

**Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет радіоелектроніки**

Беляєв Олексій Володимирович



УДК 621.397.48

**УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДІВ ОБРОБКИ СИГНАЛІВ ТА
ЗОБРАЖЕНЬ У МУЛЬТИМЕДІЙНИХ СТРІЛЕЦЬКИХ ТРЕНАЖЕРАХ**

05.12.17 – радіотехнічні і телевізійні системи

**АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук**

Харків – 2018

Дисертацією є рукопис

Робота виконана в Харківському національному університеті радіоелектроніки Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник:

доктор технічних наук, професор
Карташов Володимир Михайлович,
Харківський національний університет радіоелектроніки
Міністерства освіти і науки України,
завідувач кафедри медіаінженерії та інформаційних
радіоелектронних систем

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор
Пашенко Руслан Едуардович,
Інститут радіофізики та електроніки ім. О.Я. Усикова
НАН України, старший науковий співробітник відділу
дистанційного зондування Землі;

кандидат технічних наук
Жила Семен Сергійович,
Національний аерокосмічний університет ім. М. Є.
Жуковського «Харківський авіаційний інститут» МОН
України, доцент кафедри аерокосмічних
радіоелектронних систем

Захист відбудеться «27» червня 2018 року о 15-00 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.052.03 в Харківському національному університеті радіоелектроніки за адресою: 61166, Харків, пр. Науки, 14.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Харківського національного університету радіоелектроніки за адресою: 61166, Харків, пр. Науки, 14.

Автореферат розісланий «25» травня 2018 року.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради



В.М. Безрук

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми.

Мультимедійні тренажерні системи і комплекси мають унікальні можливості надавати величезну кількість корисної інформації в максимально зручній, доступній формі і саме завдяки цьому знаходять широке застосування в різних сферах людської діяльності. Особливу роль вони відіграють в процесі навчання: використання засобів мультимедіа для повторення, узагальнення та систематизації знань допомагає створити конкретне, наочно-образне уявлення про предмет, явище чи подію, дозволяє доповнити процес пізнання відтворенням та уточненням вже відомого, поглибленням знань, формуванням і вдосконаленням професійних навичок і компетенцій.

Мультимедійні тренажери знайшли широке застосування при навчанні керуванню транспортними засобами: літаками, гвинтокрилами, кораблями, при навчанні персоналу для управління складними виробничими процесами, або процесами, що пов'язані з підвищеною небезпекою, відпрацьовуванні дій в екстремальних ситуаціях тощо. Особливу увагу подібним системам приділяють силові структури, застосовуючи їх для підготовки різних спеціалізованих загонів.

Значні можливості для формування навичок надають мультимедійні стрілецькі тренажери (МСТ), які використовуються в області спорту, при підготовці та тренуванні спортсменів різного профілю: біатлоністів, п'ятиборців, стрільців, в розважальній індустрії.

Великий інтерес до МСТ пояснюється тим, що при їх використанні в процесі тренувань різко зростає ефективність навчання, скорочуються терміни навчання, може бути досягнута значна економія матеріальних і грошових ресурсів, стає можливим процес навчання без кульової стрільби, що практично повністю знімає жорсткі вимоги з безпеки. Перехід від кульової стрільби з викидом хімічних продуктів згоряння пороху і забрудненням свинцем довкола до її імітації повністю знімає проблеми екології та захисту навколишнього середовища.

У сучасних умовах, у зв'язку з економічною ситуацією в Україні, здешевлення процесу підготовки стрільців набуває ще більшої актуальності.

Основні недоліки відомих мультимедійних стрілецьких тренажерів пов'язані з недосконалістю методів обробки сигналів і зображень в МСТ, які не забезпечують необхідної точності вимірювання просторових координат отворів, які утворюються на проекційному полотні екрану, а також мають

недостатню імовірність правильного виявлення кульових отворів на фоні динамічних сцен.

Таким чином, актуальною є тема дисертаційних досліджень, направлених на вирішення науково-прикладної задачі підвищення ефективності функціонування МСТ шляхом розробки і дослідження методів і алгоритмів виявлення об'єктів та вимірювання їх геометричних і кінематичних характеристик на проєкційному екрані МСТ при використанні неоднорідних динамічних сцен.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Дисертаційні дослідження пов'язані з плановими науково-дослідними роботами «Розробка нових інформаційних вимірювальних систем і технологій координатно-часового метеорологічного забезпечення і зв'язку» (№ ДР 011U002541) та «Розроблення системи первинної обробки акустичних сигналів в умовах дії завад для содарів виявлення безпілотних літальних апаратів» (№ ДР 0117U002526), які виконувалися в Харківському національному університеті радіоелектроніки відповідно до тематичного плану Міністерства освіти і науки України.

Мета і задачі дослідження.

Мета дослідження полягає в розробці та дослідженні методів обробки сигналів та зображень в МСТ, які дозволять виконувати виявлення об'єктів та вимірювання їх геометричних і кінематичних характеристик на проєкційному екрані МСТ при використанні неоднорідних динамічних сцен з необхідними якісними показниками.

Для досягнення поставленої мети в роботі вирішувалися такі задачі:

- аналіз алгоритмів функціонування МСТ в двох режимах роботи: з лазерним імітатором і з використанням бойової зброї;
- розробка методу виявлення корисного сигналу та оцінювання просторових координат кульових утворень і відміток лазерного променя на зображенні проєкційного екрана для двох режимів роботи МСТ;
- розробка методу фільтрації зображень в МСТ на основі контурного аналізу для вирішення задачі функціонування системи за умови динамічно мінливого фону;
- синтез методу обробки зображень в МСТ з метою підвищення швидкодії системи з використанням слідкування за процесом прицілювання.

Об'єктом дослідження є процес обробки сигналів і зображень в мультимедійному стрілецькому тренажері.

Предметом дослідження є моделі, методи і алгоритми для виявлення і визначення координат кульових отворів і відміток від лазерного випромінювача на динамічному фоні проекційного полотна мішені мультимедійного стрілецького тренажера.

Методи дослідження. В роботі використовувалися методи теорії статистичних рішень для синтезу оптимальних алгоритмів обробки сигналів в мультимедійному стрілецькому тренажері, метод контурного аналізу зображень, методи експериментального дослідження та комп'ютерного моделювання для визначення оцінок якісних характеристик алгоритмів.

Наукова новизна отриманих результатів.

1. Удосконалено математичні моделі оптичних сигналів та шумів на зображенні в мультимедійних стрілецьких тренажерах, які на відміну від відомих враховують форму та розміри лазерної плями і кульового отвору на фоні фотонного дробового шуму, шуму зчитування та шуму квантування для двох режимів роботи МСТ: з лазерним імітатором і з використанням бойової зброї, що дозволило сформулювати вимоги до точності вимірювань кульових отворів і характеристик правильного виявлення сигналів.

2. Вперше розроблено оптимальний метод виявлення та вимірювання координат корисного сигналу на зображенні проекційного екрану для двох режимів роботи МСТ: з лазерними імітаторами та при використанні бойової зброї, який базується на обробці двійково-квантованих сигналів та на відміну від відомих методів дозволяє підвищити точність оцінки просторового положення центру корисного сигналу за рахунок зсуву вагових функцій, що описують форму сигналу, відносно прийнятої реалізації зображення.

3. Вперше запропоновано метод попередньої фільтрації зображень в МСТ на основі контурного аналізу, який відрізняється від відомих методів тим, що дозволяє виконувати обробку зображень в умовах апіорної невизначеності (з фоном, що динамічно змінюється);

4. Вперше запропоновано метод обробки зображень в МСТ з використанням слідкування за процесом прицілювання, який відрізняється наявністю трьох послідовних етапів: екстраполяцією положення лазерної плями, стробуванням зони вимірювання та обробкою зображення в стробованій зоні, що дозволяє збільшити швидкість обробки даних під час динамічного режиму роботи МСТ.

Практична значимість і реалізація результатів роботи.

Отримані у роботі результати можуть бути використані для удосконалення існуючих та створення нових стрілецьких тренажерів, або будь-яких інших аналогічних мультимедійних систем. Запропонований метод

контурного аналізу зображень для фільтрації відеопотоку у сукупності з алгоритмами виявлення та визначення координат точки влучення дозволяє використовувати всього один комплект відеоапаратури без застосування додаткової системи підсвічування екрану та вирішена проблема нездатності існуючих методів проводити обробку відеосюжетів з фоном, що швидко змінюється. Це дозволяє розширити функціонал МСТ новими тренувальними відеосюжетами та ускладнити існуючі відеосюжети використанням рівневої структури сучасної ігрової індустрії. Запропоновані методи обробки сигналів і зображень реалізовані і протестовані з використанням мультимедійного стрілецького тренажера кафедри Медіаінженерії та інформаційних радіоелектронних систем Харківського національного університету радіоелектроніки.

Практична значимість результатів роботи підтверджена актами впровадження.

Особистий внесок здобувача.

Основні наукові результати, які викладені в дисертації, отримані здобувачем самостійно або за його безпосередньої участі.

В роботах [1,2] здобувачем проведено аналіз відомих методів визначення координат об'єкту пошуку. В роботі [6] розглянуто особливості побудови моделей корисних сигналів в системах відеоспостереження, лазерного трекінгу, мультимедійних стрілецьких тренажерах. У [3] запропоновано алгоритм обробки зображень і оцінки просторових координат спостережуваних відміток за допомогою контурного аналізу зображень. В роботі [4] автором синтезовані оптимальні алгоритми обробки сигналів в мультимедійному стрілецькому тренажері. В [5] автором запропонований метод збільшення швидкодії системи обробки зображень зі стаціонарною камерою за допомогою застосування операції стробування цілей. В патентах [7, 8] здобувач брав участь в розробці корисних моделей, в яких ним впроваджені і застосовані математичні моделі для систем розрахунку похибок на задану відстань при визначених метеоумовах.

Апробація результатів дисертації. Результати дисертації доповідалися і обговорювалися на наукових конференціях і форумах: 17-м, 18-м, 19-м і 20-м міжнародних молодіжних форумах "Радіоелектроніка і молодь в XXI столітті" (м. Харків, 2013-2016 р.р.), 1-й Науково-практичній конференції «Сучасні технології кіно» (м. Шахтарськ, 2013 р.), інформаційно-комунікаційному заході "Науково-технологічне забезпечення оборонно-промислового комплексу України" (м. Київ, 14 жовтня 2014 року), 70-й науково-технічній конференції професорсько-викладацького складу,

науковців, аспірантів та студентів (м. Одеса, Одеська національна академія зв'язку ім. О.С. Попова, 2015 р.), 4-й міжнародній науково-технічній конференції "Інформаційні проблеми теорії акустичних, радіоелектронних і телекомунікаційних систем" (м. Харків, НТУ "ХП", 2015 р.).

Публікації.

За темою дисертації опубліковано 17 наукових праць: 5 статей у фахових виданнях України, з яких 1 стаття індексується в іноземних наукометричних базах (Index Copernicus, Google Scholar); 1 стаття у іноземному виданні (Index Copernicus); 2 патенти України на корисну модель; 9 тез доповідей у матеріалах науково-технічних конференцій та форумів.

Структура дисертаційної роботи.

Дисертація складається з вступу, чотирьох розділів, висновку і списку використаних джерел. Загальний обсяг становить 153 сторінок. Дисертація містить 52 рисунки і 2 таблиці. Список використаних джерел налічує 115 найменувань.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність теми дисертації, вказані цілі роботи, викладена структура дисертації. Охарактеризована наукова новизна, наукова і практична значимість. Наведено дані про особистий внесок автора в роботах, виконаних самостійно і в співавторстві, відомості про публікації за темою дисертації.

У першому розділі наведено огляд відомих мультимедійних тренажерів, стрілецьких тренажерів та мультимедійних стрілецьких тренажерів. Наведена класифікація існуючих стрілецьких тренажерів, пристроїв реєстрації влучення та проведено аналіз використовуваних в сучасних МСТ алгоритмів обробки сигналів і зображень, визначено основні вимоги щодо точності вимірювань та необхідної швидкодії системи.

З розвитком технічних можливостей відеообладнання в сучасних МСТ почали переходити з аналогових опто-електронних реєструючих пристроїв на цифрові відореєструючі пристрої для виявлення координат точки влучення в мішень. Прикладом таких систем є «PM Shooter» (Польща), «LaserShoot» (США), Digital Police Combat System (Німеччина) тощо.

Типова структура МСТ налічує тренерський пульт управління, відореєструючий пристрій, акустичну стереосистему, імітатор тренувальної обстановки, що складається з проектора та проекційного екрану, макетів зброї (рис. 1). Проектор відтворює на проекційному екрані тренувальні відеосюжети. Стрілець, використовуючи макет бойової зброї або зброї з лазерним імітатором, проводить цикл тренувань. Відореєструючий пристрій,

кут огляду котрого охоплює проєкційний екран відеомішені, передає на пункт управління відеопотік, де проводиться його аналіз у реальному часі та реалізація алгоритмів оцінки координат точки влучення кулі з подальшим виведенням цієї інформації на екрані, формуванням бази даних тренувань та озвучуванню цих результатів акустичною системою.

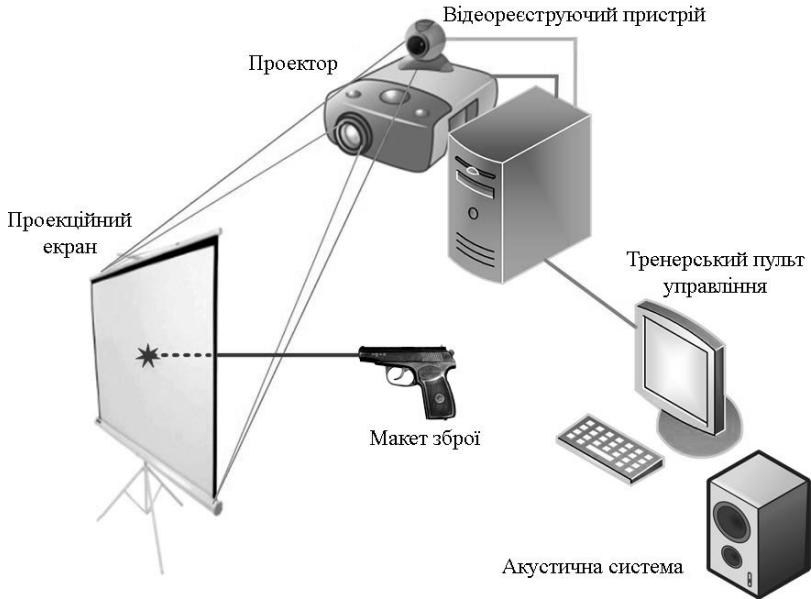


Рис. 1. Схематичне подання функціонування МСТ з відеомішенню

МСТ містять комплекти різноманітних тренувальних відеосюжетів (рухомих, таких, що з'являються і тих, що, обертаються), відеофільмів з військовими і мисливськими сценами, фрагментів з фільмів. Тренажери, які одночасно можуть працювати у бойовому режимі та у режимі з лазерними імітаторами називають універсальними. Кафедрою Медіаінженерії та інформаційних радіоелектронних систем Харківського національного університету радіоелектроніки розроблено «Універсальний мультимедійний стрілецький тренажер» та «Лазерний стрілецький тренажер» для навчання та тренування військовослужбовців, представників силових структур і біатлоністів. З використанням цих розробок проводились основні експериментальні дослідження дисертації.

Як показав аналіз, основні недоліки відомих мультимедійних стрілецьких тренажерів пов'язані з недосконалістю методів обробки сигналів і зображень, які не забезпечують необхідної точності вимірювання

просторових координат отворів, які утворюються на проекційному полотні екрану, а також мають недостатню імовірність правильного виявлення кульових отворів на фоні динамічних сцен.

У другому розділі виконано синтез оптимальних алгоритмів обробки сигналів та зображень. Обрані моделі корисних сигналів (лазерної плями та кульового отвору) та перешкод.

В якості моделі корисного сигналу для роботи системи з лазерними імітаторами обрана модель гаусового розподілу енергії в лазерних пучках.

При роботі МСТ в бойовому режимі в алгоритмах обробки зображень слід використовувати зворотню модель корисного сигналу. Так, якщо в режимі імітації центр гаусової плями реєструється на проекційному полотні з максимальною яскравістю I_{\max} , то центр кульового отвору має мінімальне значення яскравості I_{\min} . Це пов'язано з тим, що проектор, за допомогою якого відтворюються відеосюжети, має деяку мінімальну яскравість для чорного кольору L_{\min} , яка може виявитися значно яскравішою простору за проекційним полотном (найчастіше там знаходиться кулеприймач). Отже, кульовий отвір з гаусовим розподілом можна описати матрицею $N \times M$ (рис. 2), розмір якої визначатиметься калібром патрона, роздільною здатністю відеокамери і відстанню між відеокамерою і проекційним полотном.

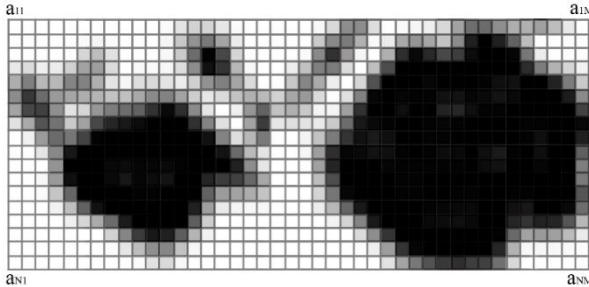


Рис. 2. Візуалізація матриці значень яскравості кульових отворів двох різних калібрів

У якості перешкод в даній системі виступають, здебільшого, перешкоди відеокамери: фотонний дробовий шум, шум зчитування сенсору, структурні шуми, нерівномірність у кількості зареєстрованих фотонів, шуми квантування.

Середня густина потоку фотонів, що потрапляє на певну область фоточутливого сенсору розподілена за законом Пуассона

$$P(a) = \frac{e^{-\lambda} \lambda^a}{a!}, \quad (2)$$

де $P(a)$ – ймовірність реєстрації a фотонів; λ – середня кількість зареєстрованих фотонів.

Флуктуації кількості фотонів можна побачити на зображенні у вигляді пуассонівського шуму, який також називають фотонним дробовим шумом. Цей шум вносить найбільший внесок у сумарну шумову складову сигналу з відеокамери, що дозволяє використовувати у якості моделі перешкод саме розподіл Пуассона. При використанні відеокамер з високою роздільною здатністю можливо використання гаусової апроксимації моделі шумів.

З метою удосконалення МСТ запропоновано комплексний метод обробки зображень, який включає наступні етапи: попередня фільтрація, алгоритм виявлення та алгоритм оцінювання координат.

Вибірка значень просторової обвідної сигналу на $N \times N$ сусідніх позиціях розгортки фотоприймача камери описуються матрицею

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

Синтез алгоритмів обробки розглядається стосовно до двійково квантованого зображення, тому кожне з вибірових значень a_{mn} піддається двійковому квантуванню по амплітуді шляхом порівняння з пороговим рівнем a_1 . Сукупність результатів квантування буде являти собою послідовність нулів і одиниць. У зв'язку з цим, задача алгоритму виявлення вирішити оптимальним чином чи представляє прийнята вибірка нулів і одиниць корисний сигнал або вона відноситься до перешкоди.

У процесі синтезу алгоритму виявлення сформована функція правдоподібності цих гіпотез H_0 і H_1 , а оптимальне виявлення корисного сигналу у вигляді двійково квантованих сигналів здійснюється за виразом

$$\sum_{m=1}^N \sum_{n=1}^N a_{mn} \eta \geq k, \quad (3)$$

де $\eta = \ln \frac{p_{S_{mn}} q_N}{p_N q_{S_{mn}}}$; $k = \ln l_0 - \sum_{m=1}^N \sum_{n=1}^N \ln \frac{q_{S_{mn}}}{q_N}$; l_0 – поріг виявлення; $p_{S_{mn}}$ – ймовірність отримання одиниці на позиції (m, n) сигнальної плями; $p_{N_{mn}}$ –

ймовірність отримання одиниці на позиції (m, n) в області перешкоди;
 $q_{S_{mn}} = 1 - p_{S_{mn}}$; $q_{N_{mn}} = 1 - p_{N_{mn}}$.

Алгоритм оптимального виявлення корисного сигналу, відповідно до виразу (3), представлений на рис. 3.

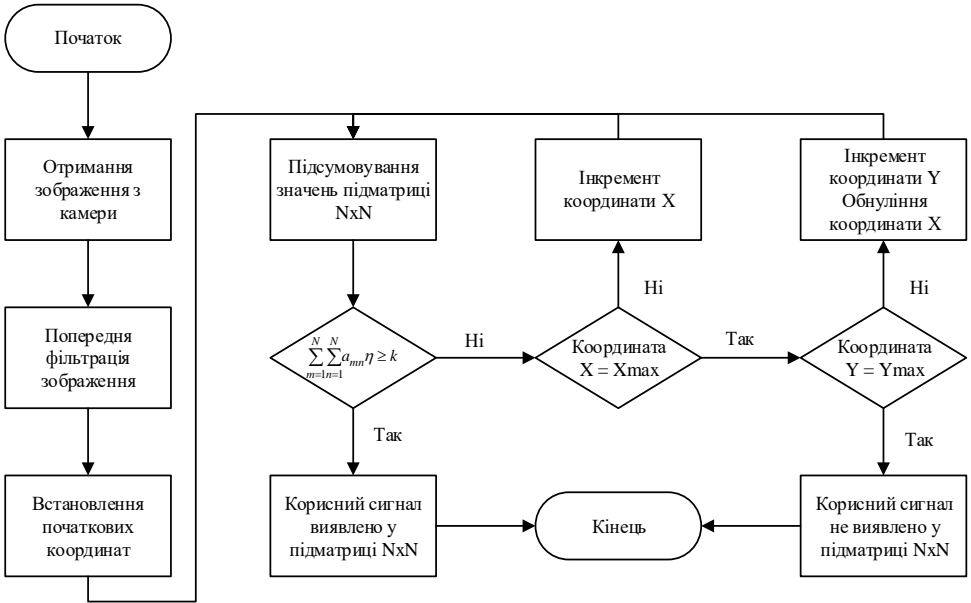


Рис. 3. Алгоритм оптимального виявлення корисного сигналу

Нехай центр плями, утвореної лазерним променем на екрані полотна відеомішені або центр кульового отвору – це точка O з горизонтальною координатою x_0 і вертикальною – y_0 . Функція правдоподібності координат x_0, y_0 точки влучення має вигляд

$$L(x_0, y_0) = \prod_{m=1}^N \prod_{n=1}^N P^{a_{mn}} \cdot Q^{1-a_{mn}}, \quad (4)$$

де $P = p_{s_{mn}}((x_{mn}, y_{mn}), (x_0, y_0))$, $Q = q_{s_{mn}}((x_{mn}, y_{mn}), (x_0, y_0))$.

Після логарифмування та диференціювання по оцінюваним параметрам x_0 і y_0 (4), рівняння правдоподібності для оцінки шуканих координат набуває вигляду

$$\sum_{m=1}^N \sum_{n=1}^N a_{mn} \cdot \Phi_x(x_0, y_0) = 0, \quad (5)$$

$$\sum_{m=1}^N \sum_{n=1}^N a_{mn} \cdot \Phi_y(x_0, y_0) = 0, \quad (6)$$

$$\text{де } \Phi_x(x_0, y_0) = \frac{1}{P \cdot Q} \cdot \frac{\partial P}{\partial x_0}, \quad \Phi_y(x_0, y_0) = \frac{1}{P \cdot Q} \cdot \frac{\partial P}{\partial y_0}.$$

Як впливає з (5), (6), оцінка максимальної правдоподібності координат центру плями відповідає умові рівності нулю суми значень вагових функцій $\Phi_x(x_0, y_0)$ і $\Phi_y(x_0, y_0)$ на позиціях, де сигнальні імпульси перевищують граничний рівень амплітудного квантування (в цих точках $a_{mn} = 1$). Алгоритм (5), (6) може бути реалізований шляхом послідовного зсуву вагових функцій (рис. 4) відносно прийнятої реалізації сигналу (зображення).

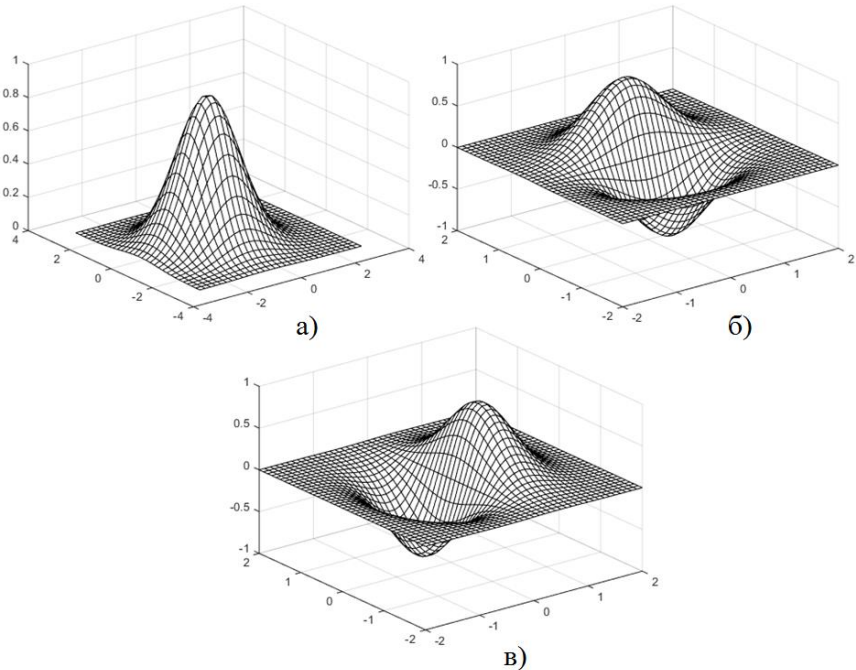


Рис. 4. Форми просторових обвідних корисного сигналу і вагових функцій: а – форма обвідної корисного сигналу, б – вагова функція $\Phi_x(x_0, y_0)$ для визначення горизонтальної координати центру, в – вагова функція $\Phi_y(x_0, y_0)$ для визначення вертикальної координати центру плями

Процес зсуву і підсумовування значень вагових функцій на позиціях, де $a_{mn} = 1$, повторюватимуться доти, поки суми (5) і (6) не стануть рівними нулю (або менше за абсолютною величиною деякого фіксованого числа).

У **третьому розділі** запропоновано метод попередньої фільтрації зображень в МСТ з динамічно мінливим фоном, який засновано на використанні контурного аналізу.

Границям об'єктів зображень в напівтоновій продискретизованій сцені відповідають стрибки яскравості – як позитивні, так і негативні, які викликані різницею середніх рівнів яскравості фону і об'єкта (рис. 5).

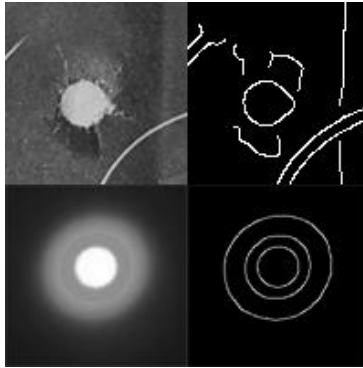


Рис. 5. Контурні представлення основних інформаційних об'єктів на зображенні МСТ – кульової пробоїни (зверху) і лазерного променя (знизу)

У якості детектору контурів запропоновано використовувати узгоджено-вибірковий фільтр (УВФ). Основна відмінність УВФ від узгоджених фільтрів полягає в тому, що для визначення його структури не використовується апріорна інформація про конкретні зображення фону навколо об'єкту. УВФ узгоджений з поведінкою енергетичного спектра фону тільки в області середніх і високих просторових частот, так як низькочастотна складова для задачі виявлення контурів являє надлишкову інформацію. Реалізація УВФ на практиці зводиться до обчислення ступеня схожості аналізованої сцени F з контуром шуканого об'єкту.

Частотний коефіцієнт передачі такого фільтру має вигляд

$$H(\omega_x, \omega_y) = \frac{C(\omega_x^2 + \omega_y^2)}{\sigma_{cp}^2 \alpha_{cp}}, \quad (7)$$

де ω_x, ω_y – просторові частоти; σ_{cp}^2 і α_{cp} – відповідно дисперсія і декремент загасання АКФ фону, C – нормувальний множник.

Для подальшого аналізу зображення використовується перехід з отриманого простору контурів в простір площ шляхом виконання операції заливки. Кульові отвори і позначки від лазерного випромінювача при правильному виборі параметрів згладжуючого фільтру після узгоджено-вибіркової фільтрації будуть давати цілісний замкнутий контур. Замкнені контури утворюють цілісні площі, тоді як розімкнуті контури будуть відсіяні. На етапі постобробки контурів доцільно також застосовувати операції математичної морфології. Для того, щоб позбутися від незамкнутих ліній на зображенні, застосована операція морфологічної ерозії з використанням хрестоподібного структурного елемента.

Приклад виконання основних етапів алгоритму контурної фільтрації зображень наведений на рис. 6.

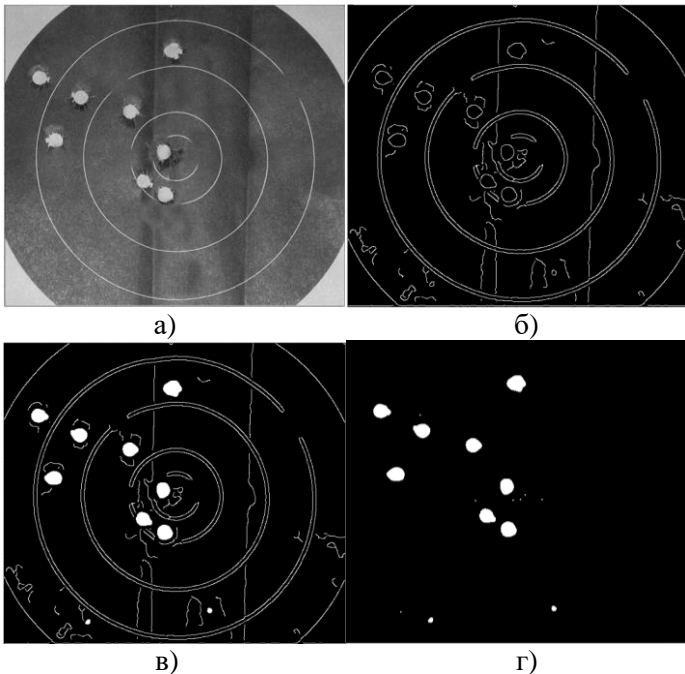


Рис. 6. Основні етапи контурної фільтрації зображень: а – вихідне зображення з відеокамери, б – контурна обробка, в – заливка цілих контурів, г – математична морфологія

У четвертому розділі запропоновано метод обробки зображень в МСТ з використанням алгоритму слідкування за процесом прицілювання, який складається з таких етапів: екстраполяція положення лазерної плями, стробування зони вимірювання, обробка зображення в стробованій зоні.

На етапі екстраполяції положення лазерної плями на проекційному полотні екрану МСТ доцільно використовувати математичні моделі траєкторій по кожній з координат у вигляді поліноміальних моделей.

Стробування зони навколо рухомих об'єктів дозволяє зменшити розмір оброблюваних зображень на наступному кадрі, після того як алгоритм обробки вперше виявив корисний сигнал на зображенні. Була використана форма строба у вигляді прямокутника, описаного навколо еліпса сумарних помилок, що визначається на основі екстрапольованих даних. Розміри сторін прямокутника дорівнюють відповідно $2\varepsilon\sigma_\eta$, $2\varepsilon\sigma_\gamma$, а його площа визначається як

$$S_n = 4\varepsilon^2\sigma_\eta\sigma_\gamma, \quad (8)$$

де ε – коефіцієнт збільшення стробу відносно одиничного квадрату, σ_η , σ_γ – середньоквадратичні відхилення суми екстрапольованих координат та динамічних помилок.

На рис. 7 представлено приклад ділянки сформованого строба на проекційному екрані тренажера.

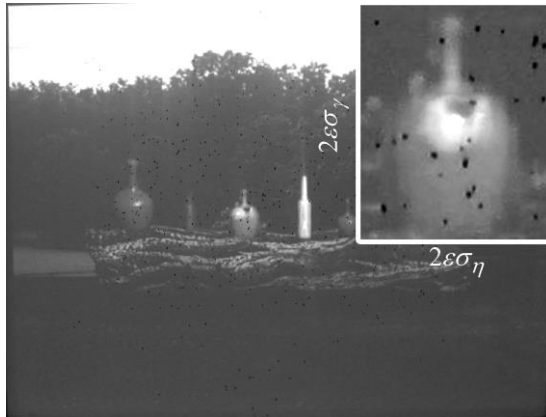


Рис. 7. Стробована ділянка на фоні повного зображення

Був проведений експеримент з метою порівняння показників швидкодії систем обробки зображень МСТ з використанням екстраполяції положення лазерної плями при обробці на різних центральних та графічних процесорах. Результати експерименту представлені в табл. 1. В експерименті використовувалися: центральний процесор ЦП1 – Intel Celeron-847 (2x1.1 ГГц); ЦП2 – Intel i7-3770K (4x3.5 ГГц); графічний процесор ГП1 – Nvidia GeForce GT480; ГП2 – Nvidia GeForce GT640. Вимірювання проводилися при незмінному розмірі випромінюваної світлової плями і постійній швидкості її переміщення.

Табл. 1. Швидкодія алгоритму в залежності від розмірів стробу

Розміри стробу	Час виконання алгоритму обробки, мс.			
	ЦП1	ЦП2	ГП1	ГП2
64x64	26,52	2,87	1,89	0,95
128x128	40,01	3,45	2,67	1,73
256x256	67,90	6,72	3,87	2,21
512x512	100,51	10,55	7,56	3,98
768x768	112,88	13,32	10,13	6,32
1024x1024	124,13	16,89	13,11	8,06
1280x1280	144,05	21,56	15,24	10,99
1600x1600	160,12	28,13	20,31	12,48
2048x2048	180,34	33,26	25,74	14,07

Як показують результати експерименту, використання операції стробування дозволяє істотно підвищити показник швидкодії МСТ не тільки під час слідкування за процесом прицілювання, але й на всіх етапах проведення стрілецької підготовки за умови використання лазерної насадки на зброю. Особливо суттєвий приріст швидкодії є при використанні камери з високою роздільною здатністю.

ВИСНОВКИ

В дисертаційній роботі вирішена актуальна науково-прикладна задача підвищення ефективності функціонування МСТ шляхом розробки і дослідження методів і алгоритмів виявлення об'єктів та вимірювання їх геометричних і кінематичних характеристик на проєкційному екрані МСТ при використанні неоднорідних динамічних сцен.

Основні результати роботи:

1. Проаналізовано і досліджено функціонування МСТ в двох режимах роботи: з лазерним імітатором і з використанням бойової зброї; вибрано математичні моделі корисних сигналів, внутрішніх шумів і перешкод,

сформовані вимоги до точності вимірювань кульових утворень і характеристик правильного виявлення сигналів.

2. Розроблено оптимальний метод виявлення та вимірювання координат корисного сигналу на зображенні проекційного екрану для двох режимів роботи МСТ: з лазерними імітаторами та при використанні бойової зброї, який базується на обробці двійково-квантованих сигналів, та на відміну від відомих методів дозволяє підвищити точність оцінки просторового положення центру корисного сигналу за рахунок зсуву вагових функцій, що описують форму сигналу, відносно прийнятої реалізації зображення.

3. Запропоновано метод попередньої фільтрації зображень в МСТ на основі контурного аналізу, який відрізняється від відомих методів тим, що дозволяє виконувати обробку зображень в умовах апріорної невизначеності (з фоном, що динамічно змінюється).

4. Запропоновано метод обробки зображень в МСТ з використанням алгоритму слідкування за процесом прицілювання, який складається з таких етапів: екстраполяція положення лазерної плями, стробування зони вимірювання, обробка зображення в стробованій зоні.

5. Розроблені математичні моделі, методи та алгоритми впроваджені в навчальний процес на кафедрі «Медіаінженерії та інформаційних радіоелектронних систем» Харківського національного університету радіоелектроніки та при виконанні двох планових науково-дослідних робіт, які виконувалися в Харківському національному університеті радіоелектроніки відповідно до тематичного плану Міністерства освіти і науки України.

Метод обробки зображень зі стробуванням може бути використаний спільно з будь-якими іншими відомими алгоритмами виявлення для збільшення ефективності розпізнавання образів. Правильно сформований строб дозволяє підвищити ймовірність правильного виявлення корисного сигналу робочим алгоритмом внаслідок зменшення зони пошуку і зменшити ймовірність хибної тривоги, оскільки зменшується кількість об'єктів на зображенні, сформованих шумами камери і неоднорідним фоном в відеосюжетах МСТ.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Беляєв О.В. Виявлення об'єктів заданої форми та визначення їх координат на зображенні мультимедійного стрілецького тренажеру [Текст] / О.В. Беляєв, В.М. Карташов // Системи обробки інформації. – 2015. – № 10. – С. 16–21.

2. Bieliaiev, O., Kartashov, V., Loutouangou, F. Strobing the moving objects marks in the image processing system with stationary video camera// Science Rise – 2017. – №3 – P. 66–71.

3. Карташов В.М., Беляев О.В. // Виявлення об'єктів заданої форми та визначення їх координат на зображенні мультимедійного стрілецького тренажеру // Радіотехніка: Всеукраїнський міжвідомчий науково-технічний збірник – 2015. – № 182. – с. 58-64.

4. Беляев О.В., Зубков О.В., Карташов В.М. // Застосування методу контурного аналізу зображень в системі обробки мультимедійного стрілецького тренажеру // ВІСНИК Національного технічного університету "ХПІ". 2017. – № 20(1242). – с. 109-118.

5. Беляев О.В., Зубков О.В., Тарасов К.С., Карташов В.М. // Обробка сигналів в універсальному мультимедійному стрілецькому тренажері // ВІСНИК Національного технічного університету "ХПІ". – 2017. – № 16(1238). – с. 23-29.

6. Беляев А.В., Карташов В.М. // Моделі сигналів в універсальному мультимедійному стрілецькому тренажері// ВІСНИК Національного технічного університету "ХПІ". – 2017. – № 44. – с. 23-29.

7. Пат. № 80324 UA. Удосконалений електронний лазерний стрілецький тренажер. МПК F41G3/26 [Текст] / Карташов В. М., Сідоров Г. І., Беляев О. В.; заявник та патентовласник Харківський національний університет радіоелектроніки. – № u201213148; заявл. 19.01.2013; опубл. 27.05.2013, Бюл. № 10.

8. Пат. № 83387 UA. Удосконалений електронний лазерний стрілецький тренажер. МПК F41G3/26 [Текст] / Сліпченко М. І., Карташов В. М., Сідоров Г. І., Беляев О. В.; заявник та патентовласник Харківський національний університет радіоелектроніки. – № u201301988; заявл. 18.02.2013; опубл. 10.09.2013, Бюл. № 17.

9. Беляев А.В., Карташов В.М., Корытцев И.В., Сидоров Г.И., Сидоров Я.Г. // Универсальный мультимедийный стрелковый тренажер для подготовки силовых структур // Науково-технологічне забезпечення оборонно-промислового комплексу України. – 2014. – с. 30-34.

10. Беляев А.В., Карташов В.М., Сидоров Г.И. // Лазерный стрелковый тренажер для подготовки снайперов // Науково-технологічне забезпечення оборонно-промислового комплексу України. – 2014. – с. 35-38.

11. Карташов В.М., Беляев А.В. // Задача обнаружения объектов заданной формы и определение их координат на изображении в мультимедийном стрелковом тренажере // 4-а Міжнародна науково-технічна конференція "Інформаційні проблеми теорії акустичних, радіоелектронних. – 2015 р. – с. 13.

12. Беляев А.В., Карташов В.М. // Предварительная фильтрация изображений в алгоритмах обработки информации мультимедийного

стрелкового тренажера // 70-а науково-технічна конференція професорсько-викладацького складу, науковців, аспірантів та студентів. – Одеська національна академія зв'язку ім. О.С. Попова. – 2015. – с. 9-12.

13. Беляев О.В., Сидоров Г.І., Карташов В.М. // Мультимедійні тренажери // I Науково-практична конференція «Сучасні технології кіно» – Шахтарський кінотехнікум. – 2013. – с. 25-33.

14. Беляев А.В., Карташов В.М. // Обнаружение объектов на изображении и измерение их координат // 19-й международный форум "Радиоэлектроника и молодежь в XXI веке". – 2015. – с. 24-25.

15. Беляев А.В., Сидоров Г.И. // Метод имитации стрельбы из огнестрельного оружия в лазерном стрелковом тренажере // 17-й международный форум "Радиоэлектроника и молодежь в XXI веке". – 2013. – с. 104-105.

16. Беляев А.В., Сидоров Г.И. // Метод определения координат точки попадания лазерного луча в электронную мишень лазерного стрелкового тренажера // 18-й международный форум "Радиоэлектроника и молодежь в XXI веке". – 2014. – с. 99-100.

17. Беляев А.В., Карташов В.М. // Предварительная обработка сигналов и изображений в мультимедийном стрелковом тренажере // 20-й юбилейный международный форум "Радиоэлектроника и молодежь в XXI веке". – 2016. – с. 24-25.

АНОТАЦІЯ

Беляев О.В. Удосконалення методів обробки сигналів та зображень у мультимедійних стрілецьких тренажерах. - Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.12.17 - радіотехнічні та телевізійні системи. - Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків, 2018.

Дисертація присвячена вирішенню актуальної науково-прикладної задачі підвищення ефективності функціонування МСТ шляхом розробки і дослідження методів і алгоритмів виявлення та вимірювання геометричних і кінематичних характеристик об'єктів на проєкційному екрані МСТ при використанні неоднорідних динамічних сцен.

Проаналізовано і досліджено функціонування МСТ в двох режимах роботи: з лазерним імітатором і з використанням бойової зброї; вибрано математичні моделі корисних сигналів, внутрішніх шумів і перешкод, сформовані вимоги до точності вимірювань кульових утворень і характеристик правильного виявлення сигналів. Методом теорії статистичних рішень синтезовано оптимальний алгоритм виявлення корисного сигналу. Розроблено оптимальний за критерієм максимуму правдоподібності метод

оцінювання просторових координат кульових утворень і відміток лазерного променя на зображенні проєкційного екрана МСТ. Запропоновано використання методу контурного аналізу зображень для попередньої фільтрації фону з кадрів відеопотоку, отриманого з відеокамери МСТ. У якості детекторів контуру використовується узгоджено-вибірковий фільтр, який дозволяє проводити фільтрацію фону, що швидко змінюється.

Вперше запропоновано метод обробки зображень в МСТ з використанням слідкування за процесом прицілювання, який відрізняється наявністю трьох послідовних етапів: екстраполяцією положення лазерної плями, стробуванням зони вимірювання та обробкою зображення в стробованій зоні, що дозволяє збільшити швидкість обробки даних під час динамічного режиму роботи МСТ.

Отримані в роботі методи обробки зображень можуть бути використані для вдосконалення існуючих і створення нових мультимедійних стрілецьких тренажерів.

Ключові слова: мультимедійний стрілецький тренажер, контурний аналіз, обробка зображень, метод стробування

АННОТАЦИЯ

Беляев А.В. Усовершенствование методов обработки сигналов и изображений в мультимедийных стрелковых тренажерах. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.12.17 – радиотехнические и телевизионные системы. – Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков, 2018.

Диссертация посвящена решению актуальной научно-прикладной задачи повышения эффективности функционирования МСТ путем разработки и исследования методов и алгоритмов обнаружения и измерения геометрических и кинематических характеристик объектов на проекционном экране МСТ при использовании неоднородных динамических сцен.

Проанализировано и исследовано функционирование МСТ в двух режимах работы: с лазерным имитатором и с использованием боевого оружия; выбраны математические модели полезных сигналов, внутренних шумов и помех, сформированы требования к точности измерений пулевых отверстий и характеристик правильного обнаружения сигналов. Методом теории статистических решений синтезирован оптимальный алгоритм обнаружения полезного сигнала. Разработан оптимальный, по критерию максимума правдоподобия, метод оценки пространственных координат пулевых отверстий и отметок лазерного луча на изображении проекционного экрана МСТ. Предложено использование метода контурного анализа изображений для предварительной фильтрации фона по кадрам видеопотока,

получаемого с камеры МСТ. В качестве детекторов контура используется согласованно-избирательный фильтр, который позволяет проводить фильтрацию быстро изменяющегося фона.

Впервые предложен метод обработки изображений в МСТ с использованием слежения за процессом прицеливания, который отличается наличием трех последовательных этапов: экстраполяция положения лазерного пятна, стробирование зоны измерения и обработка изображения в стробируемой зоне, что позволяет увеличить скорость обработки данных во время динамического режима работы МСТ. Метод обработки изображений со стробированием может быть использован совместно с любыми другими известными методами обнаружения для увеличения эффективности системы распознавания образов. Правильно сформированный строб позволяет повысить вероятность правильного обнаружения полезного сигнала рабочим алгоритмом вследствие уменьшения зоны поиска и уменьшить вероятность ложной тревоги, поскольку уменьшается количество ложных объектов на изображении, сформированных шумами камеры и неоднородным фоном в видеосюжетах МСТ.

Полученные в работе методы обработки изображений могут быть использованы для совершенствования существующих и создания новых мультимедийных стрелковых тренажеров.

Ключевые слова: мультимедийный стрелковый тренажер, контурный анализ, обработка изображений, метод стробирования.

ABSTRACT

Bieliaiev O.V. Signals and images processing methods improvement in multimedia shooting simulators. – Manuscript.

Dissertation for the degree of Candidate of Technical science by specialty 05.12.17 – Radio Engineering and Television Systems. – Kharkiv National University of Radio Electronics, Kharkiv, 2018.

The dissertation is devoted to solving the actual scientific and applied problem of increasing the efficiency of the operation of the MSS by developing and studying the methods and algorithms for recognizing images of geometric and kinematic characteristics of objects on the projection screen of the MSS using heterogeneous dynamic scenes.

The operation of the MSS in two operating modes has been analyzed and investigated: with a laser simulator and using a combat weapon; mathematical models of signals, internal noise and interference are selected, requirements for the accuracy and characteristics of correct signal detection are formed. With the method of the theory of statistical solutions synthesized an optimal algorithm for detecting a useful signal. The optimal method for estimating the spatial coordinates of bullet

holes and marks of a laser beam on the image of the projection screen of the MSS is developed according to the criterion of the maximum of plausibility. The use of the method of contour analysis of images for the preliminary filtering of the background from frames of the video stream received from the camcorder of the MSS is proposed. As a contour detector, a coherent-selective filter is used, which allows for fast-changing background filtering.

For the first time, the method of image processing in MSS was proposed using observation of the aiming process, which differs by the presence of three successive stages: extrapolation of the position of the laser spot, stroke of the measuring zone and image processing in the stroke zone, which allows to increase the speed of data processing during the dynamic mode of operation of the MSS.

The image processing methods obtained in the work can be used to improve the existing and create new multimedia shooting simulators.

Key words: multimedia shooting simulator, contour analysis, image processing, gating method.