

УДК 65.011

Т.И. ТЕРНОВАЯ

Херсонский национальный технический университет
П.В. КАШТАЛЬЯН, С.А. РОЖКОВ
Херсонская государственная морская академия**ОБНАРУЖЕНИЕ И ОЦЕНКА ИЗМЕНЕНИЯ СОСТОЯНИЯ ОБЪЕКТА
В ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩИХ КОМПЛЕКСАХ**

В данной работе рассмотрены вопросы обнаружения объекта и оценка его состояния в информационно-управляющих комплексах (ИУК). Одной из главных проблем, которая возникает при разработке и создании таких комплексов является огромный поток данных, которые необходимо обрабатывать в реальном масштабе времени для своевременного выбора оптимального управляющего воздействия. Это требует разработки и применения особых методик реализации и функционирования сложных систем.

Целью исследования является анализ и адаптация методов построения и функционирования ИУК для оценивания параметров пространственных перемещений и состояния контролируемых объектов с учетом помех. В представленной работе предложено добавление в систему контроля ИУК блока формирования сигнала рассогласования между полученным от системы контроля изображением и прогнозируемым изображением. В работе показано, что введение в систему контроля ИУК такого блока позволяет: 1) использовать его для уточнения параметров вектора деформаций; 2) точнее формировать последующее прогнозируемое изображение контролируемого объекта или сцены; 3) экономить ресурсы блока распознавания; 4) повысить скорость распознавания. Предложенная структура подсистемы контроля ИУК позволяет повысить не только скорость распознавания и принятия решения, но и повысить достоверность распознавания.

Ключевые слова: информационно-измерительный комплекс, прогноз, распознавание, скорость распознавания, деформация, оценка состояния объекта, генерирование помех.

Т.І. ТЕРНОВА

Херсонський національний технічний університет
П.В. КАШТАЛЬЯН, С.О. РОЖКОВ
Херсонська державна морська академія**ВИЯВЛЕННЯ ТА ОЦІНКА ЗМІНИ СТАНУ ОБ'ЄКТА
В ІНФОРМАЦІЙНО-КЕРУЮЧИХ КОМПЛЕКСАХ**

У даній роботі розглянуті питання виявлення об'єкта і оцінка його стану в інформаційно-керуючих комплексах (ІКК). Однією з головних проблем, яка виникає при розробці та створенні таких комплексів, є величезний потік даних, які необхідно обробляти в реальному масштабі часу для своєчасного вибору оптимального керуючого впливу. Це вимагає розробки і застосування особливих методик реалізації і функціонування складних систем.

Метою дослідження є аналіз і адаптація методів побудови і функціонування ІКК для оцінювання параметрів просторових переміщень і стану контрольованих об'єктів з урахуванням завад. У представленій роботі запропоновано додавання в систему контролю ІКК блоку формування сигналу неузгодженості між отриманим від системи контролю зображенням і прогнозованим зображенням. У роботі показано, що введення в систему контролю ІКК такого блоку дозволяє: 1) використовувати його для уточнення параметрів вектора деформацій; 2) точніше формувати наступне прогнозоване зображення контрольованого об'єкта або сцени; 3) економити ресурси блоку розпізнавання; 4) підвищити швидкість розпізнавання. Запропонована структура підсистеми контролю ІКК дозволяє підвищити не тільки швидкість розпізнавання та прийняття рішень, але і підвищити достовірність розпізнавання.

Ключові слова: інформаційно-керуючий комплекс, прогноз, розпізнавання, швидкість розпізнавання, деформація, оцінка стану об'єкта, генерування завад.

T.I. TERNOVA

Kherson National Technical University
P.V. KASHTALYAN, S.O. ROZHKOVA
Kherson State Maritime Academy**DETECTION AND ASSESSMENT OF CHANGES TO THE STATE OF THE OBJECT
IN INFORMATION-CONTROL COMPLEXES**

In this work, the issues of object detection and evaluation of its state in information-control complexes (ICC) are considered. One of the main problems that arises in the development and creation of such complexes is a huge flow of data that must be processed in real time for the timely selection of the optimal control action. The

speed of decision making is one of the main parameters that characterize the ICC. Reliable recognition of the state of objects and selection of the optimal control action, but with a significant delay may lead to an emergency situation. This requires the development and application of special techniques for the implementation and operation of complex systems.

The aim of the study is to analyze and adapt the methods for constructing and operating ICC for estimating the parameters of spatial displacements and the state of controlled objects with allowance for interference. In the work presented, it is proposed to add an error signal generation unit to the control system of the ICC between the image obtained from the image surveillance system and the predicted image. The paper shows that the introduction of such a unit into the control system of the ICC allows: 1) using it to refine the parameters of the strain vector; 2) more accurately form a subsequent predicted image of the monitored object or scene; 3) save the resources of the recognition unit; 4) increase the recognition speed. The proposed structure of the ICC control subsystem allows to increase not only the speed of recognition and decision making, but also to increase the reliability of recognition. The proposed principle of detection and analysis of the state of the object makes it possible to replace the control of the standard by controlling the scanning of the monitored object. In some cases, this will simplify and reduce the cost of physical implementation of IAA and increase the speed of the subsystem control. Accounting for the discrepancy signal between the received and predicted image of the frame in the formation of the next frame improves the accuracy of the spatial strain prediction and reduces the time and resources for controlling the generation of the predicted disturbances.

Key words: information-control complexes, forecast, recognition, recognition speed, deformation, state estimation of the object, generation of interference.

Постановка проблемы

Развитие современных информационных технологий, снижение стоимости датчиков, процессоров, сетевых элементов и другого программного и аппаратного оборудования позволяет реализовать автоматические системы контроля объектов в информационно-управляющих комплексах (ИУК) на новом аппаратном и информационном уровне. Это позволяет широко использовать технологии беспроводных сетей и распределенных систем для создания различных приложений, для сбора и обработки информации с территории, которая имеет сложную топографическую структуру, например, для измерения параметров объектов большой площади [1-3].

Одной из главных проблем, которая возникает при разработке и создании таких комплексов и систем, является огромный поток данных, которые необходимо обрабатывать в реальном масштабе времени для своевременного выбора оптимального управляющего воздействия [4-6]. Скорость принятия решения является одним из главных параметров, которые характеризуют ИУК. Достоверное распознавание состояния объектов и выбор оптимального управляющего воздействия, но со значительным опозданием, может привести к аварийному состоянию. Это требует разработки и применения особых методик реализации функционирования сложных систем.

В задачах контроля большой территории, особенно в случае, когда эта территория имеет большое количество объектов, необходимо фиксировать перемещение, смену ориентации и деформацию нескольких объектов одновременно [2,3,7]. Это увеличивает проблему обработки большого количества информации в ограниченный отрезок времени. В некоторых случаях своевременно сделанный правильный анализ и вывод по состоянию объектов позволяет избежать аварийной ситуации. Проблема обработки больших потоков данных от системы датчиков для контроля и оценки пространственных изменений встречается во многих отраслях науки [8-12].

Создание эффективных методов оценки параметров перемещений и изменения ориентации объектов является одной из главных проблем обработки последовательности данных от системы датчиков. Такая оценка необходима при решении задач распознавания объектов, которые перемещаются или видоизменяются в пространстве, навигационных задач отслеживания курса в условиях ограниченной информации об окружающей территории в случае ограниченной видимости.

Анализ последних исследований и публикаций

Для обнаружения и оценки перемещения, изменения ориентации или деформации используются множество подходов. Основные виды изменения состояния объектов, которые рассматриваются в данной статье, могут быть вызваны следующими причинами:

- изменение положения выбранной точки слежения, что легко реализуется углом поворота камеры или изменением направления принятия сигнала датчиком;
- изменение уровня сигнала, приходящего на датчик, при неизменном угле поворота принимающей камеры или неизменном направлении сигнала, который фиксирует датчик;
- комбинирование двух выше перечисленных изменений, то есть, изменение положения и уровня сигнала одновременно.

Система моделирования изображений, которые получают от датчиков подсистемы контроля, включает в себя, в общем случае, исходное изображение, среду контроля, датчики и устройство предварительной обработки изображения [13-15].

В зависимости от помех, возникающих при получении информации, например, погодных условий, исходное изображение является динамически изменяемым, поэтому получаемые с помощью датчиков изображения различных кадров, имеют сдвиги, повороты, изменения масштаба и т.п. Вклад в пространственные деформации последовательностей изображений вносят также искажения передающих трактов каналов связи, нестабильность датчиков, расположенных на удаленных расстояниях, дефекты их изготовления. Практически все составляющие системы формирования изображений могут вносить помехи в получаемое изображение.

Существует множество методов оценки деформаций изображений, получаемых от подсистемы датчиков [16]. Их можно условно разделить на четыре группы:

1. совмещение изображений (или их локальных участков);
2. пространственно-временную фильтрацию изображений;
3. анализ визуального потока (градиентный подход);
4. морфологический анализ изображений.

Цель исследования

Целью исследования является анализ и адаптация методов построения и функционирования информационно-управляющих комплексов для оценивания параметров пространственных перемещений и состояния контролируемых объектов с учетом помех.

Изложение основного материала исследования

Контроль в ИУК часто подразумевает наблюдение за перемещающимся объектом или объектом, который меняет свои ориентацию, структуру или другие параметры. Поэтому тот же объект на разных кадрах, полученных от датчиков или камер слежений в различные моменты времени, имеет различные координаты и параметры. Это можно представить как движение сетки отсчетов Ω , в каждом узле \bar{j} которой установлены устройства снятия данных в пространстве при неподвижной сцене. Представим смещение \bar{j} относительно его первоначального положения на сетке отсчетов Ω в виде вектора $\bar{h}_{\bar{j}}$. Множество таких векторов можно записать как векторное случайное поле $\mathbf{H} = \{\bar{h}_{\bar{j}} : \bar{j} \in \Omega\}$ [16].

Если рассматривать полученную от системы наблюдения последовательность изображений с пространственными перемещениями или деформациями, которые изменяются по нарастанию или убыванию для каждого из их видов, то получим случайное поле $\{\bar{h}_{\bar{j}}^k : \bar{j} \in \Omega, k \in T\}$, где k – номер снятия показаний, T – количество изображений.

В общем случае узлы изображения проще представить в виде сетки отсчетов и контролировать изменение положения узлов сетки, в которых установлены средства снятия информации, относительно первого кадра или идеального, недеформированного изображения.

В случае наблюдения контролируемой зоны, когда вид возможных перемещений объектов на ограниченном участке известен и, следовательно, вид межкадровых пространственных деформаций можно прогнозировать, например, когда обнаружено смещение или поворот и идет контроль только величины обнаруженной деформации, смещение каждого узла можно записать в параметрическом виде [16]:

$$\bar{h}_{\bar{j}} = f(\bar{j}, \bar{\alpha}) \quad (1)$$

где $\bar{\alpha}$ – мера изменения по каждому из видов пространственных деформаций.

Необходимо также учитывать, что изображение, полученное от датчиков или камер сети, включает в себя помехи, вызванные несовершенством и неточностью оборудования, изменением фона, погодными условиями и т.д. Практически все составляющие системы формирования изображения могут вносить помехи в полученное изображение. Таким образом, полученное для анализа и обработки изображение имеет вид [16]:

$$\left\{ z_j^{(k)} \right\} = \left\{ \mathbf{x}_j^{(k)} \cdot \psi_j^{(k)} + \theta_j^{(k)} \right\}, \quad (2)$$

где $\mathbf{x}_j^{(k)}$ – k-е изображение контролируемого объекта без помех и шумов;
 k – номер кадра;
 $\psi_j^{(k)}$ – мультипликативная помеха;
 $\theta_j^{(k)}$ – аддитивная помеха.

Последующее изображение контролируемого участка будет иметь отличие от предыдущего, если вид или степень деформации изменился. В случае, если эти изменения известны или могут быть спрогнозированы, то есть изображение кадра $\mathbf{x}_j^{(k)}$ может быть получено из предыдущего $\mathbf{x}_j^{(k-1)}$ с помощью функции

$$\mathbf{x}_j^{(k)} = f_k \left(\mathbf{x}_j^{(k-1)}, \mathbf{a}_k, \mathbf{j} \right), \quad (3)$$

точность которой задана параметрами \mathbf{a} .

Параметры пространственных перемещений и деформаций \mathbf{a} могут быть как случайными, так и заданными определенными алгоритмами или законами движения.

Для большой последовательности кадров при реальном наблюдении за физическими объектами формирование кадра только с помощью функции (3) часто не имеет смысла, поскольку погрешность вектора деформаций \mathbf{a} отлична от нуля и имеет тенденцию накапливаться, что, в конечном счете, приведет к существенным расхождениям между прогнозируемым изображением и реально полученным. Но использование функции (3) в качестве вспомогательного параметра в подсистеме контроля ИУК, применяющей компенсацию информационных потоков [4,6,8], дает существенное увеличение скорости распознавания и, следовательно, принятия решения.

Последовательность кадров, получаемых с заданным интервалом времени от датчиков или камер наблюдений можно представить структурной схемой (рис.1).

На рис. 1 параметр δ_k характеризует точность прогноза пространственной деформации в k-том кадре и определяется как разность между полученным изображением кадра \mathbf{z}_k и прогнозируемым \mathbf{z}_k^f :

$$\delta_k = \mathbf{z}_k - \mathbf{z}_k^f \quad (4)$$

Таким образом, формирование следующего кадра можно осуществить с учетом полученного параметра δ_k :

$$\mathbf{x}_j^{(k)} = f_k \left(\mathbf{x}_j^{(k-1)}, \mathbf{a}_k, \mathbf{j}, \delta_k \right) \quad (5)$$

Как видно из рис.1, системе контроля доступны последовательные кадры $\mathbf{z}_1, \mathbf{z}_2, \dots, \mathbf{z}_k, \dots$ и параметры $\delta_1, \delta_2, \dots, \delta_k, \dots$. То есть, имеется возможность использовать параметр δ_k для формирования следующего прогнозируемого изображения \mathbf{x}_{k+1} . Но это не единственное преимущество использования параметра δ_k .

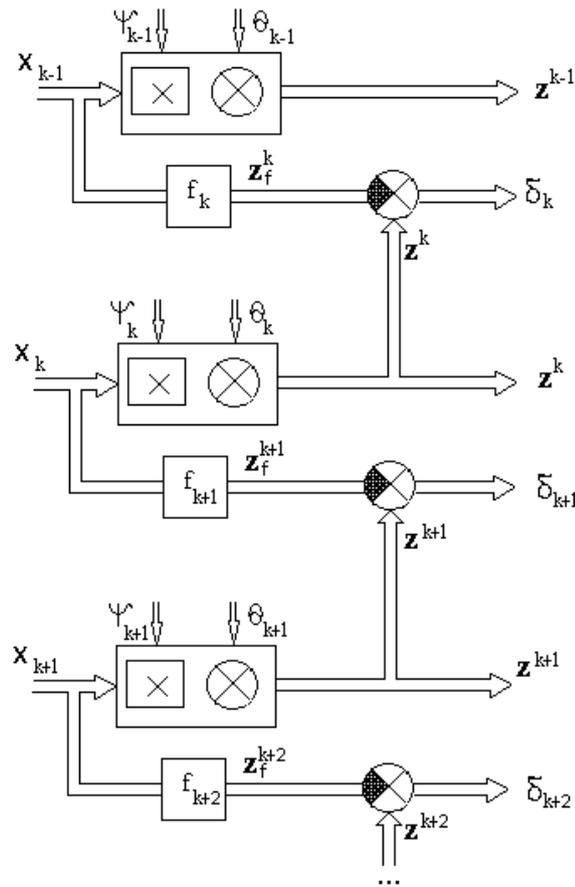


Рис. 1. Структурная схема получения последовательности кадров с учетом прогноза пространственных деформаций

Введение в систему контроля ИУК блока формирования параметра δ_k позволяет:

- использовать его для уточнения параметров вектора деформаций α ;
- точнее формировать последующее прогнозируемое изображение контролируемого объекта или сцены x_{k+1} ;
- экономить ресурсы блока распознавания, поскольку параметр δ_k содержит в себе информацию о перемещении или других пространственных деформациях объекта;
- повысить скорость распознавания и, следовательно, скорость функционирования ИУК в целом.

Представим полученное изображение в виде функции $z^{(k)}$ и эталон, в качестве которого можно использовать предыдущий кадр или идеальное, не искаженное помехами изображение сцены или объекта, в виде функции $z^{(0)}$. В случае отсутствия адаптации системы контроля к допустимым искажениям, можно для анализа меры близости изображений контролируемого объекта, полученных от датчиков в различные моменты времени, воспользоваться функцией свертки [17]:

$$g(x, y) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} z^{(0)}(x - \xi_x, y - \xi_y) \cdot z^{(k)}(\xi_x, \xi_y) d\xi_x d\xi_y, \tag{6}$$

где ξ_x, ξ_y – величины смещения двумерных изображений по направлениям x и y соответственно.

Система, построенная на применении данной операции, будет линейной и пространственно инвариантной, что следует из свойств свертки. При использовании метода компенсации информационных потоков [6,8], можно совместить функционально и по времени процесс получения данных от датчиков или камер слежения и сопоставления этих данных с эталоном или данных, полученных ранее с учетом допустимых смещений и искажений. Мера допустимых пространственных перемещений или изменение ориентации определяется в зависимости от физической природы параметров объекта или процесса, который контролируется. Для многих объектов эти параметры, как правило, хорошо известны. То есть для

повышения скорости распознавания необходимо учитывать возможные помехи и искажения, что требует добавление в систему базы прогнозируемых помех и блока управления генерацией помех. Программа сопоставления эталона и полученного изображения физических полей обрабатывает разницу информационных потоков $\delta = z^{(0)} - z^{(k)}$, которая по объему существенно меньше, а в случае отсутствия изменений положения объектов и компенсацией прогнозируемых помех близка нулю. При ограниченных реальных пропускных свойствах беспроводных сетей передачи данных использование метода компенсации информационных потоков позволяет повысить скорость работы систем наблюдения и принятия решения.

При прогнозировании изображения следующего кадра наблюдаемой сцены функция прогноза, с учетом допустимых перемещений и сменой ориентации объектов в кадре, приобретает следующий вид:

$$z^{(0)}(x \cdot u_x + \delta x, y \cdot u_y + \delta y), \tag{7}$$

где u_x – управление разверткой прогнозируемого изображения по горизонтали,

u_y – управление разверткой прогнозируемого изображения по вертикали,

δx – смещение прогнозируемого изображения относительно контролируемого изображения по горизонтали,

δy – смещение прогнозируемого изображения относительно контролируемого изображения по вертикали.

Анализ совмещения изображений с учетом допустимых перемещений и сменой ориентации можно провести на основании формулы:

$$g(x \cdot u_x + \delta x, y \cdot u_y + \delta y) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} z^{(0)}(x \cdot u_x + \delta x - \xi_x, y \cdot u_y + \delta y - \xi_y) \cdot z^{(k)}(\xi_x, \xi_y) d\xi_x d\xi_y. \tag{8}$$

Функция $g(x \cdot u_x + \delta x, y \cdot u_y + \delta y)$ показывает, как система контроля, построенная с использованием операции свертки, смазывает или рассеивает изображения при совмещении с предыдущим полученным кадром или эталонным изображением. Данная функция дает информацию о совмещении для любых изображений, но в случае контрастной последовательности данных наиболее эффективна. Поэтому, при физической реализации систем контроля для повышения точности распознавания играет существенную роль чувствительность выбранных датчиков и качественные характеристики камер наблюдения.

Поскольку свертка функций обладает свойством коммутативности:

$$\begin{aligned} & z^{(0)}(x \cdot u_x + \delta x - \xi_x, y \cdot u_y + \delta y - \xi_y) \otimes z^{(k)}(\xi_x, \xi_y) = \\ & = z^{(0)}(\xi_x, \xi_y) \otimes z^{(k)}(x \cdot u_x + \delta x - \xi_x, y \cdot u_y + \delta y - \xi_y), \end{aligned} \tag{9}$$

где символ \otimes означает операцию свертки, можно при практической реализации заменить управление генерацией последующего кадра в качестве эталона с учетом искажений на управление сканированием контролируемого изображения. То есть, имеется возможность заменить управление генерацией эталона на управление получением изображения контролируемого объекта. В некоторых случаях это упростит и удешевит физическую реализацию ИУК и повысит скорость функционирования подсистемы контроля.

Представим совокупность перемещений, смены ориентации и искажений в виде функции $z_{dis}^k = f(\psi^{(k)}, \theta^{(k)})$, где $\psi^{(k)}$ – мультипликативная и $\theta^{(k)}$ – аддитивная составляющие. Используем свойство ассоциативности свертки и получим:

$$z^{(k)} \otimes z^{(0)} \otimes z_{dis}^k = z^{(k)} \otimes (z^{(0)} \otimes z_{dis}^k). \tag{10}$$

Такое решение позволяет ввести генерацию ожидаемых искажений несколькими способами (рис.2), и в дальнейшем позволит сделать распознающую систему более эффективной.

Структурная схема системы распознавания, реализованная с помощью способа совмещения изображений, учитывающим искажения эталона (рис. 2, а) представлена на рис.3.

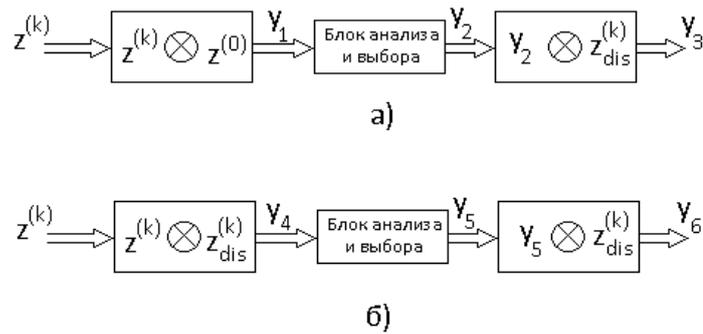


Рис. 2. Совмещение изображений эталона и контролируемого объекта с учетом искажений (а) и с учетом искажений настраиваемого эталона (б)

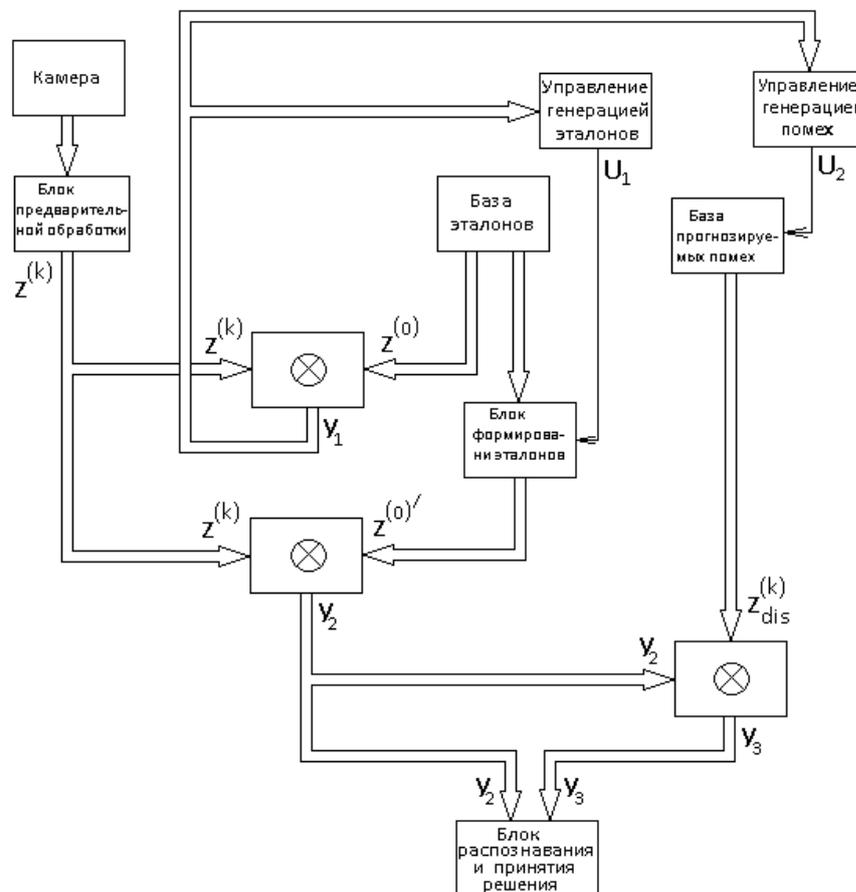


Рис. 3. Структурная схема системы распознавания, использующая метод компенсации информационных потоков с учетом искажений

Таким образом, введение в систему блока генерации искажений предыдущего кадра или эталона на этапе совмещения его с изображением, полученным от датчиков или видеокамер, повышает скорость распознавания изображения.

Выводы

Введение в систему контроля ИУК блока формирования параметра δ_k (4) позволяет использовать его для уточнения параметров вектора деформаций, точнее формировать последующее прогнозируемое изображение контролируемого объекта или сцены x_{k+1} , экономить ресурсы блока распознавания, поскольку параметр δ_k содержит в себе информацию о перемещении или других пространственных

деформациях объекта, повысит скорость распознавания и, следовательно, скорость функционирования ИУК в целом.

Учет сигнала рассогласования между полученным и прогнозируемым изображением кадра в формировании следующего кадра повышает точность прогноза пространственных деформаций и сокращает время и ресурсы на управление генерацией прогнозируемых возмущающих воздействий.

Представленная структура подсистемы контроля ИУК (рис.3) позволяет повысить не только скорость распознавания и принятия решения, но и повысить достоверность распознавания.

Список используемой литературы:

1. Тернова Т.І. Методи моделювання і аналізу просторово-часових деформацій сенсорних мереж / Т.І. Тернова // Вісник Національного університету “Львівська політехніка”, “Комп’ютерні науки та інформаційні технології”. — 2011. — № 710. — С.197-203.
2. Щепин М.В. Автоматизированный анализ изображений аэрокосмических фотопланов / М.В. Щепин // Третья Всер. открытая конф. “Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса”. Сб. науч. статей. Вып. 3. — М.: ООО “Азбука 2000”, 2006. —Т. 1. — С. 143–146.
3. Дюкова Е.В. Дискретный анализ признаков описаний в задачах распознавания большой размерности / Е.В. Дюкова, Ю.И. Журавлёв // Вычисл. матем. и матем. физ. 2000. — Т. 40. — № 8. — С. 1264-1278.
4. Деклараційний Патент України №30433 А, МПК 6 G 06K 9/00 /—№4707484/SU Пристрій для визначення просторового зміщення зображення об’єкту по відношенню до еталону зображення / Тернова Т.І., Храпливий А.П., Бражник О.М., Тимофеев К.В., Рожков С.О.; Заявл. 07.05.98; Опубл. 15.11.2000, Бюл. №6–II. – 2 с.
5. Тернова Т.І. Оброблення та розпізнавання сигналів сканування поверхні для визначення якісного стану об’єктів / Т.І. Тернова // Праці дев’ятої всеукраїнської міжнародної конференції “Оброблення сигналів і зображень та розпізнавання образів” (УкрОБРАЗ’2008). — К., 2008. — С. 115-117.
6. Бражник Д.О. Розпізнавання методом компенсації інформаційних потоків / Д.О. Бражник, Т.І. Тернова, Л.О. Фаніна // Матеріали восьмої всеукраїнської міжнародної конференції з оброблення сигналів і зображень та розпізнавання образів. 28-31 серпня 2006р., м. Київ, Україна — К.: 2006. — С. 43-47.
7. Иванов Ю.С. Модифицированный алгоритм локализации номерных знаков транспортных средств на основе метода Виолы-Джонса / Ю.С. Иванов, О.С. Амосов // Информатика и системы управления. — 2014. — № 1 (39). — С. 127-140.
8. Терновая Т.И. Использование элементов искусственного интеллекта в автоматических системах распознавания / Т.И. Терновая, А.М. Бражник // Вестник Херсонского национального технического университета. — 2006. — № 3 (26). — С. 166-172.
9. Ranzato Marc'Aurelio, Christopher Poultney, Sumit Chopra and Yann LeCun: Efficient Learning of Sparse Representations with an Energy-Based Model, in J. Platt et al. (Eds), Advances in Neural Information Processing Systems (NIPS 2006), MIT Press, 2006.
10. Форсайт Д. Компьютерное зрение. Современный подход / Д. Форсайт, Ж. Понс. — М.: Изд. дом "Вильямс", 2004. — 928 с.
11. Darrel Whitley, An Overview of Evolutionary Algorithms: Practical Issues and Common Pitfalls, Journal of Information and Software Technology 43: 817–831, 2001.
12. M. Ranzato, Y. LeCun, "A Sparse and Locally Shift Invariant Feature Extractor Applied to Document Images". International Conference on Document Analysis and Recognition (ICDAR 2007), Curitiba, 2007.
13. Попова Л. П. Обзор существующих методов распознавания образов / Л.П. Попова, И.О. Датъев — М.: Сборник научных трудов, 2007. — 11 с.
14. Зенин А. В. Анализ методов распознавания образов/ А. В. Зенин // Молодой ученый. — 2017. — № 16. — С. 125-130.
15. Черногорова Ю. В. Методы распознавания образов/ Ю. В. Черногорова // Молодой ученый. — 2016. — № 28. — С. 40-43.
16. Ташлинский А.Г. Оценивание параметров пространственных деформаций последовательностей изображений / А.Г. Ташлинский – Ульяновск: УлГТУ, 2000. — 131 с.
17. Хорн Б.К.П. Зрение роботов/ Б.К.П. Хорн – М.:Пер. с англ. Мир. 1989. — 487 с.