

Т.В. ТОРУБКА, М.В. ОЛЕКСІВ, В.Я. ПУЙДА  
Національний університет "Львівська політехніка"

## АПАРАТНО-ПРОГРАМНА СИСТЕМА ПОКРАЩЕННЯ ЯКОСТІ ЗОБРАЖЕНЬ З ФУНКЦІЄЮ ВИЯВЛЕННЯ ЛІТАКІВ НА ЗОБРАЖЕННІ

Робота присвячена питанням покращення якості зображень літальних апаратів та їх виявленню. Для ефективного видалення всіх типів шумів розроблена структурна схема системи покращення якості зображень літальних апаратів з функцією їх виявлення на базі сигнального процесора ADSP BF533. Виявлення відбувається шляхом пошуку зображення літака за його еталонним зображенням. Алгоритми закладені в системі видаляють імпульсні та адитивні шуми і дозволяють покращити візуальну якість зображення літальних апаратів. Контроль за системою здійснюється за допомогою розробленого програмного забезпечення, яке дозволяє налаштовувати основні параметри системи та проводить її моніторинг.

Ключові слова: зображення, шум, сигнальний процесор, покращення зображення.

T.V. TORUBKA, M.V. OLEKSIV, V.YA. PUYDA  
Lviv Polytechnic National University

### HARDWARE-SOFTWARE IMAGE QUALITY IMPROVEMENT SYSTEM WITH FUNCTION OF AIRPLANES DETECTION ON AN IMAGE

*Abstract - The article is devoted to problem of image containing aircrafts quality improvement system with function of airplanes detection on an image development.*

*The structure of the system for the image quality improvement of aircrafts by efficiently removing of all types of noises with function of airplanes detection on the basis of ADSP BF533 microprocessor is designed. The system allows searching for the airplane on the image using its sample image. The algorithms embedded in the system remove the impulsive and additive noise and provide a possibility to improve the visual quality of the image where aircraft is presented. The control over the system is performed by means of the developed software, which allows setting the basic parameters of the system and carrying out its monitoring.*

*The offered structures and decisions can be used during airplanes visual monitoring systems designing.*

*Key words: image, noise, signal processor, image improvement.*

### Вступ

Зображення під час введення у відеопроцесор піддається впливу випадкового шуму. Випадковий шум проявляється у вигляді "снігу", гранулярності або хаотично розташованих чужорідних точок на зображенні і виникає як в наслідок нестабільності роботи напівпровідникових приладів (при зміні температури і з плином часу), так і в результаті внесених електронними компонентами спотворень. Найбільш помітний такий шум на темних областях зображень, оскільки відношення "сигнал / шум" на них буде набагато менше, ніж на світлих ділянках. Будь-яке отримане зображення має недоліки: відсутня необхідна різкість зображень, розмитість зображення або деяких деталей, а також накладення шуму, що вноситься електронним трактом і багато інших. Залежно від типів спотворень розроблені різні методи фільтрації зображень, які застосовуються в конкретних ситуаціях, і забезпечують різну якість відновлення. Використання фільтру в тій чи іншій ситуації залежить і від виду шуму. Одним з типів шумів, що найчастіше зустрічається є імпульсний шум. При впливі імпульсної перешкоди на зображення з відтінками сірого кольору спостерігаються білі або чорні крапки, хаотично розкидані по знімку. Шум при цьому, може розташовуватися не по всьому зображенні. На зображенні такі перешкоди виглядають ізольованими контрастними точками. Імпульсний шум характерний для систем передачі зображень по радіоканалах з використанням нелінійних методів модуляції, а також для цифрових систем передачі і зберігання зображень. Зокрема, імпульсний шум притаманний пристроям введення зображень з цифрових фотокамер, що працюють на основі ПЗЗ матриць. Крім імпульсного шуму, до випадкових перешкод відносяться також адитивний і мультиплікативний шум.

На сьогоднішній день існує велика кількість методів усунення шумів. Кожен окремий метод застосовується для усунення певного типу шуму. Існують різні класи фільтрації зображень, які поділяються на певні методи. До оптимальної обробки сигналів відносяться лінійні, нелінійні, ітераційні методи відновлення зображень. Різноманіття методів і алгоритмів пов'язано з великою різноманітністю сюжетів, які доводиться описувати різними математичними моделями. Крім того, застосовуються різні критерії оптимальності, що також веде до різноманітності методів фільтрації. Нарешті, навіть при збігу моделей і критеріїв дуже часто через математичні труднощі не вдається знайти оптимальну процедуру. Складність знаходження точних рішень породжує різні варіанти наближених методів і процедур.

### Аналіз відомих рішень

Питання виявлення та ідентифікації літаків для систем моніторингу їх пересування в ближній зоні аеропортів є надзвичайно актуальним в силу високої ціни помилки, яка може вимірюватися людськими життями. На сучасному етапі розвитку комп'ютерної техніки здійснюються спроби автоматизувати виявлення та ідентифікацію літаків. Серед відомих розробок у даній сфері є система Vocord AEROCN[1], експериментальні методи виявлення та стеження за літаками з використанням вейвлет ознак і

машини опорних векторів [2], метод автоматичного виявлення та класифікації літаків в захищеному просторі [3], спосіб ідентифікації рухомих об'єктів [4], метод виявлення літаків за допомогою штучних нейронних мереж [5]. Відомі методи та системи виявлення та/або ідентифікації літаків орієнтовані на роботу з готовими якісними зображеннями сцен. При цьому вони не враховують впливу реальних сенсорів на зображення, що може призвести до неочікуваних збоїв роботи систем та комп'ютерних реалізацій відомих методів. Таким чином актуальною постає розробка методів та засобів покращення якості зображень, що одержуються з відеокамер з метою покращення подальшого виявлення та ідентифікації літаків на них, які можна буде застосовувати у існуючих та перспективних системах моніторингу літаків.

### Постановка задачі

Розробити та дослідити апаратно-програмну систему і програмний пакет покращення якості одержаних з відеокамери зображень. Дослідити придатність даних методів до застосування в системах виявлення та ідентифікацію літаків шляхом реалізації у дослідному програмному забезпеченні функції візуального виявлення літаків з використанням їх еталонних зображень.

### Основна частина

Запропонована система покращення якості зображень літальних апаратів складається з таких основних елементів: відеокамера, відео-АЦП, сигнальний процесор ADSP BF533, системний пристрій керування (універсальний комп'ютер). Система вводить зображення з камери в форматі PAL, відео-АЦП оцифровує зображення до формату 320x240, яке передається на обробку в сигнальний процесор. Для прискорення обробки зображення (фільтр Гауса, медіанний фільтр) може використовуватись спеціалізований процесор, наприклад, на базі ПЛІС. Сигнальний процесор отримує команди від головного комп'ютера, щодо обраних алгоритмів покращення якості зображення, здійснює виявлення еталону об'єкта на зображенні та надсилає йому оброблені зображення в цілях одержання результатів досліджень за різних умов. Система дозволяє передавати опрацьоване та стиснуте зображення на комп'ютер через інтерфейс USB. Структурна схема запропонованої системи покращення якості зображення представлена на рис. 1.

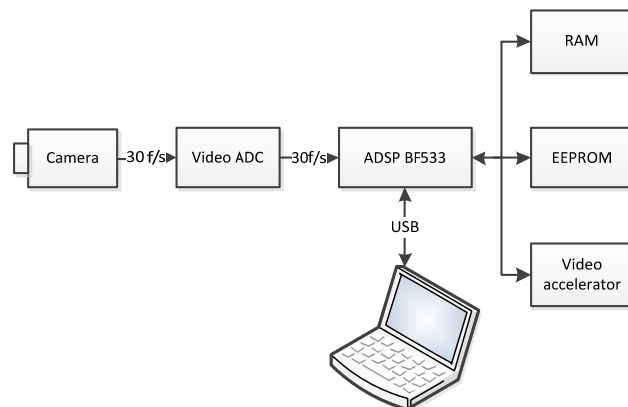


Рис.1. Структурна схема системи покращення якості зображень

Сигнальний процесор виконує покращення якості зображення, використовуючи наступні методи:

- метод видалення імпульсних шумів [6];
- метод видалення адитивних шумів [7];
- метод візуального покращення зображення [8].

Метод виявлення еталону на зображенні [9] використовується для дослідження впливу використаних алгоритмів та шумів на процес виявлення літаків. Метод стиску зображення використовується для зменшення об'єму даних при передачі оброблених зображень програмі керування на універсальному комп'ютері.

Існує можливість використовувати комбінації деяких з даних методів або використовувати усі загалом. Розроблена система є дослідною і призначена в першу чергу для дослідження алгоритмів покращення якості зображень, які в подальшому можна буде використати при розробці систем технічного зору для візуального моніторингу переміщення літаків.

Метод видалення імпульсних шумів [6] використовується для усунення впливу білих та чорних пікселів на зображення. Метод базується на алгоритмі адаптивної медіанної фільтрації та дозволяє ефективно видаляти до 80% імпульсного шуму на зображеннях літальних апаратів.

Метод видалення адитивних [7] шумів використовується для усунення впливу шумів, які виникають від впливу перешкод, що наводяться з сусідніх світлочутливих елементів, короткочасних змін базової напруги в ПЗС-матриці, впливу високочастотних електричних полів, зміни яскравості джерела світла та інше. Метод видалення адитивних шумів повинен зберігати контури та ефективно подавляти адитивний шум на однорідних областях зображення літальних апаратів. Він застосовує просторове зважене усереднення без згладжування країв. Це досягається шляхом комбінування двох гаусівських фільтрів: один

фільтр працює в просторовій області, а інший в області інтенсивності (яскравості). Таким чином, не тільки просторова відстань, а й відстань інтенсивності також важлива для визначення ваги пікселя.



Рис.2. Тестовий стенд системи покращення якості зображень

Для даного зображення  $u(x)$  у пікселі  $x$ , вихідний білатеральний фільтр може бути знайдений як [7]:

$$B(x) = \frac{1}{C(x)} \sum_{y \in N(x)} e^{-\frac{\|y-x\|^2}{2\sigma_d^2}} e^{-\frac{|u(y)-u(x)|^2}{2\sigma_r^2}} u(y) \quad (1)$$

де  $\sigma_d$  та  $\sigma_r$  параметри контролю зменшення ваги у просторовій області та області інтенсивності (яскравість),  $N(x)$  – просторовий окіл пікселя  $u(x)$ , та  $C(x)$  - коефіцієнт нормалізації або вага пікселя.

$$C(x) = \sum_{y \in N(x)} e^{-\frac{\|y-x\|^2}{2\sigma_d^2}} e^{-\frac{|u(y)-u(x)|^2}{2\sigma_r^2}} \quad (2)$$

Для ефективного видалення шуму фільтр знаходить контури на зображенні, які дозволяють визначити коефіцієнти підсилення темних чи світлих областей зображення та підсилити границі об'єктів. Якщо поточний піксель зображення належить до групи пікселів контуру, то для фільтрації будуть обрані пікселі в околі, що належать області об'єкта чи фону. Щоб підсилити деталі на зображенні обчислюємо логарифм між різницею результату методу фільтрації та значенням яскравості зображення та помножуємо на коефіцієнт підсилення деталей пікселів. Білатеральний фільтр з визначенням типу області де проводиться фільтрація та коефіцієнтом для подавлення шуму дозволяє ефективно видаляти адитивні шуми та не спотворювати контури візуальних об'єктів.

Метод візуального покращення [8] зображення дозволяє підсилити контраст, вирівняти гістограму та підсилити малопомітні деталі зображення. Відповідне зображення можна отримати використавши наступні алгоритми обробки зображень: корекція контрастності, гістограмна еквалізація, гомоморфна фільтрація чи Retinex.

Стиск оброблених зображень літальних апаратів, що відбувається з метою зменшення об'єму інформації, яка передається на універсальний комп'ютер, здійснюється за допомогою алгоритму JPEG, реалізація якого у розробленій системі відбувається з використанням стандартної бібліотеки фірми Analog Devices для мікроконтролерів сімейства BlackFin. Перевагою застосування алгоритму JPEG, як і деяких інших алгоритмів з втратами, є зменшення впливу шумів, ціною зменшення якості зображення та появи незначних артефактів. Зважаючи на те, що стиск оброблених зображень призначений лише для пришвидшення передачі даних на універсальний комп'ютер, то спотвореннями, які вносяться ним, можна знехтувати.

Метод виявлення еталону [9] на зображенні використовує алгоритм кореляції, який дозволяє виявити один сигнал в іншому, який також можна застосувати для зображень. Нехай відеокамера видає зображення сцени  $f$  на якому присутні декілька об'єктів, і ми хочемо виявити в ньому певний об'єкт  $g$ . Для пошуку цього об'єкта обчислюють скалярний добуток зображень  $x$  і  $g$  для різних  $k$ , де  $k$  відповідно можливі положення об'єкта на зображенні. Тобто ми намагаємося «докласти» шуканий об'єкт у всіх можливих положеннях до зображення з відеокамери і знайти їх «ступінь схожості» (скалярний добуток) для кожного положення. Таким чином, на виході ми отримуємо зображення  $u$ , що показує, наскільки зображення з відеокамери  $x$  в позиції  $k$  схоже на шуканий об'єкт  $g$ . Сенс отриманого зображення  $u$  або  $\text{corr}(x, g)$  у тому, що його величини для кожного пікселя показують, наскільки зображення навколо даного пікселя у позиції  $k$  поже на шуканий об'єкт. Якщо у вхідному зображенні присутній тільки шум, то й значення кореляції будуть шумом невеликої амплітуди. Але як тільки в шумі вхідного зображення з'явиться форма, схожа на шуканий об'єкт, тоді значення кореляції в цій точці стане високим. Формула обчислення кореляції для одновимірних даних (3), (4):

$$corr(x, g)[k] = \sum_{k=-\infty}^{+\infty} x[k - n]g[k],$$

або

$$corr(x, g)[n] = \sum_{k=-\infty}^{+\infty} x[n + k]g[k]$$

Для двовимірних сигналів формула кореляції матиме наступний вигляд (5):

$$corr(x, g_N)[n] = \sum_{m=0}^{N-1} \sum_{k=-\infty}^{+\infty} x[m + kN]g[n + m]$$

Проаналізувавши формули можна зробити висновок що, формула обчислення кореляції дуже схожа на формулу обчислення згортки. Дійсно, якщо у формулі кореляції зробити заміну сумування, то ми отримаємо еквівалентну формулу кореляції. Ця формула співпадає з формулою згортки, якщо припустити що ядро згортки  $h[k] = g[-k]$ . Таким чином, кореляцію можна обчислювати як згортку, поклавши в якості ядра згортки шукане зображення, розгорнуте від нульової точки.

Згортка - один з найважливіших методів цифрової обробки сигналів. Тому важливо вміти ефективно її обчислювати. Пряме обчислення згортки вимагає  $N * M$  множень, де  $N$  - довжина вхідного сигналу, а  $M$  - довжина ядра згортки. Часто довжина ядра згортки сягає декількох тисяч точок, і число множень стає величезним. Однак існує алгоритм, що дозволяє обчислити згортку значно швидше. Даний алгоритм заснований на наступній важливій теоремі: «згортка в часовій еквівалентна множенню в частотній області; множення в часовій області еквівалентно згортці в частотній області». Це означає, що для виконання згортки двох сигналів можна перевести їх в частотну область, помножити їх спектри та перевести їх назад у часову область. Така операція виглядає громіздко. Однак з появою алгоритмів ШПФ, що дозволяють швидко обчислювати перетворення Фур'є, обчислення згортки через частотну область стало широко використовуватися. При значних довжинах ядра згортки такий підхід дозволяє в сотні разів скоротити час обчислення згортки. Коротко опишемо алгоритм швидкого одноразового обчислення згортки. Спочатку вихідний сигнал довжини  $N$  і ядро згортки довжини  $M$  доповнюються нулями до довжини  $L$  ( $L$  - ступінь двійки), причому так, що  $L \geq N+M-1$ . Потім обчислюють ШПФ цих двох сигналів. Потім спектри сигналів необхідно перемножити як комплексні числа, тобто утворити новий спектр з коефіцієнтів  $A_k^{new}$  і  $B_k^{new}$ , що виходять за формулою [6]:

$$A_k^{new} + iB_k^{new} = R*(A_k^{old1} + iB_k^{old1})(A_k^{old2} + iB_k^{old2}),$$

де  $k=0, \dots, L/2$ ,  $i=-1$ ,  $R$ -коефіцієнт нормалізації спектру. Потім з отриманого спектру з допомогою зворотного ШПФ обчислюється сигнал з  $L$  точок. Цей сигнал і містить результат згортки з  $N+M-1$  точок, доповнених нулями до  $L$  точок. Відзначимо, що оскільки кореляцію можна обчислювати за допомогою згортки, то розглянутий алгоритм підходить і для швидкого обчислення кореляції.

Моделювання роботи системи проводилось з використанням зображень літаків, які знаходилися в пам'яті системи або були одержані з використанням відеокамери. В ході досліджень відеозображення спочатку оброблялися алгоритмами видалення імпульсних, адитивних шумів, покращення якості відео зображення або їх комбінаціями. Після цього проводилося виявлення літаків з визначенням координат областей де вони присутні.

Покращене зображення стискалося та передавалося в керуючу програму, де можна візуально оцінити якість зображення літальних апаратів та перевірити чи правильно визначені координати об'єкта. Управління системою виявлення еталону на зображенні літальних апаратів також здійснюється через керуючу програму (рис. 3). Керуюча програма дозволяє підключити та відключити пристрій покращення якості зображення та отримати зображення з відеокамери.

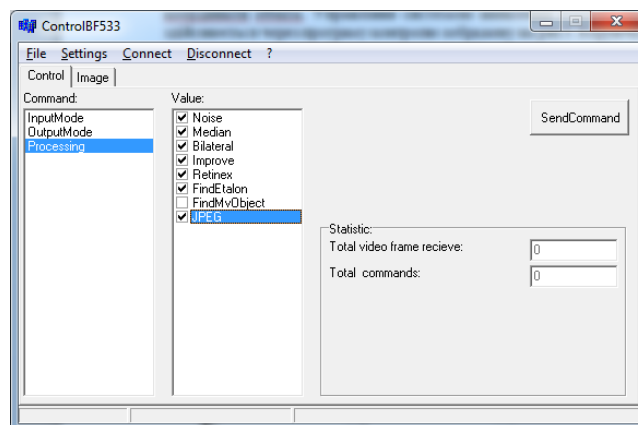


Рис.3. Інтерфейс керуючої програми

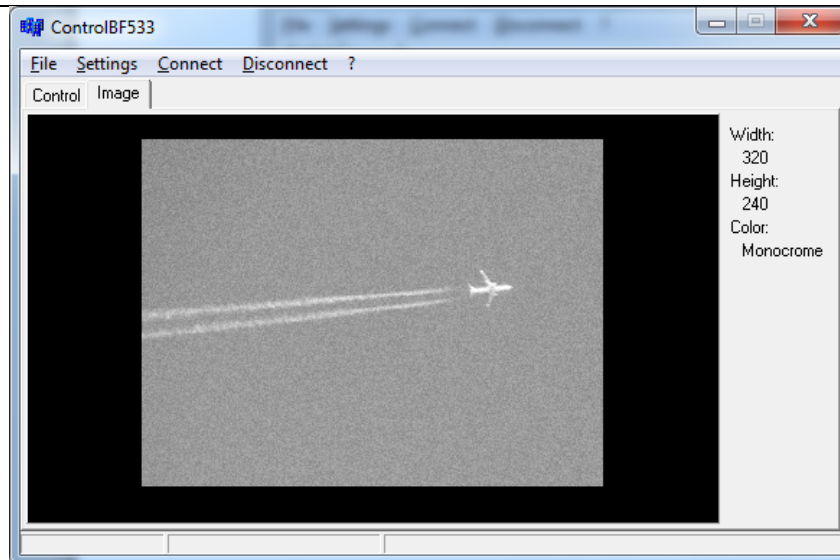


Рис.4. Вхідне зображення літальних апаратів

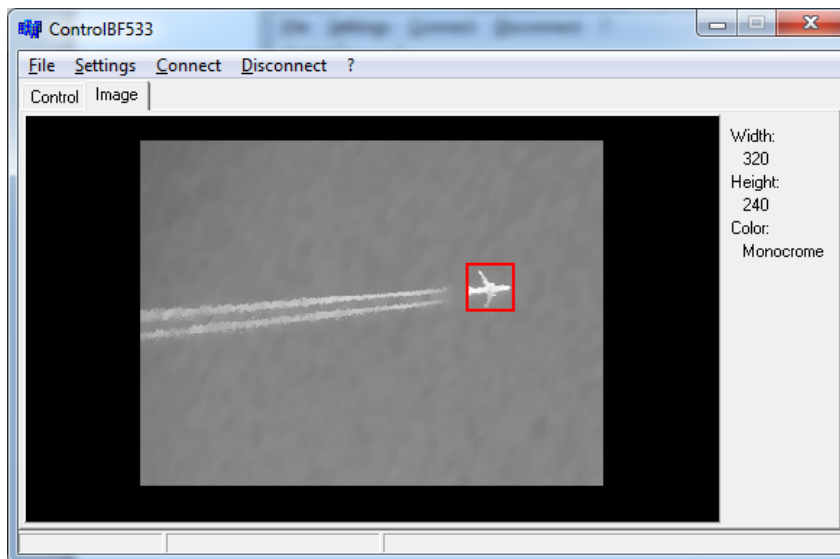


Рис.5. Вихідне зображення літальних апаратів

Використавши відповідну функцію керуючої програми можна встановити параметри обробки зображення та зберегти оброблене зображення в файл.

Розроблено протокол обміну між мікропроцесором та комп'ютером, який включає такі поля: тип пакета, тип команди/даних, розмір даних, самі дані. Також керуюча програма відображає статистику обробки зображення та дозволяє візуально аналізувати якість покращення зображення.

### Висновки

Розроблено систему покращення якості зображень з функцією виявлення літаків за їх еталонним зображенням на базі сигнального процесора ADSP BF533 та її керуючу програму для універсального комп'ютера. Запропоновано структурну схему системи та розглянуто основні принципи її роботи, що базуються на запропонованих у попередніх роботах методах цифрової обробки зображень літальних апаратів для ефективного видалення шумів та підвищення візуальної якості зображень. Експериментально встановлено, що розроблені методи та комп'ютерні засоби придатні до застосування при реалізації систем виявлення та ідентифікації літаків.

### Література

1. Система визуализации для контрольно-диспетчерских пунктов аэропортов VOCORD Aeroson [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.vocord.ru/62/>.
2. Rastegar S. Airplane Detection and Tracking Using Wavelet Features and SVM Classifier / S. Rastegar, A. Babaeian, M. Bandarabadi, Y. Toopchi // 41st Southeastern Symposium on System Theory University of Tennessee Space Institute, Tullahoma, TN, USA, March 15–17, 2009. – P. 64–67.

3. Hammond M. Automatic aircraft detection and classification in cluttered space [Електронний ресурс] / M. Hammond, J. Padial – Режим доступу : [http://www.stanford.edu/class/ee368/Project\\_11/Reports/Hammond\\_Padial\\_Obstacle\\_Classification\\_and\\_Segmentation.pdf](http://www.stanford.edu/class/ee368/Project_11/Reports/Hammond_Padial_Obstacle_Classification_and_Segmentation.pdf)
4. Пат. 52535 U Україна, МПК G 06 K 9/00. Спосіб автоматичної ідентифікації візуальних об'єктів за їх силуетами / Пуйда В.Я., Олексів М.В. ; заявник і власник патенту НУ "Львівська політехніка". – № u201003306 ; заяв. 22.03.2010 ; опубл. 25.08.2010, Бюл. № 16.
5. Олексів М. Виявлення об'єктів, що представлені бінарними зображеннями їх силуетів, за допомогою штучних нейронних мереж / М.В. Олексів // Технічний вісник Хмельницького національного університету. – Хмельницький: Хмельницький національний університет, 2010. – № 4. – С. 63–68.
6. Пуйда В.Я. Видалення імпульсних завод на зображеннях літальних апаратів / В.Я. Пуйда, Т.В. Торубка // Вісник "Комп'ютерні системи та мережі". – Львів : НУ "Львівська політехніка", 2009. – № 658. – С. 123–127.
7. Tomasi C. Bilateral Filtering for Gray and Color Images / C. Tomasi, R. Manduchi // Proc. 6th Int. Conf. Computer Vision, New Delhi, India. – 1998. – P. 839–847.
8. Torubka T. Simulation of algorithm to improve image quality aircraft / Т. Торубка, В. Пуйда // Матеріали 13-ого міжнародного семінару OWD 2011. – Вісла, Польща, 2011. – С. 71–74.
9. Торубка Т.В. Дослідження алгоритму кореляції для стеження за літальними апаратами по їх візуальних зображеннях / Т.В. Торубка, В.Я. Пуйда, І.І. Пишак // Вісник "Комп'ютерні системи та мережі". – Львів : НУ "Львівська політехніка", 2010. – № 688. – С. 214–218.

#### References

1. Sistema vizualizacii dlya kontrol'no-dispatcherskikh punktov aeroportov VOCORD Aerocon [Elektronnyy resurs] – 2009. – Rezhym dostupu: <http://www.vocord.ru/62/>.
2. Rastegar S. Airplane Detection and Tracking Using Wavelet Features and SVM Classifier / S. Rastegar, A. Babcian, M. Bandarabadi, Y. Toopchi // 41st Southeastern Symposium on System Theory University of Tennessee Space Institute, Tullahoma, TN, USA, March 15-17, 2009. – pp. 64-67.
3. Hammond M. Automatic aircraft detection and classification in cluttered space [Elektronnyy resurs] / M. Hammond, J. Padial – Rezhym dostupu: [http://www.stanford.edu/class/ee368/Project\\_11/Reports/Hammond\\_Padial\\_Obstacle\\_Classification\\_and\\_Segmentation.pdf](http://www.stanford.edu/class/ee368/Project_11/Reports/Hammond_Padial_Obstacle_Classification_and_Segmentation.pdf)
4. Pat. 52535 U Ukraina, МПК G 06 K 9/00. Sposib avtomatichnoi identyfikacii vizual'nykh obyektiv za yih syluetamy / Puyda V.Ya., Oleksiv M.V.; zayavnyk i vlasnyk patentu NU "L'viv'ska politehnika". – # u201003306; zayav. 22.03.2010; opubl. 25.08.2010, Biul. # 16.
5. Oleksiv M. Vyyavlennya obyektiv, shcho predstavleni binarnymy zobrazhennyamy yih syluetiv, za dopomogoyu shtuchnykh neyronnykh merezh / M. V. Oleksiv // Tehnichnyy visnyk Khmel'nyc'kogo nacional'nogo universytetu. – Khmel'nyc'kyi: Khmel'nyc'kyi nacional'nyy universytet, 2010. – # 4. – S. 63-68.
6. Puyda V.Ya. Vydalennya impul'snykh zavod na zobrazhennyakh lital'nykh aparativ / V. Ya. Puyda, T. V. Torubka // Visnyk "Kompyuterni systemy ta merezhi". – L'viv: NU "L'viv'ska politehnika", 2009. – #658. – S. 123-127.
7. C. Tomasi. Bilateral Filtering for Gray and Color Images / C. Tomasi, R. Manduchi // Proc. 6th Int. Conf. Computer Vision, New Delhi, India, – 1998. – pp. 839-847.
8. Torubka T. Simulation of algorithm to improve image quality aircraft / T. Torubka, V. Puyda // Proc. XIII Int. PhD Workshop OWD 2011. – Wisla, Poland, 2011. – pp. 71-74.
9. Torubka T. V. Doslidzhennya alorytmu korelyacii dlya stezhennya za lital'nymy aparatamy po yih vizual'nyh zobrazhennyakh / T.V. Torubka, V.Ya. Puyda, I.I. Pyshchak // Visnyk "Kompyuterni systemy ta merezhi". – L'viv: NU "L'viv'ska politehnika", 2010. – #688. – S. 214-218.

Рецензія/Peer review : 6.12.2013р. Надрукована/Printed :7.2.2014 р.  
 Рецензент: Рецензент: д.т.н., проф. зав. каф. спеціалізованих комп'ютерних систем  
 НУ «Львівська політехніка» Дунець Р.Б.