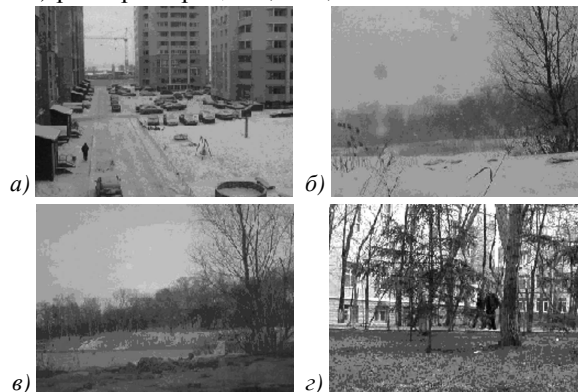


Рис. 4. Примеры изображений из испытательного набора: а) «Двор»; б) «Периметр-Снег»; в) «Периметр»; г) «Перекрытие»

Видеосюжеты снабжены заранее подготовленными файлами описания. В них вручную занесены координаты центров нарушителей для каждого кадра для последующей оценки результатов работы алгоритмов по обнаружению нарушителей.

Этот процесс осуществлялся в автоматизированном режиме с использованием специального программного обеспечения Open CV (Open Source Computer Visio Library, библиотека компьютерного зрения с открытым исходным кодом).

При испытании алгоритма для каждого видеосюжета определяются следующие основные критерии (по методике в [23]): вероятность ложной тревоги ($p_1 = 1 - (a/a+b)$) и вероятность пропуска цели ($p_0 = 1 - (a/a+c)$), где a – количество обнаружений; b – количество ложных тревог; c – количество пропусков цели.

Нарушитель считается обнаруженным, если отклонение оценки координат его центра не отличается от истинных более чем на половину высоты человека.

Результаты испытаний разработанного и двух известных алгоритмов приведены в табл. 2 (их эффективность можно также оценивать с использованием метрик precision (точность) и recall (полнота); в России чаще встречается представление $p_0 - p_1$). «Идеальное» обнаружение субъекта на видеопоследовательности «Перекрытие» объясняется значительным различием площадей нарушителя и природных помех.

Табл. 2. Результаты испытания алгоритмов на созданном наборе видеосюжетов

| Наименование алгоритмов | Видеосюжет | | | | | | | | Производительность кадров в секунду |
|---------------------------------------|------------|-------|------------|-------|-----------------|-------|--------------|-------|-------------------------------------|
| | «Двор» | | «Периметр» | | «Периметр-снег» | | «Перекрытие» | | |
| | p_1 | p_0 | p_1 | p_0 | p_1 | p_0 | p_1 | p_0 | |
| «Смесь нормальных распределений» [27] | 0,015 | 0,118 | 0,242 | 0,423 | 0,371 | 0,683 | 0 | 0 | 75 |
| «Статистическая модель фона» [14] | 0,043 | 0,124 | 0,228 | 0,659 | 0,772 | 0,831 | 0,056 | 0,092 | 112 |
| Предложенный алгоритм | 0,03 | 0,041 | 0,125 | 0,175 | 0,171 | 0,298 | 0 | 0 | 31 |

При определённых погодных условиях рассмотренная видеоаналитическая система обеспечивает

результаты обнаружения вторжений на территорию ограниченного доступа на требуемом на современном

этапе уровне. В более сложных условиях она позволяет существенно улучшить показатели мультисенсорной системы, в состав которой она входит.

Производительность алгоритмов, приведённая в табл. 2, оценивалась по скорости обработки видеопотока с разрешением 640×480 пикселей на компьютере (процессор AMD Phenon || P820 1,8 Гц \times 86) (три ядра); оперативная память – 2,78 Гб).

Различные подходы по оценке итоговой вероятности правильности принятого решения по совокупности вероятностей, полученных по каждому из независимых каналов, рассмотрены в [24]. Если воспользоваться подходом, основанным на общей теореме о повторении опытов, то оценку вероятности гипотезы по вероятностям решений, полученным по N разным каналам, можно получить по результату анализа производящей функции

$$\phi_N(z) = \prod_{i=1}^N (q_{ij} + p_{ij}z),$$

где $q_{ij} = 1 - p_{ij}$, p_{ij} – вероятность i -й гипотезы по информации j -го канала. Коэффициент при z^0 есть вероятность p_{0N} того, что рассматриваемая гипотеза не верна. Тогда с вероятностью $q_{0N} = 1 - p_{0N}$ она признаётся справедливой. Для комбинации 2 каналов с $p_{ij} = 0,702$ и $0,92$ (типичное значение для виброакустических каналов) итоговая вероятность обнаружения увеличивается до $0,976$.

Оценим достоверность полученных результатов. Случайная величина X в результате появления нарушителя может принять значение «нарушитель обнаружен» или «нарушитель не обнаружен» с вероятностью, оценка которой определяется расчётным путём. При достаточно большом количестве испытаний n можно считать, что $p_0 \sim \text{Bin}(n, p)$. Поэтому доверительный интервал $[p_{0\min}, p_{0\max}]$ с надёжностью γ определяется в соответствии с выражением в [25]

$$P\left(\frac{m}{n} - z_{1-\alpha/2} \sqrt{\frac{m}{n\sqrt{n}} \left(1 - \frac{m}{n}\right)} < p_0 < \frac{m}{n} + z_{1-\alpha/2} \sqrt{\frac{m}{n\sqrt{n}} \left(1 - \frac{m}{n}\right)}\right) = \gamma,$$

где n – общее количество изображений нарушителей во всех кадрах; m – количество не выделенных изображений нарушителей во всех кадрах; z_α – α -квантиль стандартного нормального распределения.

Аналогичным образом можно определить доверительный интервал для вероятности ложной тревоги.

В соответствии с приведённым выражением на примере видеосюжета «Двор» можно показать, что с надёжностью $0,9$ вероятность пропуска цели $p_0 = 0,041 \pm 0,003$, а вероятность ложной тревоги $p_1 = 0,003 \pm 0,001$.

Выводы

Сложившаяся в конце прошлого века точка зрения о неизбежном усилении борьбы за земные ресурсы [26] нацеливает на принятие превентивных мер по

противодействию террористической деятельности в разных секторах экономики. Наблюдается интенсивная научная проработка принципов, которые могли бы быть положены в основу систем физической защиты объектов и сконцентрированных в них информационных ресурсов. На сегодняшний день сформировался тезис, что успех в решении проблемы будет достигнут с использованием мультисенсорных систем, важнейшим звеном которой должен стать канал видеоаналитики.

Существующие решения по созданию такого канала требуют доработки с целью увеличения протяжённости контролируемой зоны и повышению надёжности обнаружения несанкционированных вторжений на территорию ограниченного доступа. Предложенный вариант системы, основанный на реализации известного принципа борьбы с помехами – накоплении, позволил снизить вероятности ошибок при работе в благоприятных погодных условиях до уровня, признаваемого приемлемым для перспективных охранных систем.

Предложенный алгоритм с использованием камеры с разрешением 640×480 пикселей позволяет вести наблюдение территорий протяжённостью до 200 м при осадках в виде снега до $0,5$ мм/ч и скорости ветра до 8 м/с на динамичных природных фонах.

В более неблагоприятных условиях работы формируемая видеоаналитической системой информация позволит существенно увеличить надёжность решений мультисенсорной системы, в состав которой она включена.

Благодарности

Работа выполнена при поддержке Правительства Омской области и РФФИ, договор № НК 15-48-04172\15 от 07.05.2015г.).

Литература

1. **Боровский, А.С.** Общая математическая модель системы физической защиты объектов / А.С. Боровский, А.Д. Тарасов // Вестник компьютерных и информационных технологий. – 2011. – № 10. – С. 21-29.
2. **Епифанцев, Б.Н.** Математическая модель противоборства конфликтующих сторон / Б.Н. Епифанцев, А.А. Пятков // Безопасность в техносфере. – 2012. – № 5. – С. 55-59.
3. **Дегтярёв, В.А.** Против террористической угрозы / В.А. Дегтярёв, С.Л. Родионов // Трубопроводный транспорт нефти. – 2010. – № 9. – С. 20-22.
4. **Dubski, R.** Concept of data processing in multi-sensor system for perimeter protection / R. Dubski, M. Kastek, P. Tezaskawka, T. Pirtkowski, M. Szustakowski, M. Zyczkowski // Proceedings of the SPIE. – 2011. – Vol. 8019 : Conference on Sensors, and Command, Control, Communications, and Intelligence (C3I) Technologies for Homeland Security and Homeland Defense X. – 8019OX.
5. **Wang, J.** FBG Intrusion Recognition Algorithm Based on SVM / J. Wang // Advanced Materials Research. – 2012. – Vol. 591-593. – P. 1422-1427.
6. **Епифанцев, Б.Н.** Концепция обеспечения безопасной работы магистральных трубопроводов в условиях внешних воздействий / Б.Н. Епифанцев, А.А. Пятков,

- А.А. Федотов // Безопасность труда в промышленности. – 2013. – № 12. – С. 42-49.
7. **Вишняков, Б.В.** Статистическая модель распознавания ложных объектов в системах видеонаблюдения / Б.В. Вишняков, А.И. Егоров, И.К. Малин // Вестник компьютерных и информационных технологий. – 2013. – № 7. – С. 42-46.
 8. **Кононов, В.А.** Определение типов объектов в видеопотоке с камеры наблюдения на основе покадровой классификации / В.А. Кононов, А.С. Конушин // Вестник компьютерных и информационных технологий. – 2013. – № 10. – С. 20-25.
 9. **Кудинов, И.А.** Реализация алгоритма определения пространственных координат и угловой ориентации объекта по реперным точкам, использующего информацию от одной камеры / И.А. Кудинов, О.В. Павлов, И.С. Холопов // Компьютерная оптика. – 2015. – Т. 39, № 3. – С. 413-419.
 10. **Buch, N.** Local feature saliency classifier for real-time intrusion monitoring / N. Buch, S. Velastin // Optical Engineering. – 2014. – Vol. 53, Issue 7. – 073108.
 11. **Рыбаков С.Д.** Видеоаналитика – мифы и реальные возможности / С.Д. Рыбаков // Алгоритмы безопасности. – 2010. – № 5. – С. 150-153.
 12. **Звездинский, С.С.** Обнаружение и распознавание нарушителей в оптоэлектронных системах наблюдения / С.С. Звездинский, И.В. Парфенов // Радиотехника. – 2010. – № 2. – С. 63-67.
 13. **Lipton, A.J.** Moving target classification and tracking from real-time video / A.J. Lipton, H. Fujiyoshi, R.S. Patil // Fourth IEEE Workshop on Applications of Computer Vision'98: Proceedings. – 1998. – P. 8-14.
 14. **Haritaoglu, I.** W4: real-time surveillance of people and their activities / I. Haritaoglu, D. Harwood, L.S. Davis // IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence. – 2000. – Vol. 22, Issue 8. – P. 831-843.
 15. **Viola, P.A.** Detecting pedestrians using patterns of motion and appearance / P.A. Viola // Journal of Computer Vision. – 2005. – Vol. 63, Issue 2. – P. 153-161.
 16. **Dollar, P.** Pedestrian Detection: An Evaluation of the State of the Art / P. Dollar, C. Wojek, B. Schiele, P. Perona // IEEE Trans. On Pattern Analysis and Machine Intelligence. – 2012. – Vol. 34, Issue 4. – P. 743-761.
 17. Непрерывный анализ поточного видео с регистрацией траектории движения объектов в поле зрения камеры [Электронный ресурс]. URL: <http://www.synesis.ru/surveillance/products/Va-set/>, свободный, загл. с экрана (дата обращения: 05.03.2012).
 18. **Пименов, А.В.** Большие возможности систем видеонаблюдения / А.В.Пименов // Технологии защиты. – 2013. – № 2. – С. 125-126.
 19. **Luo, Q.** Human action detection via boosted local motion histograms / Q. Luo, X. Kong, G. Zeng, J. Fan // Machine Vision and Applications. – 2010. – Vol. 21, Issue 3. – P. 377-389.
 20. **Escobar, M.** Action Recognition With a Bio-Inspired Freed-forward Motion Processing Model: The Richness of Center-Surround Interactions / M. Escobar, P. Kornprobst // European Conference on Computer Vision: Proceedings, 2008. – P. 186-199.
 21. **Gorelick, L.** Actions as Space-Time Shapes / L. Gorelick, M. Blank, E. Shechtman, M. Irani, R. Basri // IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence. – 2007. – Vol. 29, Issue 12. – P. 2247-2253.
 22. **Kiryati, N.** Real Time Abnormal Motion Detection in Surveillance Video / N. Kiryati, [et al.] // 19 th International Conference on Pattern Recognition. – 2008. – P. 1-4.
 23. The i-LIDS User Guide. Imagery Library for Intelligent Detection Systems. Publication N 10/11. – United Kingdom: Home Office Centre for Applied Science and Technology, 2010. – 63 p.
 24. **Епифанцев, Б.Н.** Сравнение алгоритмов комплексирования признаков в задачах распознавания образов / Б.Н. Епифанцев, П.С. Ложников, А.Е. Сулавко // Вопросы защиты информации. – 2012. – № 1. – С. 60-66.
 25. Методы построения доверительных интервалов [Электронный ресурс]. URL: http://edu.dvgups.ru/METDOC/ENF/VMATEM/WM/METHOD/MU_PZ/frame/2.htm, свободный, загл. с экрана (дата обращения: 05.04.2015).
 26. **Медоуз, Д.Х.** За пределами роста / Д.Х. Медоуз, Д.Л. Медоуз, Й. Рандерс. – М.: Прогресс, Пангея, 1994. – 304 с.
 27. **Птицын, Н.В.** Встроенная видеоаналитика для детектирования и сопровождения объектов при помощи многомасштабных признаков / Н.В. Птицын // Труды конференции «ГрафиКон 2010». – 2010. – С. 200-206.

Сведения об авторах

Епифанцев Борис Николаевич, 1939 года рождения. В 1962 году окончил Томский политехнический институт. Доктор технических наук (1987), профессор, работает профессором кафедры информационной безопасности Сибирской государственной автомобильно-дорожной академии (г. Омск). Область научных интересов: информационная безопасность, биометрические системы защиты информации, безопасность транспортных коммуникаций. E-mail: nigrey.n@mail.ru.

Пятков Артём Анатольевич, 1987 года рождения, к.т.н., ООО «МАГМА-КОМПЬЮТЕР», инженер-программист. Область научных интересов: обработка изображений, распознавание образов, цифровая обработка сигналов. E-mail: artovmvp@gmail.com.

Копейкин Степан Андреевич, 1990 года рождения, аспирант, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Сибирская государственная автомобильно-дорожная академия (СибАДИ)». Область научных интересов: обработка изображений, распознавание образов, цифровая обработка сигналов. E-mail: stepan.im@mail.ru.

Поступила в редакцию 11 октября 2015 г.
Окончательный вариант – 22 января 2016 г.

**MULTI-SENSOR SYSTEMS FOR MONITORING ACCESS TO RESTRICTED AREAS:
CAPABILITIES OF THE INTRUSION DETECTION VIDEO ANALYTICAL CHANNEL***B.N. Epifancev¹, A.A. Pyatkov², S.A. Kopeykin¹**¹Siberian State Automobile-Road Academy, Omsk, Russia,**²LLC "MAGMA-computer"***Abstract**

The analysis of research publications dealing with security of critical facilities and their protection from terrorist threats suggests that the multisensor systems proposed in the literature need to be supplemented with a video analytical system to enhance the reliability of detecting the intrusion to the restricted access area and recognition of intruders' intentions. An algorithm for solving the first part of the problem, based on the implementation of the principle of accumulation, is proposed. The issue of recognizing the intruders' intentions is partially addressed. The probabilities of an error of the first and second kind for the proposed intrusion detection algorithm are estimated.

Keywords: restricted access area, intrusion detection, video analytical system, the principle of accumulation, detection rates.

Citation: Epifantsev BN, Pyatkov AA, Kopeykin SA. Multi-sensor systems for monitoring access to restricted areas: capabilities of the intrusion detection video analytical channel. *Computer Optics* 2016. 40(1). 121-129. DOI: 10.18287/2412-6179-2016-40-1-121-129.

Acknowledgement: The work is partially funded by the Government of the Omsk Region and RFBR grant No. 15-48-04172/15 of 05.07.2015.

References

- [1] Borovsky AT, Borovsky AS, Tarasov AD. The general mathematical model of the system of physical protection of facilities. *Herald of computer and information technologies*. 2011; 10: 21-29.
- [2] Epifantsev BN, Pyatkov AA. Mathematical model of the confrontation of the conflicting parties. *Safety in Technosphere*. 2012; 5: 55-59.
- [3] Degtyarev VA., Rodionov SL. Against the terrorist threat. *Pipe-wire transport oil*. 2010; 9: 20-52.
- [4] Dubski R, Dubski R, Kastek M, Tezaskawka P, Pirtkowski T, Szustakowski M, Zyczkowski M. Concept of data processing in multi-sensor system for perimeter protection. *Proceedings of the SPIE* 2011; 8019: 8019OX.
- [5] Wang J. FBG Intrusion Recognition Algorithm Based on SVM. *Advanced Materials Research*. 2012; 591-593: 1422-1427.
- [6] Epifantsev BN. The acoustic method of diagnosing the state of underground pipelines: New Opportunities. *Defectoscopy*. 2014; 5: 9-13.
- [7] Vishnyakov BV, Egorov AI, Malin IK. The statistical model of false recognition of objects in video surveillance systems. *Herald of computer and information technologies* 2013; 7: 42-46.
- [8] Kononov VA, Konushin AS. Defining the types of objects in the video stream from the camera surveillance based on frame classification. *Herald of computer and information technologies* 2013; 10: 20-45.
- [9] Kudinov IA, Pavlov OV, Holopov IS. Implementation of an algorithm for determining the spatial coordinates and the angular orientation of an object based on reference marks, using information from a single camera. *Computer Optics* 2015; 39(3): 413-419.
- [10] Buch N, Velastin S. Local feature saliency classifier for real-time intrusion monitoring. *Optical Engineering* 2014; 53(7): 073108.
- [11] Fishermen S.D. Video analytics – myths and real opportunities. *Security algorithm* 2010; 5: 150-153.
- [12] Zwierzynski SS, Parfyonov IV. Detection and identification of offenders in optoelectronic surveillance systems. *Radio engineering*. 2010; 2: 63-67.
- [13] Lipton AJ, Fujiyoshi H, Patil RS, Moving target classification and tracking from real-time video. *Fourth IEEE Workshop on Applications of Computer Vision'98: Proceedings* 1998; 8-14.
- [14] Haritaoglu L, Harwood D, Davis LS. W4: real-time surveillance of people and their activities. *IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence*. 2000; 22(8): 831-843.
- [15] Viola PA. Detecting pedestrians using patterns of motion and appearance. *Journal of Computer Vision* 2005; 63(2): 153-161.
- [16] Dollar P, Wojek C, Schiele B, Perona P. Pedestrian Detection: An Evaluation of the State of the Art. *IEEE Trans. On Pattern Analysis and Machine Intelligence* 2012; 34(4): 743-761.
- [17] Continuous analysis of the video stream to the registration of the trajectory of moving objects in the camera view. Source: <http://www.synesis.ru/surveillance/products/Va-set/>.
- [18] Pimenov AV. Great possibilities of video surveillance systems. *Protection Technologies* 2013; 2: 125-126.
- [19] Luo Q, Kong X, Zeng G, Fan J. Human action detection via boosted local motion histograms. *Machine Vision and Applications* 2010; 21(3): 377-389.
- [20] Escobar M, Kornprobst P. Action Recognition With a Bio-Inspired Freed-forward Motion Processing Model: The Richness of Center-Surround Interaction. *European Conference on Computer Vision: Proceedings* 2008: 186-199.
- [21] Gorelick L, Blank M, Shechtman E, Irani M, Basri R. Actions as Space-Time Shapes. *IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence* 2007; 29(12): 2247-2253.
- [22] Kiryati N, et al. Real Time Abnormal Motion Detection in Surveillance Video. *19th International Conference on Pattern Recognition* 2008; 1-4.

- [23] The i-LIDS User Guide. Imagery Library for Intelligent Detection Systems. United Kingdom: Home Office Centre for Applied Science and Technology; 2010: 63.
- [24] Epifantsev BN, Lozhnikov PS, Sulavko AE. Comparison of algorithms for aggregation features in pattern recognition problems. Questions of information security 2012; 1: 60-66.
- [25] Methods for constructing confidence intervals. Source: http://edu.dvgups.ru/METDOC/ENF/VMATEM/WM/METHOD/MU_PZ/frame/2.htm.
- [26] Meadows DH, Meadows DL, Randers J. Beyond the growth. Moscow: Progress, Pangaea; 1994.
- [27] Ptitsyn NV. Built-in video analytics for detecting and tracking objects using multiscale features. Conference works «Graphicon 2010». 2010; 200-206.

Authors' information

Boris Nikolayevich Epifantsev (b. 1939) graduated from Tomsk Polytechnic Institute in 1962 (TPI; presently, Tomsk Polytechnic University (TPU)), Doctor of Technical Sciences (1987), a professor. Currently he works as the professor of Information Security Department at the Siberian State Automobile and Highway Academy (Omsk). Research interests are information security, information security systems, biometric, security of transport communications. E-mail: nigrey.n@mail.ru.

Artem Anatolevich Pyatkov (b. 1987), ph.d., LLC "MAGMA-computer" software engineer. Research interests are image processing, pattern recognition, digital signal processing. E-mail: artonymyp@gmail.com.

Stepan Andreyevich Kopeykin (b. 1990), a graduate student, Federal State Educational Institution of Higher Professional Education «Siberian State Automobile and Highway Academy» (Sibadi). Research interests are image processing, pattern recognition, digital signal processing. E-mail: stepan.im@mail.ru.

Received October 11, 2015. The final version – January 22, 2016.
