

Верещага Віктор Михайлович – доктор технічних наук, професор кафедри прикладної математики та інформаційних технологій Мелітопольського державного педагогічного університету ім. Богдана Хмельницького; вул. Гетьманська, 20, м. Мелітополь, Україна, 72300; e-mail: vervik49@gmail.com.

Лисенко Ксенія Юрївна – магістрант, кафедра прикладної математики та інформаційних технологій Мелітопольського державного педагогічного університету ім. Богдана Хмельницького; вул. Гетьманська, 20, м. Мелітополь, Україна, 72300; e-mail: vervik49@gmail.com.

Адоньев Евгений Александрович – кандидат технических наук, доцент, декан Экономико-гуманитарного факультета Запорожского национального университета в г. Мелитополье; ул. Героев Украины, 160А, г. Мелитополь, Украина, 72316, e-mail: evgen.adoniev@gmail.com.

Верещага Виктор Михайлович – доктор технических наук, профессор кафедры прикладной математики и информационных технологий Мелитопольского государственного педагогического университета им. Богдана Хмельницкого; ул. Гетьманская, 20, г. Мелитополь, Украина, 72300; e-mail: vervik49@gmail.com.

Лысенко Ксения Юрьевна – магистрант, кафедра прикладной математики и информационных технологий Мелитопольского государственного педагогического университета им. Богдана Хмельницкого; ул. Гетьманская, 20, г. Мелитополь, Украина, 72300; e-mail: vervik49@gmail.com.

Adoniev Yvhen – PhD, associate professor, dean of the Economics and Humanities Faculty of the Zaporizhzhya National University in Melitopol. Heroiv Ukrainy str., 160A, Melitopol, Ukraine, 72316.

Vereshchaga Viktor – Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Applied Mathematics and Information Technologies of the Melitopol State Pedagogical University named after Bohdan Khmelnytsky; Getmansky str., 20, Melitopol, Ukraine, 72300; e-mail: vervik49@gmail.com.

Lysenko Ksenia – Master of Science, Department of Applied Mathematics and Information Technologies of the Melitopol State Pedagogical University named after Bohdan Khmelnytsky; Getmansky str., 20, Melitopol, Ukraine, 72300; e-mail: vervik49@gmail.com.

УДК 621.397.48 : 004.932.2

А. В. БЕЛЯЕВ, О. В. ЗУБКОВ, К. С. ТАРАСОВ, В. М. КАРТАШОВ

ОБРАБОТКА СИГНАЛОВ В УНИВЕРСАЛЬНОМ МУЛЬТИМЕДИЙНОМ СТРЕЛКОВОМ ТРЕНАЖЕРЕ

Методом теории статистических решений в статье синтезированы оптимальные алгоритмы обработки сигналов в мультимедийном стрелковом тренажере. В статье приводится краткий анализ моделей сигналов и помех, которые встречаются в рассматриваемой системе. В ходе статьи был предложен алгоритм оптимального обнаружения «пробоины», полученной в результате воздействия стрелкового оружия, или обнаружения светового пятна, образуемого лучом лазерного имитатора оружия. Синтезированный оптимальный алгоритм позволяет формировать максимально правдоподобные оценки пространственных координат центра светового пятна или пробоины на экране стрелкового комплекса.

Ключевые слова: обработка изображений, алгоритмы слежения, распознавание образов, оптимальное обнаружение, стрелковый тренажер.

Методом теорії статистичних рішень в статті синтезовані оптимальні алгоритми обробки сигналів в мультимедійному стрілецькому тренажері. У статті наводиться короткий аналіз моделей сигналів і перешкод, які зустрічаються в даній системі. В ході статті був запропонований алгоритм оптимального виявлення «пробоїни», отриманої в результаті впливу стрілецької зброї, або виявлення світлового плями, утвореного променем лазерного імітатора зброї. Синтезований оптимальний алгоритм дозволяє формувати максимально правдоподібні оцінки просторових координат центру світлової плями або пробоїни на екрані стрілецького комплексу.

Ключові слова: обробка зображень, алгоритми стеження, розпізнавання образів, оптимальне виявлення, стрілецький тренажер.

By the method of the theory of statistical solutions, optimal algorithms for signal processing in a multimedia rifle simulator are synthesized in the article. The article provides a brief analysis of the signal and interference patterns that are encountered in the system under consideration. In the course of the article, an algorithm was proposed for the optimal detection of a "hole", obtained as a result of the impact of small arms, or the detection of a light spot formed by a laser imitator beam of a weapon. The synthesized optimal algorithm allows to form the most plausible estimates of the spatial coordinates of the center of the light spot or holes on the screen of the shooting

Keywords: image processing, tracking algorithms, IMAGE recognition, optimal detection, shooting trainer.

Введение. При обработке и анализе изображений встречаются задачи обнаружения фрагмента с известными параметрами (фрагмент – элемент изображения, содержащий искомый объект, символ и т.п.), а также задачи измерения пространственных координат таких фрагментов [1]. Существует значительное количество методов решения подобных задач, основанных на фильтрации изображений [2], корреляционной обработке [3, 4], на использовании искусственных нейронных сетей и методов нечеткой логики и так далее. Однако, вычислительная эффективность и результаты решения задач обнаружения этими методами не идентичны.

К системам, в которых решаются подобные задачи обнаружения и измерения, относятся мультимедийные стрелковые тренажеры [5,6]. В них на фоне изменяющегося и, чаще всего, неоднородного видеозображения проводится поиск мелкомасштабных объектов – пулевых отверстий. Мультимедийные стрелковые тренажеры, называемые «универсальными», обеспечивают работу системы в двух режимах: боевом, с использованием реального или пневматического оружия, и в режиме имитации стрельбы, с использованием лазерных насадок.

© А. В. Беляев, О. В. Зубков, К. С. Тарасов, В. М. Карташов.
2017

Модели сигналов и помех. Рассмотрим задачу обнаружения-измерения в применении к двумерному сигналу (изображению) $s(x,y)$. Пусть наблюдаемый сигнал является смесью полезного сигнала $e(x,y)$, аддитивной помехи $c(x,y)$ и шума сенсора $n(x,y)$

$$s(x,y) = e(x,y) + c(x,y) + n(x,y). \quad (1)$$

Задачу обработки сформулируем следующим образом: по реализации $s(x,y)$, доступной наблюдению, необходимо принять решение о наличии в составе $e(x,y)$ искомого фрагмента и оценить пространственные координаты этого фрагмента в пределах изображения.

В данном случае искомым сигналом $s_0(x,y)$ является пятно от лазерного излучателя на мишени или пулевая пробоина, аддитивной помехой $c(x,y)$ – видеоизображение, проецируемое на мишень, и фоновая засветка мишени посторонними источниками света. Компонент смеси $n(x,y)$ представлен шумом регистрирующего устройства – видеокamеры.

Для решения задачи обнаружения искомого сигнала $s_0(x,y)$ необходимо описать его форму и размеры. В случае работы стрелкового тренажера в боевом режиме необходимо придерживаться тех размеров пулевых отверстий, которые оставляет на полотне мишени конкретный вид патронов. Однако, форма пулевого отверстия может незначительно меняться от выстрела к выстрелу: в зависимости от угла попадания в мишень и материала полотна мишени. Кроме того, вероятность и точность определения пулевого отверстия зависит от разрешающей способности системы и выбранного алгоритма в случае попадания пули в непосредственной близости от одного из пулевых отверстий от предыдущих стрельб.

В режиме имитации стрельбы размер лазерного луча будет зависеть от расстояния. В идеальном случае лазерный луч оставляет на мишени отметку в виде точки. Такую отметку можно представить в виде двумерной дельта-функции $e(x,y) = \delta(x,y)$. Этот случай соответствует лазерному лучу бесконечно малого поперечного сечения, распространяющемуся в однородной изотропной среде и падающему на поверхность мишени под прямым углом. Очевидно, что в реальной системе подобные упрощения неприменимы. Реальный лазерный излучатель имеет оптическую систему с функцией рассеяния точки (ФРТ) $h_1(x,y)$ [7]. Изображение пятна на мишени может быть определено следующим образом

$$e_m(x,y) = \delta(x,y) \otimes h_1(x,y), \quad (2)$$

где \otimes - символ свертки. В то же время, регистрирующая видеокamera также имеет оптическую систему с некоторой ФРТ $h_2(x,y)$. В результате наблюдаемое камерой изображение получит вид

$$e(x,y) = e_m(x,y) \otimes h_2(x,y). \quad (3)$$

Тогда

$$e(x,y) = (\delta(x,y) \otimes h_1(x,y)) \otimes h_2(x,y).$$

Поскольку

$$\delta(x,y) \otimes h_1(x,y) = h_1(x,y), \quad (4)$$

то изображение искомого пятна на плоской поверхности мишени можно записать в виде

$$e(x,y) = h_1(x,y) \otimes h_2(x,y). \quad (5)$$

Следовательно, вид пятна определяется только характеристиками оптических систем лазера и регистрирующей камеры. В настоящей статье формы лазерного пятна и пулевой пробоины приняты близкими к идеальным.

Алгоритм обнаружения сигнального пятна. В мультимедийном стрелковом комплексе синтез алгоритмов обработки сигналов рассматривается применительно к двоично квантованному изображению, что дает возможность значительно повысить их быстродействие. Задача обнаружения пятна двоично квантованных сигналов с точки зрения теории статистических решений формулируется следующим образом.

Рассмотрим следующую выборку значений огибающей

$$\begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1N} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2N} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{N1} & a_{N2} & \dots & a_{NN} \end{pmatrix},$$

на $N \times N$ соседних позициях развертки фотоприемника камеры. Каждое из выборочных значений a_{mn} подвергается затем двоичному квантованию по амплитуде путем сравнения с пороговым уровнем a_l (рис. 1).

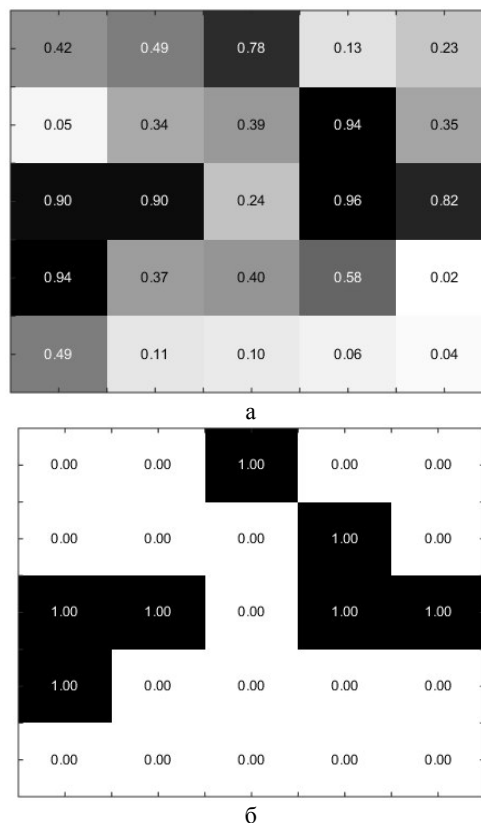


Рис. 1 – Пороговая обработка изображения: а – исходная матрица; б – матрица после применения операции бинаризации

Принято, что результат единичного сравнения a_{mn} будет положительным, если соответствующее выборочное значение превышает порог ($a_{mn}=1$), и отрицательным, если порог не превышает ($a_{mn}=0$).

Таким образом, совокупность результатов квантования будет представлять собой последовательность нулей и единиц. В связи с этим, решающему алгоритму необходимо будет на основе анализа принятой выборки нулей и единиц решить оптимальным образом вопрос – представляет ли эта выборка пятно полезного сигнала или она относится к помехе.

Для решающего алгоритма решение этого вопроса сводится к проверке гипотезы H_0 об отсутствии полезного сигнала против альтернативной гипотезы H_1 о его наличии, то есть к образованию отношения правдоподобия и сравнению этого отношения с некоторым заданным числом, выбираемым исходя из априорной вероятности наличия сигнала и потерь, приписываемых ошибочным решениям (критерий среднего риска), или исходя из допустимой вероятности ложного обнаружения (критерий Неймана - Пирсона) [8, 9].

Прежде всего, синтезу алгоритма обнаружения необходимо определить функцию правдоподобия гипотез H_0 и H_1 . Пусть p_{mn} – вероятность получения единицы на позиции (m,n) пачки, а q_{mn} – вероятность получения нуля на этой позиции. Вероятность получения любого из двух возможных исходов в результате испытания с номером (m,n) запишется в следующем виде

$$P(a_{mn}) = p_{mn}^{a_{mn}} q_{mn}^{1-a_{mn}}. \quad (6)$$

В дальнейшем будем считать выборки огибающей статистически независимыми. Совместная же вероятность получения некоторой комбинации нулей и единиц на всех N^2 позициях пачки будет равна

$$P(a_{11} \dots a_{NN}) = \prod_{m=1}^N \prod_{n=1}^N p_{mn}^{a_{mn}} q_{mn}^{1-a_{mn}}. \quad (7)$$

Исходя из формулы (7) можно записать выражение для условной вероятности любой комбинации нулей и единиц при наличии и отсутствии полезного сигнала.

Выражение для условной вероятности при наличии полезного сигнала будет иметь следующий вид

$$P(a_{11} \dots a_{NN} | H_1) = \prod_{m=1}^N \prod_{n=1}^N p_{S_{mn}}^{a_{mn}} q_{S_{mn}}^{1-a_{mn}}, \quad (8)$$

где $p_{S_{mn}}$ – вероятность получения единицы на позиции (m,n) сигнального пятна, а $q_{S_{mn}} = 1 - p_{S_{mn}}$.

А вот при отсутствии сигнала выражение приобретет такой вид

$$P(a_{11} \dots a_{NN} | H_0) = \prod_{m=1}^N \prod_{n=1}^N p_{N_{mn}}^{a_{mn}} q_{N_{mn}}^{1-a_{mn}}, \quad (9)$$

где $p_{N_{mn}}$ – вероятность получения единицы на позиции (m,n) в области помехи, одинаковая для всех (m,n) , а $q_{N_{mn}} = 1 - p_{N_{mn}}$.

Обозначим заданный порог обнаружения l_0 . В таком случае, с учетом выражений (8) и (9), условие оптимального обнаружения пятна запишется в виде

$$\prod_{m=1}^N \prod_{n=1}^N \left(\frac{p_{S_{mn}}}{p_N} \right)^{a_{mn}} \left(\frac{q_{S_{mn}}}{q_N} \right)^{1-a_{mn}} \geq l_0 \quad (10)$$

После логарифмирования левой и правой частей неравенства (10), имеем

$$\sum_{m=1}^N \sum_{n=1}^N \left[a_{mn} \ln \frac{p_{S_{mn}}}{p_N} + (1 - a_{mn}) \ln \frac{q_{S_{mn}}}{q_N} \right] \geq \ln l_0$$

Выполнив необходимые преобразования в последнем выражении, получим

$$\sum_{m=1}^N \sum_{n=1}^N a_{mn} \ln \frac{p_{S_{mn}} q_N}{p_N q_{S_{mn}}} \geq \ln l_0 - \sum_{m=1}^N \sum_{n=1}^N \ln \frac{q_{S_{mn}}}{q_N} \quad (11)$$

Приняв в выражении (6) следующие обозначения

$$\eta = \ln \frac{p_{S_{mn}} q_N}{p_N q_{S_{mn}}};$$

$$k = \ln l_0 - \sum_{m=1}^N \sum_{n=1}^N \ln \frac{q_{S_{mn}}}{q_N},$$

получим для алгоритма оптимального обнаружения пачки двоично квантованных сигналов окончательную формулу

$$\sum_{m=1}^N \sum_{n=1}^N a_{mn} \eta \geq k \quad (12)$$

Алгоритм оптимального обнаружения пачки квантованных сигналов, в соответствии с формулой (12), сводится к выполнению следующих операций.

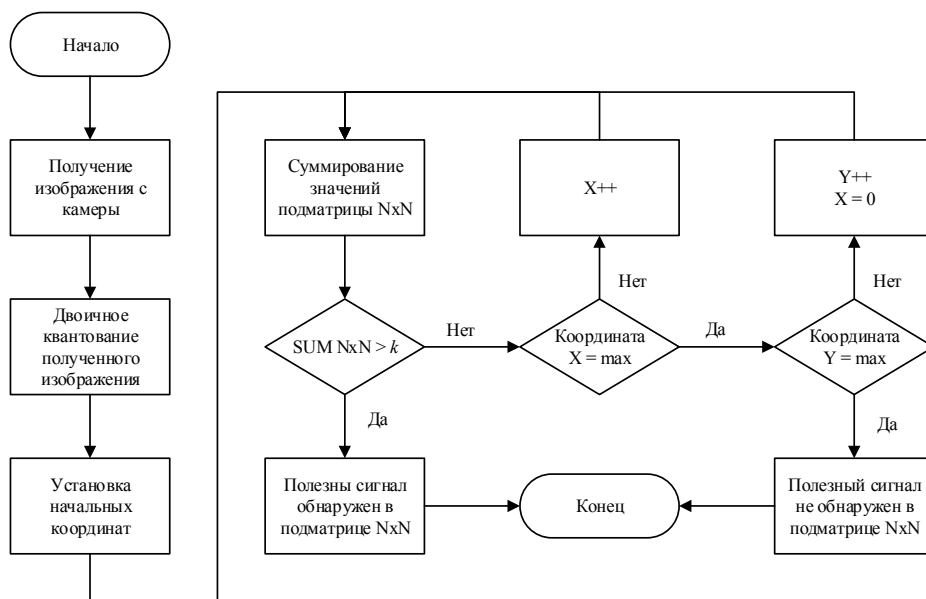


Рис. 2 – Алгоритм оптимального обнаружения пачки квантованных сигналов

Оценка координат центра пятна. Пусть центр пятна, образуемого лазерным лучом на экране, точка O с горизонтальной координатой x_0 и вертикальной – y_0 . Определяя координаты центра пятна используем функцию правдоподобия оцениваемых параметров x_0 и y_0 , которая получается непосредственно из выражения (8) для условной вероятности комбинации нулей и единиц при наличии сигнала

$$L(x_0, y_0) = \prod_{m=1}^N \prod_{n=1}^N P_{S_{mn}}^{a_{mn}} \cdot q_{S_{mn}}^{1-a_{mn}}$$

Определим вероятность обнаружения сигнала на единичной позиции (m, n) $p_{S_{mn}}$ для случая нефлуктуирующего сигнала по формуле [10]

$$p_{S_{mn}} = 1 - \int_0^{a_1} a_{mn} \exp\left(-\frac{a_{mn}^2 + b_{mn}^2}{2}\right) I_0(a_{mn} b_{mn}) da_{mn}$$

Как видим, вероятность $p_{S_{mn}}$ является функцией параметра b_{mn} (параметр a_1 считается фиксированным). Однако, все значения b_{mn} определяются однозначно, если известна зависимость

$$b_{mn} = b_0 g((x_{mn}, y_{mn}), (x_0, y_0)), \tag{13}$$

где $g((x_{mn}, y_{mn}), (x_0, y_0))$ – функция огибающей пятна; (x_{mn}, y_{mn}) – координаты позиции пятна (m, n) ; b_0 – отношение сигнала к помехе в центре пятна.

Следовательно, вероятность $p_{S_{mn}} = f(b_0, (x_0, y_0))$ является функцией, зависящей от трех неизвестных параметров b_0, x_0, y_0 . Параметр b_0 в дальнейшем будем считать фиксированным.

Учитывая выражение (13) и сделанные допущения, функция правдоподобия для оценки (x_0, y_0) записывается в виде

$$L(x_0, y_0) = \prod_{m=1}^N \prod_{n=1}^N P_{S_{mn}}^{a_{mn}} ((x_{mn}, y_{mn}), (x_0, y_0)) \times q_{S_{mn}}^{1-a_{mn}} ((x_{mn}, y_{mn}), (x_0, y_0))$$

Обозначая

$$P_{S_{mn}}((x_{mn}, y_{mn}), (x_0, y_0)) = P,$$

$$q_{S_{mn}}((x_{mn}, y_{mn}), (x_0, y_0)) = Q,$$

функция правдоподобия примет следующий вид

$$L(x_0, y_0) = \prod_{m=1}^N \prod_{n=1}^N P^{a_{mn}} \cdot Q^{1-a_{mn}}$$

Прологарифмировав левую и правую части вышеприведенного выражения, получим логарифм функции правдоподобия

$$\ln L(x_0, y_0) = \sum_{m=1}^N \sum_{n=1}^N a_{mn} (\ln P - \ln Q) + \sum_{m=1}^N \sum_{n=1}^N \ln Q \tag{14}$$

Продифференцировав (14) по оцениваемым параметрам x_0 и y_0 получим уравнения правдоподобия

$$\frac{\partial \ln L}{\partial x_0} = \sum_{m=1}^N \sum_{n=1}^N a_{mn} \left(\frac{1}{P} \cdot \frac{\partial P}{\partial x_0} - \frac{1}{Q} \cdot \frac{\partial Q}{\partial x_0} \right) + \sum_{m=1}^N \sum_{n=1}^N \frac{1}{Q} \cdot \frac{\partial Q}{\partial x_0}, \tag{15}$$

$$\frac{\partial \ln L}{\partial y_0} = \sum_{m=1}^N \sum_{n=1}^N a_{kl} \left(\frac{1}{P} \cdot \frac{\partial P}{\partial y_0} - \frac{1}{Q} \cdot \frac{\partial Q}{\partial y_0} \right) + \sum_{m=1}^N \sum_{n=1}^N \frac{1}{Q} \cdot \frac{\partial Q}{\partial y_0}. \tag{16}$$

В правой части выражений (15) и (16) вторая сумма не зависит от выборки принимаемых сигналов, а определяется только формой огибающей пятна. Если у этой огибающей имеется симметричная форма, то рассматриваемая вторая сумма приблизительно равна нулю.

Продифференцировав $Q = 1 - P$ по x_0 и y_0 , получим следующие соотношения

$$\frac{\partial Q}{\partial x_0} = -\frac{\partial P}{\partial x_0} \quad (17)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial y_0} = -\frac{\partial P}{\partial y_0} \quad (18)$$

Учитывая эти соотношения и то, что вторая сумма в (15) и (16) равна нулю получим уравнения правдоподобия для оценки координат x_0 и y_0 в виде

$$\sum_{m=1}^N \sum_{n=1}^N a_{mn} \cdot \frac{1}{P \cdot Q} \cdot \frac{\partial P}{\partial x_0} \Big|_{x_0=\hat{x}_0} = 0 \quad (19)$$

$$\sum_{m=1}^N \sum_{n=1}^N a_{mn} \cdot \frac{1}{P \cdot Q} \cdot \frac{\partial P}{\partial y_0} \Big|_{y_0=\hat{y}_0} = 0 \quad (20)$$

Обозначим

$$\Phi_x = \frac{1}{P \cdot Q} \cdot \frac{\partial P}{\partial x_0} \quad (21)$$

$$\Phi_y = \frac{1}{P \cdot Q} \cdot \frac{\partial P}{\partial y_0} \quad (22)$$

Будем рассматривать дискретные функции (21) и (22) как функции веса позиций пятна в оценке координат точки попадания в цель. В этих функциях огибающие характеризуют количество информации о точке попадания, содержащееся в "единицах", расположенных на различных расстояниях от центра пятна.

После произведенной замены в (21) и (22) уравнения правдоподобия (19) и (20) примут вид:

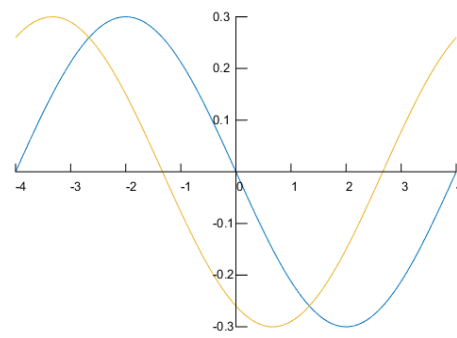
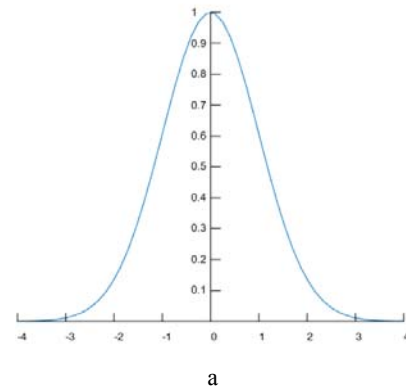
$$\sum_{m=1}^N \sum_{n=1}^N a_{mn} \cdot \Phi_x = 0 \quad (23)$$

$$\sum_{m=1}^N \sum_{n=1}^N a_{mn} \cdot \Phi_y = 0 \quad (24)$$

Исходя из этих уравнений, оценка максимально правдоподобия координат центра пятна получается из условия равенства нулю суммы значений функций Φ_x и Φ_y на позициях, где сигнальные импульсы превышают пороговый уровень амплитудного квантования (в этих точках $a_{mn} = 1$). Принципиально алгоритм (23), (24) будет реализован путем сдвига весовых функций относительно принятой реализации сигнала (изображения). Процесс сдвига и суммирование значений весовых функций на позициях, где $a_{mn} = 1$, будут повторяться до тех пор, пока суммы (23) и (24) не станут равными.

Демонстрация алгоритма по оценке положения центра пятна для одномерного случая показана на рис. 3.

Формы огибающих сигнала и весовых функций, используемых в представленной выше задаче, приведены на рис. 4.



б

Рис. 3 – Пояснение процесса оценки координат центра пятна сигнала: а – огибающая пятна; б – сдвиг весовой функции

Вместе с тем, для определения координат центра пятна может быть использована и несколько иная модификация рассмотренного алгоритма. Для получения модифицированного алгоритма возьмем двойную смешанную производную логарифма функции правдоподобия, определяемого выражением (14), по оцениваемым параметрам

$$\frac{\partial^2 \ln L}{\partial x_0 \partial y_0}$$

С учетом (17) и (18) получим следующее уравнение правдоподобия для оценки двух координат центра пятна:

$$\sum_{m=1}^N \sum_{n=1}^N a_{mn} \cdot \frac{1}{P \cdot Q} \cdot \frac{\partial^2 P}{\partial x_0 \partial y_0} \Big|_{x_0=\hat{x}_0, y_0=\hat{y}_0} = 0 \quad (25)$$

Введем обозначение

$$\Phi_{xy} = \frac{1}{P \cdot Q} \cdot \frac{\partial^2 P}{\partial x_0 \partial y_0} \quad (26)$$

Таким образом, уравнение правдоподобия получит окончательный вид

$$\sum_{m=1}^N \sum_{n=1}^N a_{mn} \Phi_{xy} = 0 \quad (27)$$

На рис. 4, г показан вид весовой функции Φ_{xy} , используемой в выражении (27).

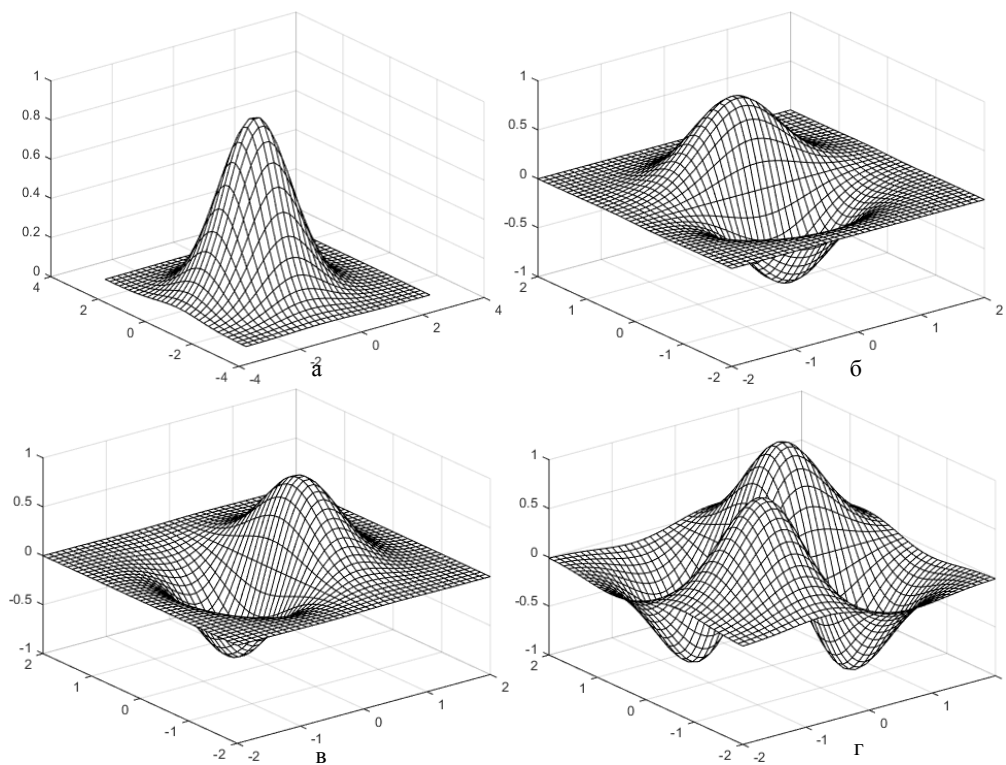


Рис. 4 – Формы огибающих сигнала и весовых функций: а – форма огибающей пятна, б – весовая функция для определения горизонтальной координаты центра пятна, в – весовая функция для определения вертикальной координаты центра пятна, г – весовая функция для определения двух координат центра пятна

Выводы. Методом теории статистических решений в статье синтезированы оптимальные алгоритмы обработки сигналов в мультимедийном стрелковом тренажере. В результате чего найден алгоритм оптимального обнаружения «пробоины», полученной от результатов воздействия стрелкового оружия, или обнаружения светового пятна, образуемого лучом лазерного оружия. То есть, синтезирован оптимальный алгоритм, позволяющий формировать максимально правдоподобные оценки пространственных координат центра светового пятна или пробоины на экране комплекса. В результате чего, полученные оптимальные алгоритмы обработки сигналов позволят существенно повысить качественные показатели мультимедийных стрелковых тренажеров.

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. – С. 16–21.
2. *Бурлаченко, И.* Разработка метода активной координации видеокамер в оптической навигации на основе мультиагентного подхода [Текст] / *И. Бурлаченко, И. Журавская, М. Мусиенко* // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2017. – №9 (85) – С. 17–25. doi: [10.15587/1729-4061.2017.90863](https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.90863)
3. *Ципоренко В.В.* Разработка беспойскового метода пеленгования с двумерной корреляционной обработкой пространственного сигнала [Текст] / *В. В. Ципоренко, В. Г. Ципоренко* // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2016. – № 6/9 (84) – С. 63–70. doi: [10.15587/1729-4061.2016.85599](https://doi.org/10.15587/1729-4061.2016.85599)
4. *Алсалим, Н. И. А.* Анализ методов определения направления прихода сигналов в задачах пространственно-временного до-

ступа [Текст] / *Н. И. А. Алсалим, Н. В. Москалец, С. Н. Теплицкая* // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2016. – № 4/9 (82). – С. 36–44. doi: [10.15587/1729-4061.2016.75716](https://doi.org/10.15587/1729-4061.2016.75716)

5. Пат. № 59467 UA. Электронный лазерный стрелковый тренажер МПК F41 G 3/26 [Текст] / *Кондрашов, С. В. Коритцев, И. В. Зубков, О. В. Олейников, В. М. Сидоров, Г. I.*; опубл. 10.05.2011, бюл. № 9/2011.
6. Пат. № 95007 UA. Спосіб визначення координат точки влучення кулі у відеоімінь при навчанні стрільби та пристрій для його здійснення МПК F41 G 3/26 [Текст] / *Зубков, О. В. Коритцев, І. В. Сидоров, Г. І. Сидоров Я. Г.*; заявл. 04.04.2009; опубл. 25.06.2011, бюл. №12. – 3 с.
7. *Форсайт, Д.* Компьютерное зрение. Современный подход [Текст] / *Д. Форсайт, Ж. Понс.* – М.: ИД «Вильямс», 2004. – 926 с.
8. *Чердынцев, В. А.* Радиотехнические системы [Текст] / *В. А. Чердынцев.* – М: Высшая школа, 1988. – 369 с.
9. *Гонсалес, Р.* Цифровая обработка изображений [Текст] / *Р. Гонсалес, Р. Вудс.* – М.: Техносфера, 2005. – 1072 с.
10. *Павлидис, Т.* Алгоритмы машинной графики и обработки изображений [Текст] / *Т. Павлидис.* – М.: Радио и связь, 2003. – 198 с.

Bibliography (transliterated):

1. *Bieliayev, A. V., Kartashov, V. M.* (2015). Objects detection and determination of their coordinates on the image in a multimedia shooting simulator. Information processing systems, 10, 16–21.
2. *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)
3. *Tsyoporenko, V., Tsyoporenko, 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)
4. *Alsaleem, N. Y. A., Moskalets, M., Teplytska, S.* (2016). The analysis of methods for determining direction of arrival of signals

- in problems of space-time access. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 4 (9 (82)), 36–44. doi: [10.15587/1729-4061.2016.75716](https://doi.org/10.15587/1729-4061.2016.75716)
5. Kondrashov, E. V., Koryttsev, I. V., Zubkov, O. V., Oleynikov, V. M., Sidorov, G. I., (2011). Pat. No. 59467 UA. Electronic laser shooting simulator. MPKF41G3/26; published 10.05.2011, Bul. No. 9/2011.
 6. Zubkov, O. V., Koryttsev, I. V., Sydorov, H. I., Sydorov, Y. H. (2011). Pat. No. 95007 UA. Sposib vyznachennia koordynat tochky vluchennia kuli u videomishen pry navchanni strilby ta prystrii dlia yoho zdiisnennia. MPKF41G3/26 published 25.06.2011, Bul. No. 2.
 7. Forsait, D. (2004). Kompiuternoe zrenye. Sovremennii podkhod. Moscow: YD «Vyliams», 926.
 8. Cherdyn'tsev, V. A. (1988). Radyotekhnicheskyye systemy. Moscow: Vysshaya shkola, 396.
 9. Honsales, R., Vuds, R. (2005). Tsyfrovaia obrabotka izobrazheniy. Moscow: Tekhnosfera, 1072.
 10. Pavlydys T. (2003). Alhorytmy mashynnoi hrafyky i obrabotki izobrazheniy. Moscow: Radio i svjaz, 198.

Поступила (received) 10.04.2017

Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

Обробка сигналів в універсальному мультимедійному стрілецькому тренажері/ О. В. Беляєв, О. В. Зубков, К. С. Тарасов, В. М. Карташов // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2017. – No 16(1238). – С.23–29. – Бібліогр.: 10 назв. – ISSN 2079-5459.

Обработка сигналов в универсальном мультимедийном стрелковом тренажере/ А. В. Беляев, О. В. Зубков, К. С. Тарасов, В. М. Карташов // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2017. – No 16(1238). – С. 23–29. Бібліогр.: 10 назв. – ISSN 2079-5459.

Signal processing in the universal multimedia shooting simulator/ О. Bieliaiev, О. Zubkov, К. Tarasov, V. Kartashov //Bulletin of NTU “KhPI”. Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU “KhPI”, 2017. – № 16 (1238).– P. 23–29. – 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.bieliaiev@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.

Тарасов Кирило Сергійович – студент кафедри Радіотехнологій інформаційно-комуникаційних систем, Харківський національний університет радіоелектроніки, пр. Науки, 14, м. Харків, Україна, 61166; e-mail: niakros@gmail.com.

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

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.bieliaiev@nure.ua.

Зубков Олег Вікторович – кандидат технических наук, доцент кафедры Медиаинженерии и информационных радиоэлектронных систем, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, пр. Науки, 14, г. Харьков, Украина, 61166; e-mail: oleh.zubkov@nure.ua.

Тарасов Кирилл Сергеевич – студент кафедры радиотехнологий информационно-коммуникационных систем, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, пр. Науки, 14, г. Харьков, Украина, 61166.

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

Belyaev 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.bieliaiev@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.

Tarasov Kirill – student of the Department of Radio Technologies of Information and Communication Systems, Kharkov National University of Radio Electronics, 14 Nauka Avenue, Kharkov, Ukraine, 61166; E-mail: niakros@gmail.com.

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.