

## Комп'ютерно-інтегроване проектування та комп'ютерний дизайн

УДК 621.397.48 : 004.932.2

А. В. БЕЛЯЕВ, О. В. ЗУБКОВ, В. М. КАРТАШОВ

### ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА КОНТУРНОГО АНАЛИЗА ИЗОБРАЖЕНИЙ В СИСТЕМЕ ОБРАБОТКИ МУЛЬТИМЕДИЙНОГО СТРЕЛКОВОГО ТРЕНАЖЕРА

Рассмотрена задача обнаружения координат пулевых отверстий и отметок от лазерного излучателя на фоне проекционного полотна мишени мультимедийного стрелкового тренажера. Предложен алгоритм обработки изображений и оценки пространственных координат наблюдаемых отметок с использованием контурного анализа изображений. Выведено математическое описание согласованных фильтров для получения контуров исследуемого изображения. Методом моделирования выполнена оценка качественных характеристик алгоритма. Рассмотрены аспекты практического применения предложенного алгоритма в мультимедийных стрелковых тренажерах.

**Ключевые слова:** моделирование, определение координат пулевых отверстий, мультимедийные стрелковые тренажеры, обработка изображений.

Розглянуто задачу виявлення координат кульових отворів і відміток від лазерного випромінювача на фоні проекційного полотна мішені мультимедійного стрілецької тренажера. Запропоновано алгоритм обробки зображень і оцінки просторових координат спостережуваних відміток з використанням контурного аналізу зображень. Виведено математичний опис узгоджених фільтрів для отримання контурів досліджуваного зображення. Методом моделювання виконано оцінку якісних характеристик алгоритму. Розглянуто аспекти практичного застосування запропонованого алгоритму в мультимедійних стрілецьких тренажерах.

**Ключові слова:** моделювання, визначення координат кульових отворів, мультимедійні стрілецькі тренажери, обробка зображень.

The problem of finding the coordinates of bullet holes and marks from a laser emitter in the background of the multimedia shooting simulator projection screen is considered. An algorithm for image processing and estimating the spatial coordinates of observable marks using an image contour analysis is proposed. A mathematical description of matched filters is derived for obtaining the test image contours. The simulation method is used to estimate the qualitative characteristics of the algorithm. The aspects of practical application of the proposed algorithm in multimedia shooting simulators is considered, advantages and disadvantages are emphasized in comparison with previously used algorithms. The effectiveness of the algorithm in processing the video stream with a dynamically changing background has been noted, and it has been proposed to use it in gaming applications for this class of multimedia systems.

**Keywords:** modeling, coordinates determination of bullet holes, multimedia shooting simulators, image processing.

**Введение.** Статья является продолжением публикации, связанных с разработкой и внедрением универсальных мультимедийных стрелковых тренажеров (МСТ) для подготовки сотрудников силовых структур. В статье проводился анализ основных подходов к определению яркостных перепадов [1], описан используемый в тренажере метод обработки изображений [3] и предложен алгоритм увеличения быстродействия описанных методов с использованием операции стробирования целей [3].

Принцип действия мультимедийного стрелкового тренажера (МСТ) схематически представлен на рис. 1. В МСТ используется система обработки изображений со статичной видеокамерой.

Как и любая другая система компьютерного зрения, мультимедийный стрелковый тренажер имеет в своем составе видеокамеру, осуществляющую мониторинг изменений на проекционном полотне мишени. Получаемый видеопоток обрабатывается на компьютере с использованием одного или нескольких методов обнаружения информационных объектов.

Искомым объектом поиска при обработке изображений в мультимедийных стрелковых тренажерах является пулевая пробоина на экране, в случае работы системы с боевым оружием, или лазерное пятно, если система работает с лазерными имитаторами, закрепленными на оружии.

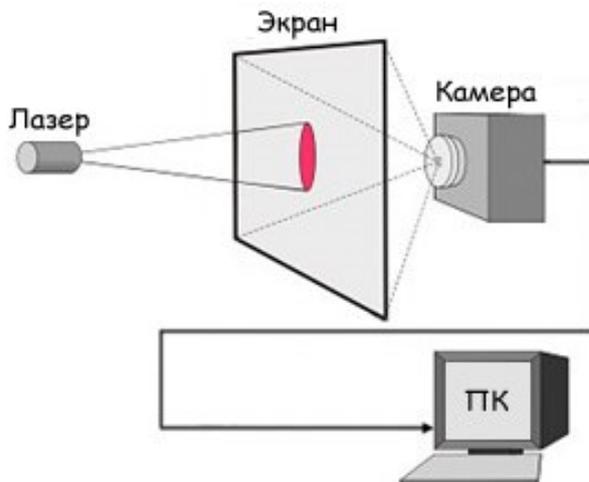


Рис. 1 – Упрощенная структура системы обработки сигналов мультимедийного стрелкового комплекса

**Контурный анализ в МСТ.** Основная задача используемых в стрелковом комплексе алгоритмов обработки сигналов заключается в обнаружении и измерении координат центра пулевой пробоины или пятна, образуемого лучом лазера на экране.

При этом алгоритмы обработки сигналов, используемые в комплексе, должны обеспечивать высокое быстродействие для достижения минимально возможного промежутка времени между выстрелами,

©А. В. Беляев, О. В. Зубков, В. М. Карташов. 2017

а также высокую точность определения координат пробоины.

В статье рассматривается возможность применения алгоритма выделения контуров на изображении в МСТ, с целью повышения скорости обнаружения информативных объектов и точности определения их координат.

Достоинство метода контурного анализа заключается в возможности решения задач обработки изображений и распознавания зрительных образов с единых теоретических позиций. При этом изменение параметров положения, поворота и масштаба изображения незначительно влияет на объем выполнения вычислений.

Вместе с тем, этот метод применим лишь в том случае, когда в нашем распоряжении имеются сами контуры, по крайней мере, локализована область сцены, в которой сосредоточены граничные точки (края, границы) конкретного изображения. Задача выделения контуров многоградационного изображения на статистически сложном многоградационном фоне эквивалентна задаче обнаружения двумерного полезного сигнала на фоне шумов и других сигналов, играющих роль помех [4].

Рассмотрим один из имеющихся подходов к выделению контуров изображений в реальной системе, базирующийся на гипотезе экспоненциальнокосинусной автокорреляционной функции (АКФ) фоновых шумов и слабой информативности низкочастотной части спектра изображения.

Флуктуации амплитуд и фаз сигналов на входе датчиков изображений приводят, в конечном счете, к флуктуациям интенсивностей сигналов, формирующих в памяти цифровое изображение  $s(x, y)$ . В результате получающиеся силуэтные изображения становятся многосвязными из-за образующихся полостей и разрывов, вследствие чего значительно искажается линия края (контура) (рис. 2).

Разрушение односвязной структуры цифрового изображения  $s(x, y)$  из-за указанных факторов, а также воздействие шумов и помех в области изображения приводят к тому, что вместо одного контура, описывающего форму исходного изображения  $e(x, y)$ , мы получаем набор контуров пятен различной формы в пределах контура исходного изображения. Как видим, контурный анализ этих пятен не дает необходимой информации о классе обрабатываемого изображения. В данном случае целесообразно переходить к пространственным методам обработки, например, к бинарной пространственной согласованной фильтрации или к выделению областей сцены по признаку наличия сгущений, а также использовать другие методы, рассмотренные в [1].

Существенное влияние на возможность применения метода контурного анализа оказывает количество пикселей в составе изображения объекта. С уменьшением числа пикселей вследствие искажения формы объекта шумами дискретизации падает отношение сигнал/шум. Маскирующее влияние шумов дискретизации приводит к потере отдельных, в первую очередь, мелких деталей изображений, т. е. к

потере информативных признаков формы в их контурах.

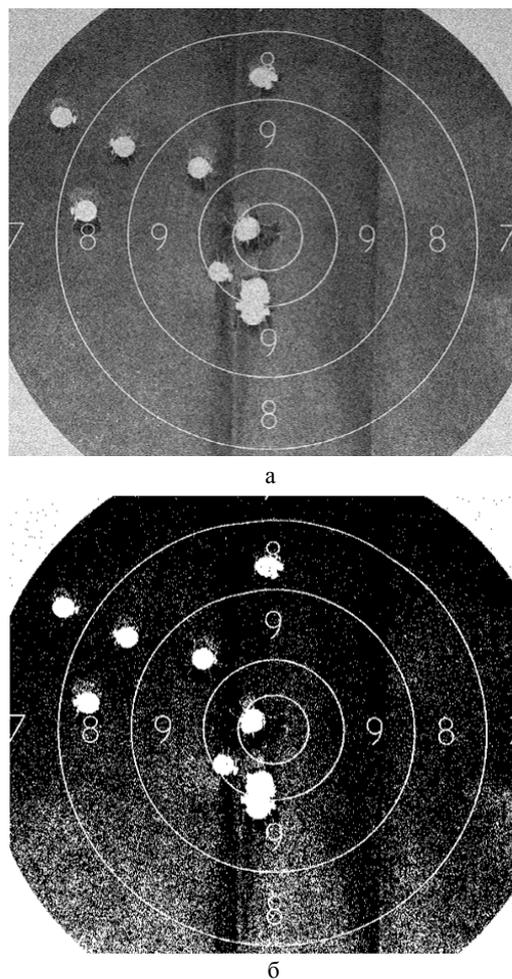


Рис. 2 – Образование многосвязного бинарного цифрового изображения: а – многоградационное изображение мишени, б – сформированное бинарное изображение

Необходимое количество пикселей связано с шириной спектра контура и должно выбираться исходя из теоремы Котельникова. Однако, в целом ряде случаев оно определяется возможностями обрабатываемой аппаратуры, требуемым быстродействием и применяемыми датчиками изображения, например, шириной диаграммы направленности антенны радиолокационной станции [5] при обработке радиолокационных изображений или разрешением камеры.

Вредное влияние флуктуаций может быть снижено за счет процедур предварительного накопления изображений одного и того же объекта. Снижение одного из наиболее опасных помеховых факторов – шума зернистости в изображениях, получаемых в когерентном свете, достигается путем усреднения нескольких независимых изображений одного и того же участка поверхности. Рост эффективности обработки в зависимости от количества накапливаемых изображений наблюдается при этом до тех пор, пока число накапливаемых кадров не превысит  $N \approx 25$ , как показано в [6]. Улучшение формы сильно зашумленных контуров, в том числе и шумами квантования, может быть достигнуто в результате их накопления.

Выделение границ, как одна из задач сегментации изображения. В практических приложениях, рассчитанных на использование в реальном времени, распознавание образов часто выполняют в виде следующей последовательности (рис. 3): получение изображения (1); предварительная его обработка и фильтрация (2); сегментация и адаптивная бинаризация (3); серия морфологических операций (4); заполнение пространства признаков объектов (5); принятие решения об обнаружении или необнаружении полезного сигнала (6).



Рис. 3 – Упрощенная схема распознавания образов на изображении

Получение изображения в мультимедийном стрелковом тренажере предварительно было рассмотрено в [3]. Следующий этап заключается в отделении путем сегментации на принятом изображении полезного сигнала от однородного фона.

Сегментация является одним из способов группировки пикселей в сцене. Она проводится с целью разбиения сцены на части со сходными свойствами, например, на области с близкими значениями яркости. В ландшафтных сценах, характерной особенностью которых является сложный статистический характер яркости пикселей, сегментация производится для разбиения сцены на статистически однородные части [9].

Границам изображений в полутоновой продискретизированной сцене соответствуют скачки яркости – как положительные, так и отрицательные. Эти скачки вызваны разницей средних уровней яркости фона и объекта (рис. 4).

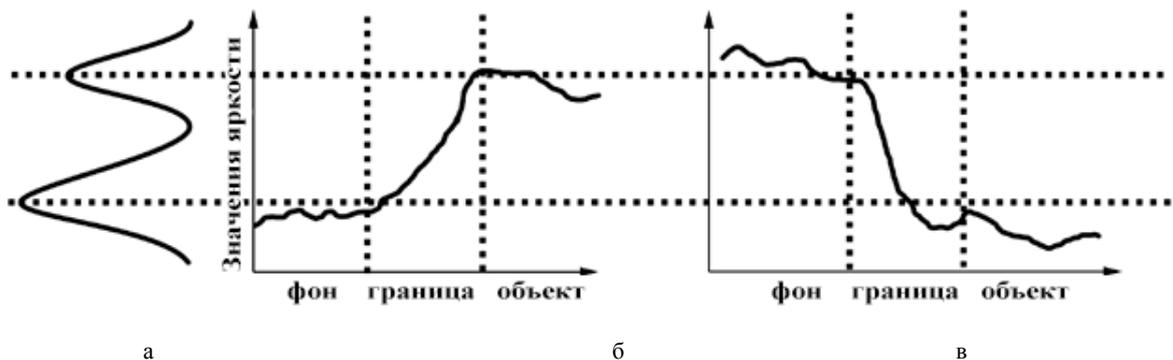


Рис. 4 – Распределение яркости на границе объектов: а – гистограмма яркости, б – скачки яркости в области границы для изображений ярче фона, в – скачки яркости в области границы для изображений темнее фона

Гистограмма яркости пикселей в этой области носит хорошо выраженный двугорбый характер. Фронту скачка яркости соответствует наименьшее по сравнению с фоном и изображением объекта число пикселей, что и приводит к провалу в центре графика гистограммы. Гистограммы яркостей, построенные в областях фона или в областях изображения объекта, не имеют таких хорошо выраженных максимумов. Поэтому ориентируясь на наличие провала в центральной части гистограммы яркостей или же на скачок яркости в пределах небольшого участка сцены, можно все пиксели этого участка разделить на три подмножества: фон, граница фон/изображение, изображение объекта. При таком подходе выделение граничных точек можно рассматривать как один из видов сегментации сцены.

На этапе предварительной обработки изображения, полученного с регистрирующего устройства, проводят минимизацию избыточной, для поставленных задач, информации на всех его позициях. Прежде чем приступить к обработке изображения, его переводят в оттенки серого, в связи с отсутствием необхо-

димости работы с цветовыми компонентами. Для преобразования исходного изображения в изображение в градациях серого, необходимо получить его яркостную составляющую. С этой целью удобно представить изображение в цветовой модели YUV (или HSL, HSV, подобных).

В случае, если на изображении проводится поиск крупномасштабных объектов, или объектов с однородной структурой, когда нет необходимости определять множество мелких деталей, осуществляется процедура предварительного сглаживания изображения.

Операцию сглаживания применяют для подавления шумов и приближения границ к идеальным и замкнутым. Чаще всего используется Гауссов фильтр, параметр размытия которого  $\sigma$  выбирают в зависимости от исследуемых изображений. Функция Гаусса для двумерного случая имеет вид

$$f(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} \exp\left(-\frac{x^2 + y^2}{2\sigma^2}\right). \quad (1)$$

При определении круглых объектов на изображении, таких как лазерное пятно, лучшие результаты

обеспечивает применение гауссового фильтра с параметром размытия порядка  $\sigma = 10$  (рис. 5).

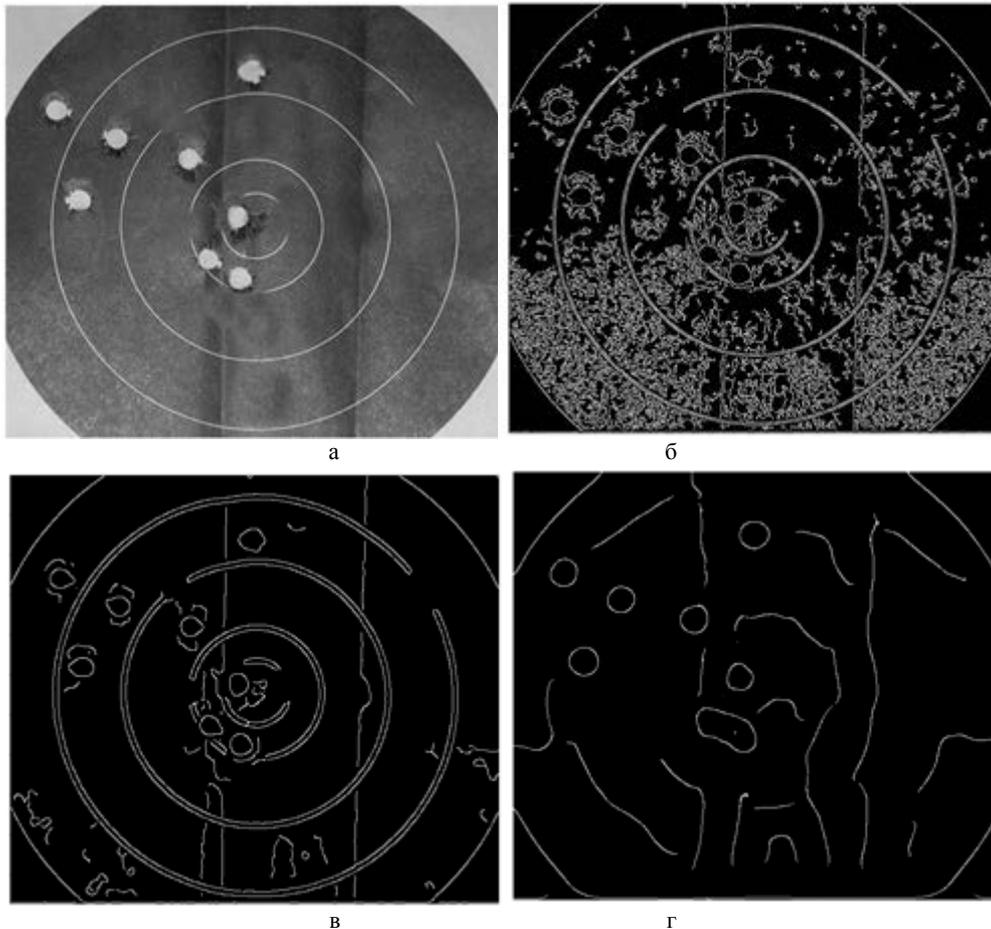


Рис. 5 – Влияние сглаживания исходного изображения (а) на детекторы контуров при  $\sigma = 1$  (б),  $\sigma = 10$  (в),  $\sigma = 20$  (г)

В процессе сканирования сцены  $F$ , описываемой функцией яркости  $f(x, y)$ , происходит перебор по определенному закону ее пикселей. Если текущий пиксель не был отнесен к ранее обнаруженному изображению, то решается задача обнаружения начальной точки  $a_0$  контура нового изображения. Сцена  $F$  содержит изображения фона  $g(x, y)$  и объекта  $s(x, y)$ , а также флуктуационный шум  $n(x, y)$ . Изображение объекта  $s(x, y)$  имеет подмножество точек  $\gamma(x, y)$ , относящихся к границе  $\Gamma = \{\gamma(x, y)\}$  объект/фон. Граница  $\Gamma$  изображения  $s(x, y)$  характеризуется двумерным скачком (перепадом) с функцией яркости  $\gamma(x, y)$  (рис. 6).

Пространственные положения точек границы  $\Gamma$  сильно коррелированы. Граница реального изображения, как уже отмечалось ранее, представляет непрерывную замкнутую одновитковую кривую. Каждая граничная точка имеет в качестве соседней две других граничных точки. Поэтому информация о положении в сцене  $F$  хотя бы одной граничной точки, получаемая в процессе выполнения операции

обнаружения границы, в значительной степени облегчает нахождение ее остальных точек, особенно если форма изображения априорно известна.

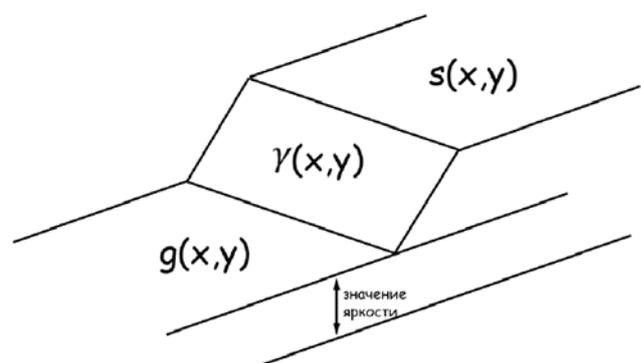


Рис. 6 – Двумерная модель границы изображения

Часто переход фон/объект происходит на интервале нескольких пикселей и поэтому скачок яркости характеризуется крутым фронтом. Иногда из-за ухудшения освещенности в пограничной части объекта этот скачок становится пологим. В ряде случаев в области границы могут находиться представляющие интерес отдельные точечные

объекты. Тогда разрешение границы должно быть достаточно высоким, что приводит к увеличению протяженности скачка.

В ряде случаев [5] при решении задач обнаружения изображений функция яркости  $f(x, y)$  имеет более сложный вид, чем тот, который задается с помощью аддитивной модели сигнала и шума [8]

$$f(x, y) = s(x, y) + n(x, y), \quad (2)$$

Модель (2) используется при обнаружении сигналов на фоне белого шума. В качестве более адекватной модели функции  $f(x, y)$  в работе [1] используется аддитивно-мультипликативная модель, имеющая, с точностью до параметров смещения изображения  $s(x, y)$ , вид

$$f(x, y) = g_0 + s(x, y) + g(x, y)n(x, y), \quad (3)$$

где  $g_0$  – постоянная составляющая яркости, обеспечивающая неотрицательность функции  $f(x, y)$ . В ландшафтных сценах эта модель описывает локально однородное поле случайных значений яркости. Статистическая неоднородность поля вызвана медленно меняющейся детерминированной составляющей. Поэтому при обработке таких сцен сегментация производится с целью формирования локально однородных в статистическом плане областей («лес», «поле», «водоем» и др.)

Функция  $s(x, y)$ ,  $x, y \in F_s$  изображения объекта, как и функция  $g(x, y)$  фона, является либо детерминированной функцией, либо реализацией случайного поля. Эти функции всегда имеют различные первые моменты, то есть разные средние яркости. Поэтому переход от одной функции к другой, то есть от фона к объекту или от объекта к фону, всегда сопровождается скачком яркости, расположенным в области границы фон/объект. Несмотря на разнообразие законов распределения вероятностей значений фонового шума, их одномерные АКФ в сценах природных аэроландшафтов, вещательного телевидения и некоторых других классов в пределах локально однородной области хорошо аппроксимируются экспоненциально-косинусной функцией вида [9, 10]

$$R(\xi) = \sigma_{\text{ex}}^2 e^{-\alpha|\xi|} \cos \beta \xi, \quad (4)$$

где  $\sigma_{\text{ex}}^2$  – дисперсия фонового шума,  $\alpha$  – декремент затухания непериодической АКФ, а  $\beta$  – круговая частота периодической составляющей АКФ.

В рамках аддитивной модели (1) решение об обнаружении изображения объекта принимается путем сравнения с порогом значения статистики, формируемой оптимальным фильтром с частотным коэффициентом передачи (ЧКП) [8]:

$$H(\omega_x, \omega_y) = \frac{CS^*(\omega_x, \omega_y)}{|N(\omega_x, \omega_y)|^2} e^{-i(\omega_x x_0 + \omega_y y_0)}, \quad (5)$$

где  $H(\omega_x, \omega_y)$  – преобразование Фурье от импульсной характеристики  $\lambda(x, y)$  фильтра,  $S^*(\omega_x, \omega_y)$  – комплексно сопряженный спектр функции  $s(x, y)$ ,  $|N(\omega_x, \omega_y)|^2$  – спектральная плотность мощности (энергетический спектр) шума  $n(x, y)$ ,  $x_0, y_0$  – координаты центра тяжести изображения,  $C$  – нормирующий множитель.

В случае получения на изображении белого шума  $|N(\omega_x, \omega_y)|^2 = N_0 = \text{const}$ , сам фильтр становится согласованным с полученным сигналом  $s(x, y)$  и формирует на своем выходе отклик в виде ВКФ входного и эталонного сигналов. Если же энергетический спектр фона неравномерен, то оптимальный фильтр (5) может быть представлен последовательным соединением двух звеньев (рис. 7): фоновоподавляющего (обеляющего) звена с ЧКП

$$H_{\text{fn}}(\omega_x, \omega_y) = \frac{C}{|N(\omega_x, \omega_y)|^2} \quad (6)$$

и согласованного звена с ЧКП

$$H_c(\omega_x, \omega_y) = \frac{S^*(\omega_x, \omega_y)}{N_0} e^{-i(\omega_x x_0 + \omega_y y_0)}, \quad (7)$$

Фоновоподавляющее звено является инверсным фильтром и служит для выравнивания спектра фона.

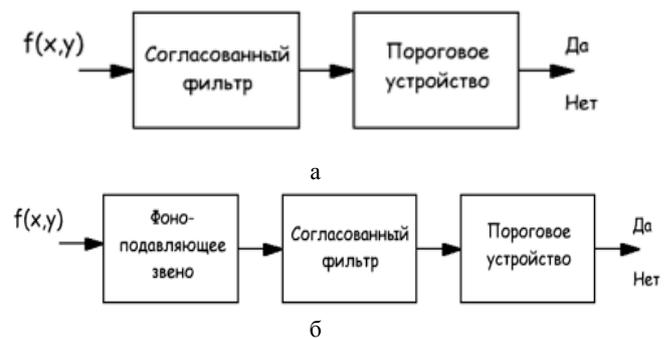


Рис. 7 – Структуры оптимальных обнаружителей изображения объекта на фоне помех: а – с равномерным энергетическим спектром, б – с энергетическим спектром произвольной формы

В рамках аддитивно-мультипликативной модели (3), несмотря на ее значительно более сложный, чем у аддитивной модели (2), вид, ЧКП оптимального фильтра усложняется незначительно [8]

$$H(\omega_x, \omega_y) = \frac{CS^*(\omega_x, \omega_y)}{N_0 |G(\omega_x, \omega_y)|^2} e^{-i(\omega_x x_0 + \omega_y y_0)}, \quad (8)$$

где  $|G(\omega_x, \omega_y)|^2$  – энергетический спектр функции фона  $g(x, y)$ ,  $X_0$  и  $y_0$  – координаты центра изображения объекта. Согласованное звено оптимального фильтра не изменилось, а ЧКП фоноподавляющего звена приобрел вид

$$H_{\phi n}(\omega_x, \omega_y) = \frac{C}{|G(\omega_x, \omega_y)|^2} \quad (9)$$

Задача обнаружения начальной точки контура изображения объекта в рамках модели (3) ставится аналогично задаче обнаружения самого объекта, только вместо функции яркости всего изображения  $s(x, y)$  обнаруживается наличие в смеси (3) функции яркости  $\gamma(x, y)$  только границы  $\Gamma$ . Обнаружитель, проводя анализ функции яркости  $f(x, y)$  сцены  $F$ ,

должен обоснованно выбрать одну из альтернативных гипотез:

гипотеза I –

$$f(x, y) = g_0 + \gamma(x, y) + g(x, y)n(x, y);$$

гипотеза II –

$$f(x, y) = g_0 + g(x, y)n(x, y); \quad (10)$$

В начале анализа предполагается справедливость второй гипотезы, т.е. окно фильтра обнаружителя заведомо расположено в области фона. Фильтр обнаружителя начальной точки контура изображения должен содержать два звена (без учета фазового звена  $e^{-i(\omega_x X_0 + \omega_y Y_0)}$ ): фоноподавляющее и согласованное с формой скачка яркости на границе фон/объект (рис. 8).

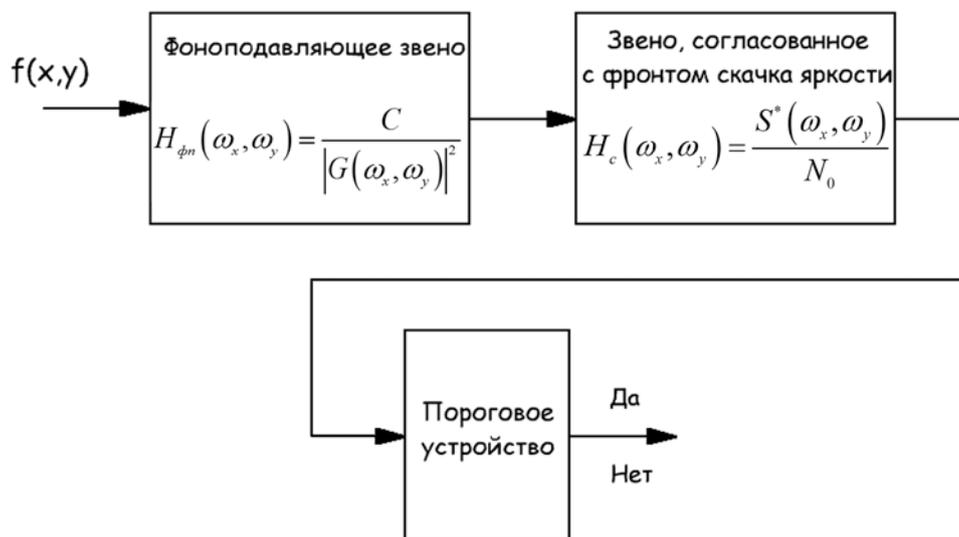


Рис. 8 – Структура обнаружителя начальной точки контура изображения

Для дальнейшего анализа изображения эффективным оказался переход из полученного пространства контуров в пространство площадей путем выполнения операции заливки. Замкнутые контуры образуют целостные площади, тогда как разомкнутые контуры будут отсеяны на этапе постобработки. Пулевые отверстия и отметки от лазерного излучателя при правильном выборе параметров детектора контуров будут давать целостный замкнутый контур (рис. 9).

На этапе постобработки контуров целесообразно также применять операции математической морфологии. Для того, чтобы избавиться от незамкнутых линий на изображении, применима операция морфологической эрозии [1] с использованием малого крестообразного структурирующего элемента.

При выполнении операции эрозии структурный элемент проходит по всем пикселям изображения. Если в некоторой позиции каждый единичный пиксель структурного элемента совпадет с единичным пикселем бинарного изображения, то выполняется логическое сложение сигнала центрального пикселя структурного элемента с сигналом соответствующего пикселя выходного изображения. В результате применения операции эрозии все объекты, меньшие чем структурный элемент, стираются, объекты, соединённые тонкими линиями, становятся разъединёнными и размеры всех объектов уменьшаются.

Результат применения эрозии с использованием крестообразного структурного элемента к анализируемому изображению представлен на рис. 10.

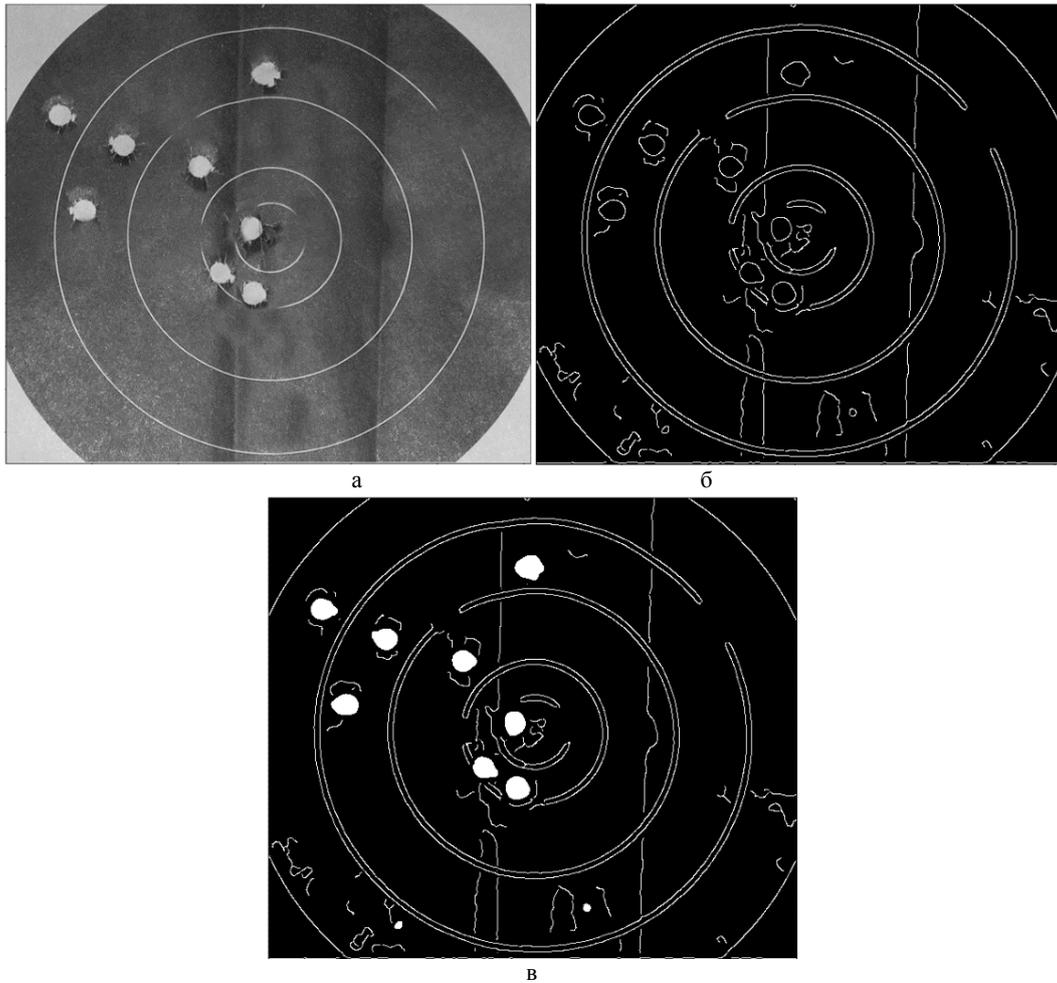


Рис. 9 Заливка замкнутых контуров исследуемого изображения: а – исходное изображение, б – контурное представление, в – заливка цельных контуров

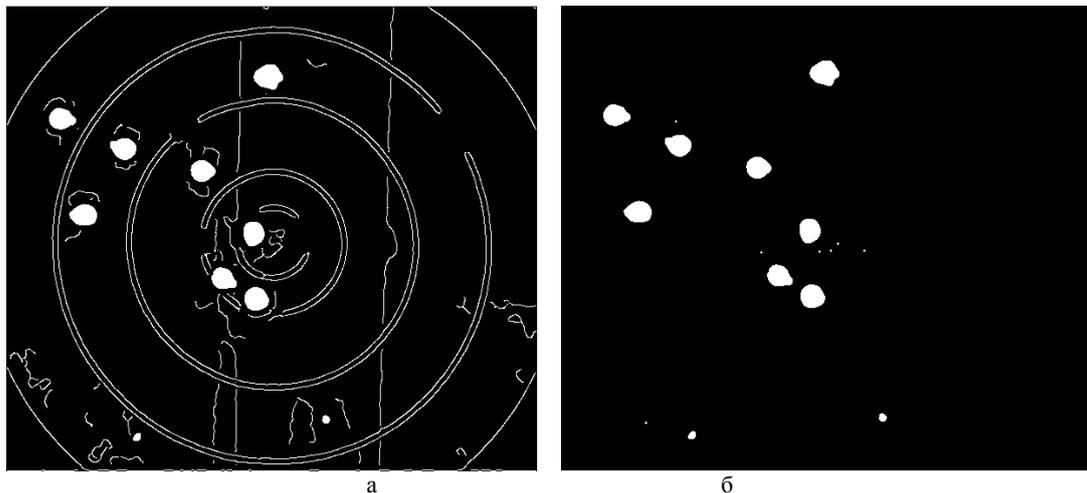


Рис. 10 – Применение операции морфологической эрозии к анализируемому изображению: а – исходное изображение, б – после эрозии

И последним этапом контурного анализа изображений в МСТ является принятие решения – определение координат центров округлых объектов и их диаметров. Выполняется это при помощи сравнения площадей и фактора формы рассматриваемых объектов.

На рис. 11 приведены изображения лазерного луча и пулевого отверстия, а также их контурные представления.

На рис. 12 показан результат проведенных операций.

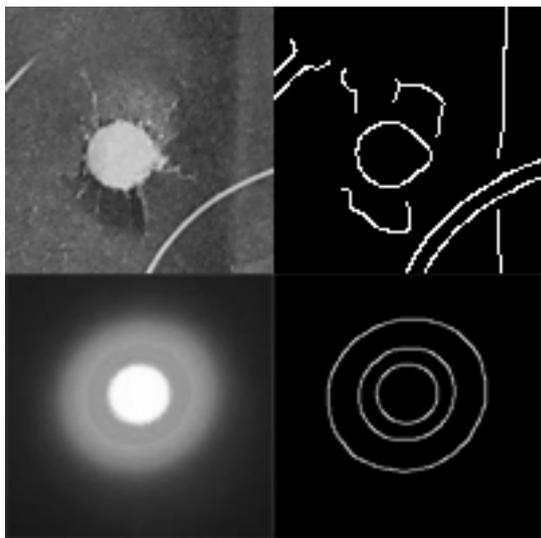


Рис. 11 – Контурные представления основных информационных объектов на изображении МСТ – пулевой пробоины и лазерного луча

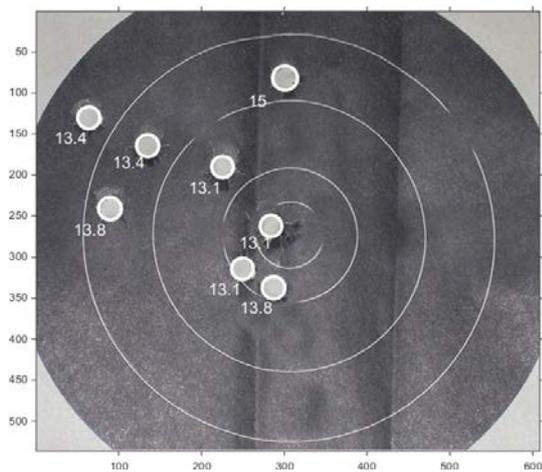


Рис. 12 – Расположение пулевых отверстий на фоне исходного изображения

**Анализ эффективности предложенного метода.** Предложенный метод был реализован и протестирован с использованием мультимедийного стрелкового тренажера кафедры «Медиаинженерии и информационных радиоэлектронных систем» Харьковского национального университета радиоэлектроники. Ра-

нее в системе обработки тренажера применялся метод покадрового вычитания для определения новых объектов на слабо изменяющемся фоне. Полученное разностное изображение позволяло определить координаты точки попадания лазерного луча или пулевых отверстий. Однако, слабое освещение в тирах и собственные шумы камеры не позволяли определять пулевые отверстия на темных фонах, из-за чего было предложено применение инфракрасной подсветки за проекционным экраном и соответствующего светофильтра на видеокамере. Из-за этого технического решения приходилось использовать две разных камеры с разными светофильтрами, что увеличивало стоимость конструкции и усложняло ее.

Контурный анализ изображений позволяет использовать всего один комплект видеоаппаратуры без применения дополнительной системы подсветки пулевых отверстий. Во время тестирования данного метода было выявлено, что он имеет лучшие характеристики правильного обнаружения в случае использования сцен с неоднородным динамическим фоном, тогда как метод покадрового вычитания показал неспособность отслеживания целей при быстро изменяющемся изображении.

### Выводы

1. Предложен метод и разработан сопутствующий программный комплекс для МСТ, позволяющий упростить и удешевить существующую систему. Предложенный метод основан на применении контурного анализа изображения, принимаемого со стационарной видеокамеры.

2. Экспериментально выведены оптимальные характеристики применяемых в блоке обработки видеокамер и параметры фильтров для максимизации характеристики правильного обнаружения системы и минимизации ложного срабатывания.

3. Определено, что использование разработанной методики анализа изображений в МСТ позволяет обрабатывать изображения с динамически изменяющимся фоном, что позволяет расширить функционал новыми тренировочными видеосюжетами и использовать более сложные видеосюжеты с использованием уровневой структуры современной игровой индустрии.

### Список литературы:

1. *Беляев, А. В.* Обнаружение объектов заданной формы и определение их координат на изображении в мультимедийном стрелковом тренажере [Текст] / *А. В. Беляев, В. М. Карташов* // Системы обработки информации. – 2015. – № 10 (135). – С. 16–21.
2. *Беляев, А. В.* Обработка сигналов в универсальном мультимедийном стрелковом тренажере [Текст] / *А. В. Беляев, О. В. Зубков, В. М. Карташов, К. С. Тарасов* // Вестник НТУ «ХПИ». – 2017. – № 16 (1238) – С. 23–29.
3. *Беляев, А. В.* Стробирование отметок движущихся объектов в системе обработки изображений со стационарной видеокамерой [Текст] / *А. В. Беляев, В. М. Карташов, Ф. А. Лутуангу* // ScienceRise. – 2017. – № 3. – С. 66–71. doi: [10.15587/2313-8416.2017.96524](https://doi.org/10.15587/2313-8416.2017.96524)
4. *Burlachenko, I.* Devising a method for the active coordination of video cameras in optical navigation based on the multi-agent approach [Text] / *I. Burlachenko, I. Zhuravska, M. Musiyenko* // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2017. – Vol. 1, Issue 9 (85). – P. 17–25. doi: [10.15587/1729-4061.2017.90863](https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.90863)
5. *Tsymporenko, V.* Development of direct method of direction finding with two-dimensional correlative processing of spatial signal [Text] / *V. Tsymporenko, V. Tsymporenko* // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2016. – Vol. 6, Issue 9 (84). – P. 63–70. doi: [10.15587/1729-4061.2016.85599](https://doi.org/10.15587/1729-4061.2016.85599)
6. *Elachi, C.* Spaceborne synthetic-aperture imaging radars: Applications, techniques, and technology [Text] / *C. Elachi, T. Bicknell, R. L. Jordan, C. Wu* // Proceedings of the IEEE. – 1982. – Vol. 70, Issue 10. – P. 1174–1209. doi: [10.1109/proc.1982.12448](https://doi.org/10.1109/proc.1982.12448)
7. *Sotnikov, A.* A method for localizing a reference object in a current image with several bright objects [Text] / *A. Sotnikov, V. Tarshyn, N. Yeromina, S. Petrov, N. Antonenko* // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2017. – Vol. 3, Issue 9 (87). – P. 68–74. doi: [10.15587/1729-4061.2017.101920](https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.101920)

8. Trabka, E. A. Shape Detection using Incoherent Illumination\* [Text] / E. A. Trabka, P. G. Roetling // Journal of the Optical Society of America. – 1967. – Vol. 57, Issue 1. – P. 108. doi: [10.1364/josa.57.000108](https://doi.org/10.1364/josa.57.000108)
9. Василенко, Г. И. Голографическое опознавание образов [Текст] / Г. И. Василенко. – М.: Сов. радио, 1977. – 328 с.
10. Сергеев, Г. А. Статистические методы исследования природных объектов [Текст] / Г. А. Сергеев, Д. А. Янущи. – Л.: Гидрометеиздат, 1973. – 300 с.

#### Bibliography (transliterated):

1. Bieliaiev, O. V., Kartashov, V. M. (2015). Obnaruzhenie ob'ektov zadannoy formy i opredelenie ih koordinat na izobrazheniy v mul'timediyenom strelkovom trenazhere [Objects detection and determination of their coordinates on the image in a multimedia shooting simulator]. Information processing systems, 10 (135), 16–21.
2. Bieliaiev, O. V., Zubkov, O. V., Kartashov, V. M., Tarasov, K. S. (2017). Signal processing in the universal multimedia shooting simulator. Vestnik NTU "KhPI", 16 (1238), 23–29.
3. Bieliaiev, O., Kartashov, V., Loutouangou, F. (2017). Strobing the moving objects marks in the image processing system with stationary video camera. ScienceRise, 3, 66–71. doi: [10.15587/2313-8416.2017.96524](https://doi.org/10.15587/2313-8416.2017.96524)
4. Burlachenko, I., Zhuravska, I., Musiyenko, M. (2017). Devising a method for the active coordination of video cameras in optical navigation based on the multi-agent approach. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 1 (9 (85)), 17–25. doi: [10.15587/1729-4061.2017.90863](https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.90863)
5. Tsymporenko, V., Tsymporenko, V. (2016). Development of direct method of direction finding with two-dimensional correlative processing of spatial signal. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 6 (9 (84)), 63–70. doi: [10.15587/1729-4061.2016.85599](https://doi.org/10.15587/1729-4061.2016.85599)
6. Elachi, C., Bicknell, T., Jordan, R. L., Wu, C. (1982). Spaceborne synthetic-aperture imaging radars: Applications, techniques, and technology. Proceedings of the IEEE, 70 (10), 1174–1209. doi: [10.1109/proc.1982.12448](https://doi.org/10.1109/proc.1982.12448)
7. Sotnikov, A., Tarshyn, V., Yeromina, N., Petrov, S., Antonenko, N. (2017). A method for localizing a reference object in a current image with several bright objects. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 3 (9 (87)), 68–74. doi: [10.15587/1729-4061.2017.101920](https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.101920)
8. Trabka, E. A., Roetling, P. G. (1967). Shape Detection using Incoherent Illumination\*. Journal of the Optical Society of America, 57 (1), 108. doi: [10.1364/josa.57.000108](https://doi.org/10.1364/josa.57.000108)
9. Vasilenko, G. I. (1977). Golograficheskoe opoznavanie obrazov. Moscow: Sov. radio, 328.
10. Sergeev, G. A., Yanutsh, D. A. (1973). Statisticheskie metody issledovaniya prirodnih ob'ektov. Leningrad: Gidrometeoizdat, 300.

Поступила (received) 11.07.2017

#### Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

**Застосування методу контурного аналізу зображень в системі обробки мультимедійного стрілецької тренажера/ Беляєв О. В., Зубков О. В., Карташов В. М.** // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2017. – № 20(1242). – С.109–118. – Бібліогр.: 10 назв. – ISSN 2079-5459.

**Применение метода контурного анализа изображений в системе обработки мультимедийного стрелкового тренажера/ Беляев А. В., Зубков О. В., Карташов В. М.** // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2017. – № 20(1242). – С.109–118. – Бібліогр.: 10 назв. – ISSN 2079-5459.

**Application of the method of contour analysis of images in the processing system of a multimedia shooting simulator/ Bieliaiev O., Zubkov O., Kartashov V.** //Bulletin of NTU “KhPI”. Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU “KhPI”, 2017. – № 20 (1242).– P.109–118. – Bibliogr.:10. – ISSN 2079-5459

#### Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

**Беляєв Олексій Володимирович** – аспірант, асистент кафедри Медіаінженерії та інформаційних радіоелектронних систем, Харківський національний університет радіоелектроніки, пр. Науки, 14, м. Харків, Україна, 61166; e-mail: [oleksii.bieliayev@nure.ua](mailto:oleksii.bieliayev@nure.ua).

**Зубков Олег Вікторович** – кандидат технічних наук, доцент кафедри Медіаінженерії та інформаційних радіоелектронних систем, Харківський національний університет радіоелектроніки, пр. Науки, 14, м. Харків, Україна, 61166; e-mail: [oleh.zubkov@nure.ua](mailto:oleh.zubkov@nure.ua).

**Карташов Володимир Михайлович** – доктор технічних наук, завідувач кафедри Медіаінженерії та інформаційних радіоелектронних систем, Харківський національний університет радіоелектроніки, пр. Науки, 14, м. Харків, Україна, 61166; te-mail: [volodymyr.kartashov@nure.ua](mailto:volodymyr.kartashov@nure.ua).

**Беляєв Алексей Владимирович** – аспірант, асистент кафедри Медіаінженерии и информационных радиоэлектронных систем, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, пр. Науки, 14, г. Харьков, Украина, 61166; тел. 093-13-32-729; e-mail: [oleksii.bieliayev@nure.ua](mailto:oleksii.bieliayev@nure.ua).

**Зубков Олег Викторович** – кандидат технических наук, доцент кафедры Медіаінженерии и информационных радиоэлектронных систем, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, пр. Науки, 14, г. Харьков, Украина, 61166; e-mail: [oleh.zubkov@nure.ua](mailto:oleh.zubkov@nure.ua).

**Карташов Владимир Михайлович** – доктор технических наук, заведующий кафедры Медіаінженерии и информационных радиоэлектронных систем, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, пр. Науки, 14, г. Харьков, Украина, 61166; e-mail: [volodymyr.kartashov@nure.ua](mailto:volodymyr.kartashov@nure.ua).

**Belyayev Alexey** – postgraduate student, assistant of the Department of Media Engineering and Information Radioelectronic Systems, Kharkov National University of Radio Electronics, 14 Nauka Avenue, Kharkov, Ukraine, 61166; E-mail: [oleksii.bieliayev@nure.ua](mailto:oleksii.bieliayev@nure.ua).

**Zubkov Oleg** – PhD, associate professor of the Department of Media Engineering and Information Radioelectronic Systems, Kharkov National University of Radioelectronics, 14 Nauka Avenue, Kharkov, Ukraine, 61166; E-mail: oleh.zubkov@nure.ua.

**Kartashov Volodymyr** – Doctor of technical sciences, professor, Head of the Department of Media Engineering and Information Radioelectronic Systems, Kharkov National University of Radioelectronics, 14 Nauka Avenue, Kharkov, Ukraine, 61166; E-mail: volodymyr.kartashov@nure.ua.

УДК 004.853

**В. О. ЛІСКІН**

## ТЕХНОЛОГІЯ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦІЇ СТВОРЕННЯ КОНТЕНТУ СИСТЕМ КОМП'ЮТЕРНОГО НАВЧАННЯ

Проведено класифікацію систем комп'ютерного навчання. Досліджено поняття «онтологічного інжинірингу». Доведено актуальність розробки засобів автоматизації створення контенту. В роботі запропоновано метаонтологію навчальної дисципліни та модель тестового запитання. Модель тестового запитання дозволяє розробити алгоритми автоматичного генерування тестових запитань і контрольних робіт. Розроблену технологію узгоджено з таксономією Блюма та психологічними теоріями сприйняття навчального контенту. Експериментальне дослідження виявило кореляцію між розробленими методами автоматизованої перевірки знань з традиційними методами.

**Ключові слова:** інформаційна технологія, електронне навчання, дистанційне навчання, навчальний контент, метаонтологія, бази знань.

Проведена классификация систем компьютерного обучения. Исследовано понятие «онтологического инжиниринга». Доказана актуальность разработки средств автоматизации создания контента.

В работе предложено метаонтологию учебной дисциплины и модель тестового вопроса. Модель тестового вопроса позволяет разработать алгоритмы автоматического генерирования тестовых вопросов и контрольных работ.

Разработанную технологию согласован с таксономией Блума и психологическими теориями восприятия учебного контента.

Экспериментальное исследование выявило корреляцию между разработанными методами автоматизированной проверки знаний с традиционными методами.

**Ключевые слова:** информационная технология, электронное обучение, дистанционное обучение, учебный контент, метаонтология.

In this article, a classification of e-learning systems has been conducted. The “ontological engineering” term is researched. The relevance of development of means for automatization of content creation is grounded with proof.

This work proposes a metaontology of learning disciplines and the model for a test question. The metaontology of a learning disciplines is constituted of the didactic and content parts. The didactic part implements cross-subject connections, while the content part represents the knowledge of certain disciplines. The test question model allows developing algorithms for automatic generation of test and test questions.

The developed technology is matched with Bloom's taxonomy and psychological theories of content perception. The basis for an ontology driven management system is an engine, which ensures synchronous content playback and supports learning in a two-windowed mode. The educational application of ontology driven learning information technologies is based on granting lecture lessons with an additional motivational component, creation of computer based support of unsupervised work, automatization of knowledge level control tasks, which would allow to create more time for individual interaction between the student and the teacher.

The conducted experimental research has shown a correlation between the developed methods of automated knowledge testing and traditional methods.

**Keywords:** Information technology, e-learning, distance learning, educational content, metaontology.

**Вступ.** Розвиток сучасного суспільства характеризується постійно зростаючою роллю інформаційних технологій в усіх сферах людської діяльності. В останні роки об'єми інформації та знань збільшились в багато разів, що призвело до необхідності пошуку нових способів зберігання, представлення, формалізації, систематизації та автоматичної обробки інформації в комп'ютерних системах.

Пріоритетом концепції освіти є навчання через усе життя, основна форма якої – самостійна робота. При цьому значно зростає роль систем комп'ютерного навчання та дистанційної освіти як основного засобу навчання.

В той же час процес модернізації системи освіти який проходить в руслі Євроінтеграційних прагнень України та зростаюча кількість інформації виявила тренд до скорочення аудиторних годин і відповідно до зменшення часу на спілкування студентів із викладачем. У всьому світі визнано, що найбільш якісна освіта є при співвідношенні взаємодії одного викладача із одним студентом. Зазначені проблеми у освітній сфері можуть бути вирішені шляхом запрова-

дження у процес навчання вищих навчальних закладів України систем дистанційної освіти.

**Аналіз літературних даних та постановка проблеми.** З входженням у європейський освітній простір в Україні розвивається дистанційне навчання, яке регламентується з 2013 року положенням МОН України. Дистанційне навчання – це індивідуалізований процес набуття знань, умінь, навичок і способів пізнавальної діяльності людини, який відбувається в основному за опосередкованої взаємодії віддалених один від одного учасників навчального процесу у спеціалізованому середовищі, яке функціонує на базі сучасних психолого-педагогічних та інформаційно-комунікаційних технологій [1].

Під дистанційним навчанням розуміється взаємодія викладачів та студентів на відстані, що відбиває цілі, методи, організаційні форми і засоби навчання, реалізовані засобами інтерактивних технологій та представлені системами управління навчанням [2].

Електронне навчання сприяє створенню умов для розвитку особистісних якостей студентів в процесі освіти. Воно розглядається як спосіб підвищення

© В. О. Ліскін. 2017